T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ENTEGRE DEVRE FABRİKASYONU ve TÜRKİYEDEKİ YERİ


HAZIRLAYAN

GÜNGÖR DURDU

TEZ DANIŞMANI

YRD. DOÇ. DR. VATAN TUĞAL


97580

ELEKTRONİK-HABERLEŞME EĞİTİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL 2000

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ 1973 FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ENTEGRE DEVRE FABRİKASYONU
# ve
# TÜRKİYEDEKİ YERİ

HAZIRLAYAN

GÜNGÖR DURDU

| | | |
|---|---|---|
| TEZ DANIŞMANI | : YRD. DOÇ. DR. VATAN TUĞAL | ..... |
| JÜRİ ÜYESİ | : YRD. DOÇ. DR. NAZMİ EKREN | ..... |
| JÜRİ ÜYESİ | :YRD. DOÇ. DR. ERBİL AKBAY | ..... |

ELEKTRONİK-HABERLEŞME EĞİTİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL 2000

# ÖNSÖZ

Elektronik, ülkelerin kalkınmasında büyük rolü olan bir bilim ve endüstridir. Elektronik yeni bulunan elektronik cihazlar yanında, daha önce başka yollarla elde edilen cihaz ve sistemlerin elektronik imkanlarla hem daha kolay hem de daha üstün vasıflarla elde edilmesi ile hayatımızın her alanına vazgeçilmez bir unsur olarak girmiştir. Elektronik endüstrisi devre eleman ve yardımcı elemanlar ile elektronik cihaz ve sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Devre elemanlarının üretimi mikroelektroniğin konusudur.

Elektronik endüstrisi gücünü mikroelektronik endüstrisinden alır. Yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik alanındaki ilerlemeler, yakın geçmişin en önemli teknoloji olayları arasındadır. İnsanoğlunun uzay teknolojisine girmesi ve stratejik silahların geliştirilmesi bu teknoloji ile mümkün olmuş ve entegre mikroelektronik sistemler, uydu haberleşmesinden dijital saatlere kadar çok geniş bir alanın vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir. Bugün, insan hayatının hemen hemen her safhasına girmiş bulunan mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisini bütün ülkelerin öğrenmesi ve kullanması kaçınılmazdır. Bu teknolojiye sahip olmayan ülkeler, belki de geri kalmaktan kurtulamayacaklardır.

Bu tezin hazırlanmasında yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Vatan TUĞAL' a ve Yrd. Doç. Dr. Şemsettin KILIÇARSLAN' a teşekkürü borç bilirim.

Tez araştırmaları sırasında değerli yardımlarından dolayı başta Öğr. Gör. Recep BÖRÜ, Arş. Gör. Abdulkerim ÖNCÜ, Arş. Gör. Mehmet ÖZBEK, Arş. Gör. Hakan KAPTAN ve Arş. Gör. Kenan TOKER olmak üzere Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümünün bütün öğretim elemanları, öğretim görevlileri ve araştırma görevlilerine, TÜBİTAK MAM YITAL Bölümünden A. Ulvi ÇALIŞKAN ve Engin KONUR' a, Bilgisayar Sistemleri Bölümünden İsa TAŞDELEN, Ali GÜRBÜZ, Savaş ÖZTÜRK' e, İTÜ ETA Bölümüne, TESİD çalışanlarına, görev yaptığım Gültepe Endüstri Meslek Lisesi Elektronik-Bilgisayar Bölümü öğretmenlerinden başta Bilgisayar Bölüm Şefi Bülent KIRAN, Elektronik Bölüm Şefi Abdullah SOHTORİKOĞLU ve Bölüm öğretmenlerinden M. Furkan KAN olmak üzere bütün öğretmen arkadaşlarıma, ev arkadaşlarım Yüksek Teknik Öğretmen Murat BAYRAKTUTAR, Yüksek Teknik Öğretmen Zekeriyya SOYDAŞ ve Elektronik Bölüm Öğretmeni Mehmet AYDİN' a, sabır ve anlayışlarından dolayı kıymetli ve sevgili aileme teşekkür ederim.

# ÖZET

Dünya elektronik sanayi pazarı; 90'lı yılların başından bu yana ortalama %12'lik bir artış göstererek 1994 yılı itibariyle yaklaşık olarak 1.1 trilyon Dolara (ABD) ulaşmıştır. Bu gelişim ile dünyanın bir numaralı pazarı konumuna gelmiştir. Türkiye açısından bakıldığında ise tam bir elektronik endüstrisinden söz etmek mümkün değildir. Mikroelektronik alanındaki çalışmalar ise bazı özel şirketler ve üniversiteler ile sınırlı kalmaktadır.

1980'li yılların başından itibaren ağırlıklı olarak Silisyum tümdevre üretimine yönelen yarı iletken pazarı 1994 yılında 100 milyar Doları (ABD) aşmış olup 2000'li yılların başında 200 milyar Dolara (ABD) ulaşması beklenmektedir. Yarı iletken pazarının %85'ini oluşturan tümdevre (IC) payının yeni asrın başında %90lara ulaşması beklenmektedir. Tümdevre gelişiminin anahtarı tümdevre teknik ve teknolojilerinin geliştirilmesidir.

Tümdevre üretim tekniklerinin başında yarı iletken malzemelerin hazırlanması gelir. Kristal yapılı pullar oluşturulduktan sonra monolitik devrelerde en çok kullanılan planar teknoloji teknikleri kullanılarak tümdevre fabrikasyonu gerçekleştirilir. 1. Bölümde temel tümdevre üretim teknikleri ve örnek tümdevre elemanların üretilmesi, 2. Bölümde de tümdevre üretim teknolojileri ve Bilgisayarlı Üretim yapan fabrika yapısı, özellikleri ve otomasyonu anlatılmaktadır.

Elektronik kontrol gün geçtikçe otomatikleşen ve netice olarak daha fazla hassaslaşan ve kaliteli imalata yönelen endüstri kollarına tamamen girmiş, bütün bilim dallarında laboratuarlar, tıpta muayene, tedavi ve ameliyat odaları elektronik cihaz ve sistemlerle donatılmıştır. 3. Bölümde elektronik endüstrisinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumu, 4. Bölümde de mikroelektronik endüstrisinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumu irdelenmektedir.

Üniversitenin işlevi ise gerek sanayi gerekse üniversite için yetişmiş insan ve bilgi üretmektir. 5. Bölümde tümdevre fabrikasyonu konusunda Türkiye ve dünyadaki üniversite, Ar&Ge merkezleri ile özel kuruluşların çalışmaları, 6. Bölümde de tümdevre fabrikasyonun geleceği açıklanmaktadır.

# ABSTRACT

World electronics industry market in the world increased to 1.1 trillion USD (1994) by 12% icrease yearly after 90s. By the performance of it, electronics market became the number one market in the world. In the aspect of Turkey, it is impossible to speak about an electronics industry. The studies about microelectronics are also limited by some private companies and universities.

By the beginning of 1980s, semiconductor market has heavly manufactured Si Integrated Circuits (IC). Semiconductor market reached 100 billion USD by the year 1994 and it is expected to reach 200 billion USD by the beginning of 2000. Market share of IC in the semiconductor market is 85% and it is predicted to be 90% by the beginning of new century. The key of IC progress is advances of IC techniques and technologies.

Semiconductor material preparation is the initial stage of the IC manufacturing techniques. After crystall wafer had formed, IC fabrication processes have performed using planar technology techniques, mostly used techniques in monolithic circuits. In Chapter 1, basic IC manufacturing techniques and IC component manufacturing are held. IC manufacturing technologies and Computer Integrated Manufacturing (CIM) used factory structure, properties and automation are described in Chapter 2.

Microelectronics industry is the leading power of the electronics industry. Day by day, electronic control has entered all the industry branches which manufacture qualified products with sensitive automation lines. All the scientific laboratories and medical diagnosis, treatment, surgery rooms are equipped with electronic devices and systems. In Chapter 3, the position of electronics industry and Chapter 4, the position of microelectronics industry both in the world and in Turkey are described.

The function of universities to educate qualified human and to produce information to both industry and universities. In Chapter 5, IC fabrication studies of universities, Research and Development Centers and private companies both in Turkey and in the world are discussed. Future of IC fabrication is also studied In Chapter 6.

# SEMBOL ve BİRİMLER

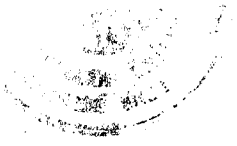
| | |
|---|---|
| $F | :cihaz satın alma maliyeti, bina masrafları ve diğerlerini içeren sabit maliyet |
| $V | :cihaz çalışıyorken veya işlemler gerçekleştiriliyorken oluşan malzeme, laborant ve işlem maliyeti |
| $Y | :pul kayıpları maliyeti |
| °A | :$10^{-10}$ m |
| ρ | :öz direnç |
| ε | :uyumsuzluk faktörü |
| 1 °C | : 33,8 F=274,15 K |
| 1 Atm | :760mm Hg=760 torr=1,013*$10^5$ Pascal |
| 1 eV | :1,6. $10^{-19}$ Joule |
| 1 foot $^2$ | :929 $cm^2$ |
| 1 foot | :12 inch=30,48 cm |
| 1 inch $^2$ | :6,45 $cm^2$ |
| 1 inch | :2,54 cm |
| 1 mikrometre | :$10^{-6}$ m |
| 1 mil | :25,40 μm |
| 1 milimetre | :$10^{-3}$ m |
| 1 nm | :$10^{-9}$ m |
| 1 Pascal | :1N/$m^2$=0,0075 torr |
| A | :parça alanı |
| | :sabit |
| | :tabaka alanı |
| Af | :izotropik aşındırma derecesi |
| Cl | :katkı atomların sıvı fazdaki denge yoğunluğu |
| Cs | :katkı atomların katı fazdaki denge yoğunluğu |
| CW | :cihaz ve işlemlere bağlı olarak belirlenen işlenmiş pul maliyeti |
| D | :Difüzyon maddesinin yayılma katsayısı |
| | :pul çapı |
| G | :G/Ç sayısı |
| | :kapı sayısı |
| K | :sabit direnç bileşimi ile akışkanlığın bir fonksiyonu |
| ko | :dağılım katsayısı |
| L | :cihazın çalışma zamanı |
| | :difüzyonlu bölgenin uzunluğu |
| | :tabaka uzunluğu |
| N | :Difüzyon maddesinin konsantrasyonu |
| No | :Yüzey konsantrasyonu |
| Q | :Difüzyon maddesinin toplam miktarı |
| r | :pul yarı çapı |
| | :sabit |
| rpm | :revolutions per minute |
| Rs | :tabaka direnci |
| t | :tabaka kalınlığı |
| TPT | :bakım gereklilikleri, kurma, pul testi ve diğer nedenlerden dolayı maksimum değerden düşürülen pul verimi |
| U | :işlem zamanını maksimum değerden düşüren cihaz kullanım faktörü |
| Vl | :yatay kenar oranı |
| Vv | :dikey kenar oranı |
| W | :difüzyonlu bölgenin genişliği |
| w | :tabaka genişliği |
| Ytpt | :verim faktörü |

# KULLANILAN KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AEA : American Electronics Association
AFCEA : Armed Forces Commmunication Engineers Association
AFM : Atomic Force Microscope
AGV : Automated Guided Vehicles
AIETI : Endonezya Elektronik Telekomünikasyon Birliği
AIIA : Australia Information Industry Association
AMD : Advanced Micro Devices
AMSTC : Alabama Microelectronics Science and Technology Center
ANAEM : Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
ANSI : American National Standart Institude
Ar&Ge : Araştırma-Geliştirme
ASIC : Application-Specific Integrated Circuit
ASQC : American Society for Quality Control
ASTM : American Society for Testing and Materials
BAE : Birleşik Arap Emirlikleri
BETA : Boğaziçi University Advanced Electronics Technologies
BGA : Ball Grid Array
BICMOS : Bipolar-CMOS
BİLTEN : Bilgi Teknolojileri Elektronik Araştırma Enstitüsü
BJT : Bipolar Junction Transistor
BMDO : Ballistic Missile Defense Organization
C-4 : Controlled Collapse Chip Contact
CAD : Computer Aided Design
: Computer-Aided Drafting
CAGR : Compound Annual Growth Rate
CAM : Computer-Aided Manufacturing
CAPP : Computer Aided Process Planning
CCB : Controlled Collapse Bonding
CCD : Charge-Coupled Devices
CCSM : Center for Compound Semiconductor Microelectronics
CD-ROM : Compact Disc ROM
CEM : The Centre for Electronic Materials
CENİCE : Elektronik Komponent Geliştirme Merkezi
CERDIP : Cam Kaplamalı Isıya Dayanıklı Seramik Paketleme
CESA : Computer Entertainment Software Association
CIM : Computer Integrated Manufacturing
CMOS : Complementary MOS
CNC : Computer Numerical Control
CNF : Cornell Nanofabrication Facility
COO : Cost Of Ownership
CPU : Central Processing Unit
CSDL : Compound Semiconductor Device Laboratory
CSM : Chip Scale Module
: Competitive Semiconductor Manufacturing
CSSER : Center for Solid State Electronics Research
CVD : Chemical Vapor Deposition
CZ : Czochralski
ÇBÇT : Çok Büyük Çapta Tümleştirme
DA : Design Automation

DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency
DDE : Double Diffused Epitaxy
D-FET : Depletion mode FET
DIMES : Delft Institute of Microelectronics and Submicron Technology
DIN : Deutsches Institut für Normung
DIP : Dual-In-line Package
DMOS : Double implanted MOS
DRAM : Dynamic Random Access Memory
DRC : Design Rule Check
DSW : Direct Step on Wafer
DVD : Digital Video Display
DWS : Direct Writing System
EBL : Electron Beam Litography
ECAD : Electronics Computer aided Design
EECA : European Electronic Component Manufacturers Association
EEEL : Electric and Electronics Engineering Laboratory
EEEL OMP : EEEL Office of Microelectronics Programs
EEPROM : Elecrically Erasable Programmable ROM
E-FET : Enhancement mode FET
EFG : Etched Film Growth
EGS : Electronic Grade Silicon
EIA : Electronic Industries Association
EIAJ : EIA of Japan
EMF : Edinburg Microfabrication Facility
EMG : Electronic Materias Group
EMPRL : Pennsylvania State Electronic Materials and Processing Research Laboratory
EMS : Electronic Manufacturing Service
EPSRC : Engineering and Physics Science Research Council
ERSO/ITRI : Electronics Research & Service Organization of the Industrial Technology Research Institude
ETSI : Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FAA : Federal Aviation Administration
FED : Field Emission Display
FET : Field Effect Transistor
FIB : Focused Ion Beam
FIFO : First In First Out
FPGA : Field Prorammable Gate Array
FWHM : Full With of Half Maximum
FZ : Float Zone process
G/Ç : Giriş/Çıkış
GATT : General Agreement on Tariffs and Trade
GBW : Gain Band Width
GBWP : Gain Band Width Product
GEL : Glass Epoxy Layers
GGF : Global Governmental Forum
GPS : Global Positioning Systems
GSM : Global System for Mobile communications
HBT : Heterojunction Bipolar Transistor
HDTV : High Definition TV
HEMT : High Electron Mobility Transistor
HEPA : High Efficiency Particulate Air
HMOS : High density MOS





I/O : Input/Output
IBC : Ion Beam Centre
IBM : International Business Machines
IC : Integrated Circuit
ICL : Integrated Circuit Laboratory
IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor
IIPEC : Institude for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits
IME : The Institude of MicroElectronics
IMEC : Independent Micro-Electronics R&D Center
IR : Infra Red
ISO : International Organizations for Standardization
IT&T : Information Technology and Telecommunications
ITSA : Information Technology and Systems and Applied Sciences
IUC : Inter University Center
İTÜ/ETA : Istanbul Technic University / Advanced Electronics Technologies
JEDEC : Joint Electron Devices Engineering Comittee
JEIDA : Japan Electronic Industry Association
JFET : Junction gate FET
JISA : Japan Information Service Industry Association
JIT : Just in Time inventory control
JPCSA : Japan Personel Computer Software Association
JRDC : Research Development Corporation of Japan
KPR : Kodak PhotoResist
KSH : Central Statistical Office
KSIA : Korea Semiconductor Industry Association
LB : Langmuir-Blodgett
LCD : Liquid Crystal Display
LISA : Laboratory for the Integration of Sensors and Actuators
LML : Lutz Microfabrication Laboratory
LOCOS : Local Oxide
LPCVD : Low Pressure CVD
LPE : Liquid Phase Epitaxy
LSI : Large Scale Integration
MAL : Microfabrication Application Laboratory
MBE : Molecular Beam Epitaxy
MCC : Microlectronics and Computer Technology Corporation
MCM : Multi Chip Module
MCM-C : MCM- Ceramics
MCM-D : MCM-Dielectric
MEMS : Micro-Electro-Mechanical Systems
MESFET : MEtal Semiconductor FET
MFL : Microelectronics Fabrication Laboratory
MIPS : Million Instruction Per Second
MIS : Management Information Systems
MiRC : Georgia Institute of Technology Microelectronics Research Center
MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuit
MOCVD : Metal Organic CVD
MOS : Metal Oxide Semiconductor
MOSFET : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPC : MultiProject Chip
MPE : Molecular Phase Epitaxy
MRC : Microelectronics Research Center

MSB : Milli Savunma Bakanlığı
MSIT : Micro-Systems Integration Technology
MSRCE : Materials Science Research Center of Excellence
MTF : Mean Time Failure
MTL : Microsystem Technology Laboratory
: Minnesota Microtechnology Laboratory
MTR : Mean Time Repair
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NASF : Net Assignable Square Feet
NC : Numerical Control
NIST CSTL : NIST Chemical Science and Technology Laboratory
NIST MEL : NIST Manufacturing Engineering Laboratory
NIST MSEL : NIST Materials Science and Engineering Laboratory
NIST NSMP : NIST National Semiconductor Metrology Program
NIST : National Institute of Standarts and Technology
NJIT : New Jersey Institute of Technology
NNUN : National Nanofabrication User Network
NRL : Naval Research Laboratory
NSF : National Science Foundation
NSL : NanoStructures Laboratory
ODTÜ : Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OEM : Original Equipment Manufacturers
ONR : Office of Naval Research
PC : Personel Computer
PCB : Printed Circuit Board
PCS : Personel Communications Systems
PDP : Plasma Display Panel
PECVD : Plasma Enhanced CVD
PG : Pattern Generator
PGA : Pin Grid Array
PHCVD : Photon-induced CVD
PL : Photoluminescence
PMMA : Poly Methyl MetAcrylate
PPC : Pre Process Chamber
PSPE : Program for Semiconductor Product Engineering
PTT : Posta Telgraf Telefon
PVD : Physical Vapour Deposition
QA : Quality Assurance
QC : Quality Control
QED : Quantum Effective Devices
QUEST : The Center For Quantized Electronics Structures
QUIP : Quad In line Package
R&D : Research and Development
RAM : Random Access Memory
RF : Radio Frequency
RIE : Reactive Ion Etching
RISC CPU : Reduced Instruction Set Computer Central Processing Unit
ROM : Read Only Memory
RPCB : Rigid PCB
S&E : Science and Engineering
SCRIBA : Surrey Centre for Research In Ion Beam Applications
SDCL : Semiconductor Device Characterization Laboratory

SEM : Scanning Electron Microscope
SEMATECH : Semiconductor Manufacturing Technology
SEMI : Semiconductor Equipment and Materials International
SERC : Science and Engineering Research Council
SG-RTT : Schottky-Gated Resonant Tunelling Transistor
SI : Semi Insulating
SIA : Semiconductor Industry Association
SIB : Sowered Ion Beam
SIP : Single In-line Package
SIPOS : Semi-Insulating Polycrystalline Oxygen doped Silicon
SM : Surface Mounting
SMC : Scottish Microelectronics Centre
SME : Small and Medium sized Enterprises
SMIF : Mechanical InterFace Standart
SNF : Stanford Nanofabrication Facility
SOC : System-On-Chip
SOD : Si-On-Diamond
SOG : Spin-On-Glasses
SOI : Silicon-On-Insulator
SOIC : Small Outline IC
SOS : Saphire Oxide Semiconductor
: System-On-Silicon
SPC : Statistical Process Control
SPR : Semiconductor Process Representation
SQW : Single Quantum Well
SRAM : Static RAM
SRC : Semiconductor Research Corporation
SRMP : Standart Reference Materials Program
SSDC : United .States Army Space and Strategic Defense Command
SSEL : Solid State Electronics Laboratory
SSM : Savunma Sanayi Müsteşarlığı
STC : NSF Science and Technology Center
STEM : Scanning Tunnel Electron Microscope
STM : Scanning Tunnel Microscope
SUMC : Southampton University Microelectronics Center
SWR : Semiconductor Wafer Representation
TAB : Tape Automated Bonding
TAM : Total Available Market
TCAD : Technology CAD
TCM : Thermal Conduction Module
TEK : Türkiye Elektrik Kurumu
TESİD : Türk Elektronik Sanayicileri ve İşadamları Derneği
TFE : Thermal Field Emission
TH : Through Hole
TRL : Technology Research Laboratory
TRT : Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu
TSIA : Taiwan Semiconductor Industry Association
TTGV : Türk Teknoloji Geliştirme Vakfı
TTL : Transistor Transistor Logic
TUD : Delft University of Technology

| | |
|---|---|
| TÜBİTAK MAM UEKAE | : Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü |
| TÜTAM | : Tümdevre Tasarım Merkezi |
| UCSB | : University of California at Santa Barbara |
| ULSI | : Ultra Large Scale Integration |
| UMTS | : Universal Mobil Telecommunication Systems |
| USB | : Universal Serial Bus |
| USDA | : United States Department of Agriculture |
| UV | : Ultra Violet |
| VLSI | : Very Large Scale Integration |
| VPE | : Vapour Phase Epitaxy |
| WBG | : Wide Band Gap |
| WCS | : Wireless Cellular Communications |
| WIP | : Wafers in Process |
| WIT | : Wafer Isolation Technology |
| WSI | : Wafer Scale Integration |
| WSTS | : Wold Semiconductor Trade Statistics |
| YİTAL | : Yarı İletken Tasarım Araştırma Laboratuarı |
| ZIP | : Zig-zag in line Package |





# ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Czochralski kristal çekicinin şeması [2].....4
Şekil 1.2. Kayan bölge cihazının şeması [2].....5
Şekil 1.3. {111}' i pulun düzlemlerinin tanımlanması (a)n öz dirençli (b) p öz dirençli [3].....7
Şekil 1.4. Alaşım ile p-n jonksiyonunun oluşum şeması (a) örnek düzenek(b) erimeden önce c) erime aşaması (d) kristalizasyondan sonra oluşan p-n jonksiyon [2].....9
Şekil 1.5. Alaşımlı p-n jonksiyonu (a) katkı yerleştirme (b) ısıtmadan sonra (c) n-tipikatkılama [5].....10
Şekil 1.6. Açık tüp difüzyon sistemi [2].....12
Şekil 1.7. Si' deki bazı katkıların difüzyon katsayıları [2].....13
Şekil 1.8. Ekili 1015 iyon/ cm2 dozunda ölçülmüş B dağılımı [2].....14
Şekil 1.9. Epitaksiyel oluşum sistemi [2].....15
Şekil 1.10. Buhar fazlı dikey epitaksiyel reaktörü [2].....16
Şekil 1.11. Çok kutulu tüp içeren LPE oluşum sistemi [2].....17
Şekil 1.12. MBE kullanılarak AlGaAs oluşumunun şematik düzeneği [2].....18
Şekil 1.13. Sıvı oksidasyon sisteminin kesit görünüşü [2].....18
Şekil 1.14. Yatay plakalı plazma reaktör [2].....20
Şekil 1.15. RF diyodlu saçılma düzeneği [2].....20
Şekil 1.16. Pul hazırlama [6].....22
Şekil 1.17. Epitaksiyel film oluşumu [4].....23
Şekil 1.18. Si epitaksiyel film oluşturma sistemi [4].....24
Şekil 1.19. Termal oksit formasyonu (a)formasyondan önce (b)formasyondan sonra [3].....25
Şekil 1.20. IC transistor yapısı (a)ideal (b)gerçek [4].....26
Şekil 1.21 Pencere profilleri (a) pozlandırma (b)gelişimden sonra-negatif direnç c)aşındırmadan sonra negatif direnç (d)aşındırmadan sonra-pozitif direnç [3].....28
Şekil 1.22. Sıvı aşındırmadan sonra oluşan alttan kesme (a)aşındırmadan sonra (b)direnç çıkarmadan sonra [6].....29
Şekil 1.23. Litografi ve aşındırma ile malzeme çıkarma (a)başlangıç (b) maske (c) litografiden sonra (d)aşındırmadan sonra (e)direnç çıkarmadan sonra [6].....30
Şekil 1.24. Paralel plakalı plazma aşındırma sistemi [6].....31
Şekil 1.25. İzotropik ve anizotropik profiller (a) aşındırmadan önce (b) izotroik aşındırma (c) anizotropik aşındırmaya yakın (d)ideal anizotropik aşındırma [3]..32
Şekil 1.26. (a)Tüm pul maskesi:*1 maske (b)tek zar maskesi:*5 veya *10 zar modeli [6].....33
Şekil 1.27. Maske oluşturma (a)tüm pul optik projeksiyon litografi (b)DSW litografi [6].....33
Şekil 1.28. Foto aşındırma tekniği.(a)ultra viyole ışık ile maskeleme ve pozlandırma. (b) Oluşumdan sonraki foto direnç [4].....35
Şekil 1.29. Maske pozlandırma ve pozitif dirençten sonra geliştirme [6].....36
Şekil 1.30. İki-seviye metal yapısı [6].....38
Şekil 1.31. p-n jonksiyon izolasyonu (a)n-epitaksiyel tabakalı p- gövde (b)p-tipi izolasyon difüzyon (c)$n^+$- gömülü tabakalı gövde ve (d)gömülü $n^+$- tabaka içeren p-tipi izolasyon difüzyonu [2] ..... 40
Şekil 1.32. Oksit izolasyonu (a)kanalların aşındırılması (b)poli Si' un oluşturulması (c)adaların oluşturulması için gövdenin örtüşmesi [2] .....41
Şekil 1.33. V-oluk izolasyon işlemi (a)gövde V-oluk aşındırma (b) termal oksidasyon [2]....41
Şekil 1.34. İzoplanar izolasyon [2].....42
Şekil 1.35. Tümdevre eleman izolasyonu (a)difüzyonlu jonksiyon izolasyon (b)epitaksiyel jonksiyon izolasyon (c)$SiO_2$ izolasyon [1].....43
Şekil 1.36. Elektron huzme sisteminin kesiti [2].....45
Şekil 1.37. Zar ara bağlantı (a)iletken bağlama (b)flip-kırmık (c)TAB [3] .....46
Şekil 1.38. SM paketleme ayak geometrisi (a)J ayak (b)Gull-wing (c)Butt ayak [3] .....47
Şekil 1.39. IC paket fotoğrafi [3].....48
Şekil 1.40. ZIP, SIP ve QUIP görünüşleri (a)SIP (b)ZIP (c)QUIP [3].....49

Şekil 1.41. (a)DTL kapısı. (b) 10 ayaklı yeniden çizilmiş şeması [4].....51
Şekil 1.42.Şekil 1.41 deki devrenin monolitik tasarım yerleşimi [4].....51
Şekil 1.43. Tabaka direncinin gösterimi [4].....55
Şekil 1.44. p-tipi difüzyon direncin (a)yapısı(kesiti) (b)üst görünüşü (c)direnci artırma yöntemi [4].....56
Şekil 1.45. Kısma direnç [8].....57
Şekil 1.46. (a)Jonksiyon tipi kondansatör (b)eşdeğer devresi [4].....59
Şekil 1.47. Difüzyonlı jonksiyon kondansatörler [8].....60
Şekil 1.48. MOS kondansatörün (a)yapısı (b) eş değer devresi [4].....61
Şekil 1.49. Poli-poli kondansatör yapısı [4].....61
Şekil 1.50. C' in B' e kısa devre edildiği E-B diyodu [2].....62
Şekil 1.51. Diyod çifti (a) ortak-katot (b) ortak-anot [4].....63
Şekil 1.52. IC diyodlar (a)E-B diyodu (C, B ye bağlı) (b)E-B diyodu (C açık) (c) C-B diyodu (emiter difüzyonu veya ekimi yok) [4].....63
Şekil 1.53. IC Schottky diyod (a)yapısı (b) sembolü [4].....64
Şekil 1.54. Jonksiyon izolasyon (a)üçlü difüzyon (b)iki yanlı işlem (c)çift difüzyon epitaksiyel işlemi [8].....65
Şekil 1.55. Gömülü tabaka [8].....66
Şekil 1.56. Jonksiyon izoleli bipolar tümdevre işlemi [8].....67
Şekil 1.57. Gömülü tabakada ideal ve gerçek katkı profilleri [8].....68
Şekil 1.58 Monolitik entegre transistorda katkı profilleri [4].....69
Şekil 1.59. n+ gömülü tabaka kullanımı [4].....69
Şekil 1.60. Monolitik transistor geometrisi (ölçü birimi: mil ) [4].....71
Şekil 1.61. Tamamlanmış IC NPN transistor yapısı [9].....73
Şekil 1.62 n-p-n transistor üretim adımları (a)n-tipi epitaksiyel ve oksidasyon (b)izolasyon difüzyonu (c)p-tipi izolasyon difüzyonun üst görünüşü (d)baz difüzyon (e)baz difüzyonun üst görünüşü (f) $n^+$ emiter difüzyon (g)metalizasyon ve pasivasyon (h)kırmığın üst görünüşü [4].....74
Şekil 1.63 Sürme akımını azaltan enjektör PNP yapısı [9].....75
Şekil 1.64 Enjektör PNP transistorun temel yerleşimi [9].....76
Şekil 1.65 Yatay PNP transistor [9].....77
Şekil 1.66 Yatay ve dikey PNP transistor [4].....78
Şekil 1.67 (a)Dikey p-n-p transistor (b)yatay p-n-p transistor [8].....79
Şekil 1.68 Multiemiter transistor (a) yapısı (b) üst görünüşü [4].....80
Şekil 1.69 (a)Ortak kollektör ve bazlı üç transistor (b)eşdeğer tek multiemiter transistor[4]..80
Şekil 1.70 Schottky (a)transistor (b)yapısı (c)sembolü [4].....81
Şekil 1.71 JFET transistor yapısı [4].....82
Şekil 1.72 JFET işlemi (a) planı (b) izometrisi [8].....83
Şekil 1.73 Enhansment MOSFET üretimi (a)p + ekimi ve kalın oksit (b)$Si_3N_4$ aşındırma ve ince oksit (c) poli Si kapı oluşturma (d) üst görünüş (e) yapısı (f) üst görünüş [4].84
Şekil 1.74 Alt oksit [11].....86
Şekil 1.75 Nitrat oluşturma [11].....86
Şekil 1.76 Foto direnç işlemi [11].....86
Şekil 1.77 01 maske ve pozlandırma [11].....87
Şekil 1.78 Geliştirme ve fırınlama [11].....87
Şekil 1.79 Bor ekimi [11].....87
Şekil 1.80 Nitrat aşındırma [11].....88
Şekil 1.81 Foto direnç çıkarma [11].....88
Şekil 1.82 Alan oksidasyonu [11].....88
Şekil 1.83 Üst oksit ve nitrat çıkarma [11].....89
Şekil 1.84 Alt oksit aşındırma [11].....89
Şekil 1.85 Kapı oksidasyonu [11].....90

Şekil 1.86 Kapı ekme [11]....90
Şekil 1.87 02 maske ve pozlandırma [11]....90
Şekil 1.88 Deplesyon ekme [11]....91
Şekil 1.89 Foto direnç çıkarma [11]....91
Şekil 1.90 03 maske ve pozlandırma [11]....92
Şekil 1.91 03 kapı aşındırma [11]....92
Şekil 1.92 Foto direnç çıkarma [11]....93
Şekil 1.93 Poli kristal Si film oluşturma [11]....93
Şekil 1.94 Poli kristal Si oksidasyonu [11]....94
Şekil 1.95 05 maske ve pozlandırma [11]....94
Şekil 1.96 Poli kristal Si oksidasyon aşındırma [11]....95
Şekil 1.97 Foto direnç çıkarma [11]....95
Şekil 1.98 Poli kristal Si aşındırma [11]....95
Şekil 1.99 Kapı oksit aşındırma [11]....96
Şekil 1.100 N+ kaynak-akaç [11]....96
Şekil 1.101 Cam oluşturma [11]....97
Şekil 1.102 06 maske ve pozlandırma [11]....97
Şekil 1.103 Ön omik kontak kesimi ve foto direnç çıkarma [11]....98
Şekil 1.104 Metalleme işlemi [11]....98
Şekil 1.105 08 maske ve pozlandırma [11]....99
Şekil 1.106 Aşındırma ve foto direnç çıkarma [11]....99
Şekil 1.107 Son pasivasyon [11]....100
Şekil 1.108 CMOS (a) yapısı (b) devresi [4]....101
Şekil 1.109 CMOS evirici (a) temel devre (b) yapısı [2]....102
Şekil 1.110 MOS ve BJT' den oluşan BICMOS yapısı [8]....103
Şekil 1.111 Gömülü tabakalı BICMOS yapısı [8]....103
Şekil 1.112 Çok ara gövdeli BICMOS yapısı [8]....104
Şekil 1.113 n- kanal deplesyon ve enhansment tip MOS evirici [2]....105
Şekil 1.114 p- ve n- kanallı enhansment mod MOS transistorun SOS yapısı [2]....106
Şekil 1.115 Mesa izolasyonlu dijital devre [8]....107
Şekil 1.116 Enhansment mod JFET evirici devrenin yapısı [8]....108
Şekil 1.117 E/D FET çiftinin yapısı [8]....109
Şekil 1.118 HEMT yapısı [8]....110
Şekil 1.119 E/D HEMT çiftinin yapısı [8]....110
Şekil 1.120 HBT yapısı [8]....111
Şekil 1.121 Tümdevre yerleşimi [1]....112
Şekil 1.122 Tümdevre işlem adımları (a)izolasyon difüzyon (b)p- tipi baz difüzyon (c)n- tipi emiter difüzyon (d)kontak formasyonu [1]....113
Şekil 2. 1. Kübik kristal birim hücresi (a)Basit kübik (b)Gövde-merkezli kübik (c)Yüz-merkezli kübik [12]....116
Şekil 2. 2. Kübik kristaldeki önemli düzlemlerin Miller indisleri [12]....116
Şekil 2. 3. (a) Elmas latis hücresinin (her hangi bir <100> yönünün) üst görünüşü (b) elmas latis birim hücresinin şematik gösterimi (c) elmas latis birim hücresinin (100) kesiti (d) c deki birim hücrenin (110) kesitinin atomları ve aynı (110) düzlemindeki komşu atomlar [12]....117
Şekil 2. 4. Başlangıç malzemesinden cilalı pula kadar işlem sırası [12]....118
Şekil 2. 5. Modern Si kristal çekicinin fotoğrafi [13]....119
Şekil 2. 6. Kristal çekicinin şeması [13]....120
Şekil 2. 7. Eriyikten katılaştırılan Si kristal görünüşü [13]....121
Şekil 2. 8. İşlenmiş külçe fotoğrafi [13]....121
Şekil 2. 9. (a) Modern bilgisayar kontrollü CZ çekici (b) CZ çekicinin şeması [12]....123
Şekil 2. 10. Endüksiyon ısıtmalı dikey gözleme reaktörün şeması [12]....125

Şekil 2. 11. Radyoaktif ısıtmalı kovan reaktör şeması [12].....126
Şekil 2. 12. MBE oluşum odasının şeması [12].....128
Şekil 2. 13. 4-yığınlı difüzyon fırın sistemi [12].....129
Şekil 2. 14. (a)Açılı kuvars bottaki pullar (b)tekerlek taşıyıcı [12].....130
Şekil 2. 15. Açık fırın tüp difüzyon sistemi (a) katı kaynaklı (b) sıvı kaynaklı (c) gaz kaynaklı [14] .....131
Şekil 2. 16. İyon implantasyon cihazının şeması [14].....133
Şekil 2. 17. Freeman İyon kaynağının şeması [12].....135
Şekil 2. 18. İyon implantasyon sisteminin şeması [13].....136
Şekil 2. 19. (a)Kovan aşındırıcı (b)aşağı buhar plazma aşındırıcı şeması [12].....137
Şekil 2. 20. Paralel elektrot kuru aşındırıcı (a)plazma aşındırma mod (b) RIE mod [12] .....138
Şekil 2. 21. (a)Yığın elektrot aşındırıcı (b)magnetron iyon aşındırma sistemi [12].....138
Şekil 2. 22. (a)Altılı yığın aşındırıcı elektrotunun şeması (b) altılı yığın aşındırıcının fotoğrafi [12] .....139
Şekil 2. 23. Elektron huzme makinesinin şeması [12].....140
Şekil 2. 24. Perkin-Elmer AEBLE-150 sisteminde kullanılan elektron düzeneği [12].....141
Şekil 2. 25. (a)x-ışınlı pozlandırma sistemi (b)x-ışınlı litografi sisteminin şeması [12].....142
Şekil 2. 26. (a) Geleneksel x-ışın tüpü (b) sabit anotlu x-ışınlı tüp [12].....143
Şekil 2. 27. Temel oluşturma sisteminin şeması [14].....145
Şekil 2. 28. PECVD sisteminin diyagramı [12].....146
Şekil 2. 29. Kütle akış kontrolörünün (a)çalışma prensibi (b)kesit görünüşü [12] .....147
Şekil 2. 30. CVD reaktör çeşitleri [12].....149
Şekil 2. 31. CVD sisteminin 4 çeşidi (a)atmosfer basınçlı reaktör (b)sıcak duvarlı LPCVD (c)paralel plakalı plazma CVD (d)PECVD [14].....150
Şekil 2. 32. Saçılma sisteminin bazı elemanlarının şeması [12].....152
Şekil 2. 33. Paketleme şeması [15].....154
Şekil 2. 34. Dilimleme işleminde pul verimi [15] .....155
Şekil 2. 35. Zar bağlama ile taşıyıcıya bağlı ve iletken ile ara bağlantılı kırmığın kesit görünüşü [15] .....156
Şekil 2. 36. İletken bağlayıcı ile gövdeye bağlanan kırmığın fotoğrafi [15].....157
Şekil 2. 37. (a)TAB' in yakından görünüşü (b)diğer bir TAB' in yakından görünüşü[15].....158
Şekil 2. 38. TAB üretimi işlem akışı [15].....159
Şekil 2. 39. Ayak bağlama [15].....160
Şekil 2. 40. (a)İki kırmık montajlı modül ve (b)flip-kırmık için ara bağlantı teknoloji örneği [15] .....162
Şekil 2. 41. Tümdevre endüstrisinde elde edilen aktif eleman/kırmık sayısı [15].....163
Şekil 2. 42. Baskı devre(PC) endüstrisi-tümdevre(IC) endüstrisinin yıllara göre gelişimi [15].....164
Şekil 2. 43. Seramik modül üzerindeki poliimid görünüşü [15].....166
Şekil 2. 44. IC yuvalı bölge dizisinden oluşan üç boyutlu paketleme [16].....168
Şekil 2. 45. CIM İşlemi [17].....169
Şekil 2. 46. LSI/VLSI sisteminin gelişim ve tasarımındaki çeşitli aşamalar [18].....170
Şekil 2. 47. Fabrika maliyet faktörleri [19].....173
Şekil 2. 48. Pul üretim kaybı-üretim olgunluğu grafiği [19].....175
Şekil 2. 49. Cihaz satın alma faktörlerinin değişimi [19].....177
Şekil 2. 50. Üç odalı kümeleme aleti [19].....179
Şekil 2. 51. Otomatik kılavuzlu araç pul dağıtım sistemi [19].....180
Şekil 2. 52. Üst ray pul dağıtım yerleşimi [19].....181
Şekil 2. 53. Bilgisayar kontrollü fabrika sistemi [19].....182
Şekil 2. 54. İşlem adasında robotla pul dağıtımı [19].....183
Şekil 2. 55. Tabaka direncinin frekans dağılımı [19].....185
Şekil 2. 56. Normal dağılımın tasarım limitleri ile karşılaştırılması [19].....186

Şekil 2. 57. X-R kontrol çizelgesi [19]....187
Şekil 4. 1 Dünya yarıiletken ve tümdevre pazarlarının yıllara göre değişimi [29] ....263
Şekil 4. 2 Dünya ticari tümdevre pazarının ürünler açısından dağılımı [29] ....264
Şekil 4. 3 Kullanılan teknoloji açısından dünya pazarının zaman içinde değişimi [29] ....265
Şekil 4. 4 ABD (a)elektronik fabrika satışı, (b)tümdevre pazarı [33]....270
Şekil 4. 5 ABD'deki IC grupların satışları [33]....271
Şekil 4. 6 ABD elektronik endüstrisinin teknolojik değişimi [33]....271
Şekil 5. 1 YİTAL' de üretilen ROM kırmığının foto-mikrografiği [37]....298
Şekil 5. 2 Ar-Ge fonu dağılımı [44]....320
Şekil 5. 3 NNUN Organizasyon şeması [47]....329
Şekil 6. 1. İleri CMOS elemanı [88]....398
Şekil 6. 2. Gaussian yuvarlak huzme sistemi [88]....400
Şekil 6. 3. 50 nm kapılı GaAs MESFET' in SEM görüntüsü [88] ....401
Şekil 6. 4. X-ışını zarı üzerindeki plakalı altın emicinin 75nm SEM görüntüsü [88] ....402
Şekil 6. 5. X-ışınlı yakın litografi ile basılan 100nm hattın SEM görüntüsü [88] ....402
Şekil 6. 6. Langmuir-Blodgett tekniğinin şematik gösterimi [88]....404
Şekil 6. 7. (a) İki kontak yerini birbirine bağlayan 0.1μm genişliğinde hattın SEM mikrografiği, (b) 15nm genişliğindeki Au hattın SEM mikrografiği [88] ...405
Şekil 6. 8. Dört terminalli hat yapısının SEM mikrografiği [88] ....406
Şekil 6. 9. (a) 0.4 μm genişliğindeki hattın SEM mikrografiği, (b) AFM ile ölçülen 0.4μm hattın topoğrafisi [88] ....406
Şekil 6. 10. Mikro gölge maskelerin fabrikasyonu (a) maske malzemesinin oluşturulması (b)maske tabakasının modellenmesi (c) oksidin aşındırılması (d)MBE oluşum [89] ....407
Şekil 6. 11. MBE oluşumdan sonra SEM mikrografiği [89]....408
Şekil 6. 12. 310nm maske ile farklı durumlarda oluşturulan mesa duvarlarının SEM mikrografiği [89] ....409
Şekil 6. 13. 500□C' de oluşturulan 350 nm maskeli nano ucun SEM' i [89]....410
Şekil 6. 14. 4.5 K' de SiGe SQW PL spektrumu [89]....411
Şekil 6. 15. Fabrikasyon cihaz ve boyut spektrumu [88]....413
Şekil 6. 16. ~10nm, ~15nm, ~25nm, ~35nm yatay genişlikli kuantum yolların SEM'i [89].418
Şekil 6. 17. Yatay genişliği 25nm olan GaAs kuantum noktanın SEM fotoğrafı [89]....419
Şekil 6. 18. Birleşik boyutlu Schottky diyodu (a) şematik yapısı (b) kapasite-voltaj karakteristiği [90] ....420
Şekil 6. 19. Kanal genişliği-elektron sayısı değişimi [90]....420
Şekil 6. 20. (a)RTT' in şematik yapısı (b)RTT akım-voltaj karakteristiği [90]....421
Şekil 6. 21. (a) 2D MESFET şeması (b) koaksiyel MESFET [90]....421
Şekil 6. 22. Bir CSM örneği [91]....424
Şekil 6. 23. Perimetre iletken bağlantı yerleri [91]....425
Şekil 6. 24. Yüksek yoğunluklu Si arabağlantı gövde [91]....426
Şekil 6. 25. IC flip-kırmık kesitinin gövdeye bağlanma şekli [91]....427
Şekil 6. 26. Si mikroelektronikte malzemeler [90]....430
Şekil 6. 27. Güç-gecikme çarpımı (PDP) gelişimi [90]....431
Şekil 6. 28. Si mikroelektronik sistemlerdeki entegrasyonun geleceği [90]....433
Şekil 6. 29. Kırmık işlem gücünün gelişimi [93]....434
Şekil 6. 30. Bilgi işlemede küçültme işlemi [93]....435
Şekil 6. 31. Kimya ve katı hal bilim teknolojisinin gelişimi [93]....436
Şekil 6. 32. Si işlemede ekonominin önemi (a) üretim zincirinde sermaye artışının önemi (b)devre entegrasyonu seviyesinin evrimini belirleyen fiziksel ve ekonomik sınırların etkileşimi [94] ....438

# GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 3. 1 Üretim (1998) [21].....196
Grafik 3. 2. Dışalım (1998) [21].....196
Grafik 3. 3. Dışsatım (1998) [21].....197
Grafik 3. 4. Renkli TV üretimi (1990-1998) [21].....198
Grafik 3. 5. Audio üretimi (1990-1998) [21].....199
Grafik 3. 6. 1995 Japonya Elektronik Endüstrisi [22].....207
Grafik 3. 7. 1990-1998 Japonya Elektronik Üretimi(Yen (Japonya)) [22].....208
Grafik 3. 8. 1990-1998 Japonya Elektronik Yarıiletken Üretimi (Yen (Japonya)) [22] .....209
Grafik 3. 9. 1990-1998 Japonya Elektronik İhracatı (Yen (Japonya)) [22] .....210
Grafik 3. 10. 1990-1998 Japonya Elektronik İthalatı (Yen (Japonya)) [22].....212
Grafik 3. 11. 1990-1998 Japonya Bilgisayar ve İlgili Cihaz Üretimi (Yen (Japonya)) [22]..212
Grafik 3. 12. 1990-1998 Japonya Bilgisayar Üretimi (Yen (Japonya)) [22].....213
Grafik 3. 13. 1994-1998 Japonya Yazılım İhracat/İthalat İstatistikleri (Yen(Japonya))[22]..215
Grafik 3. 14. İşlem teknolojisi yaşam süreleri (1995) [23].....218
Grafik 3. 15. Elektronik eleman endüstrisi (1995) [23].....218
Grafik 3. 16. 2001'e doğru dünya elektronik gelir durumu [23].....223
Grafik 3. 17. MCM pazar tahmini [23].....228
Grafik 3. 18. Kanada hücresel pazarı [23].....229
Grafik 3. 19. ABD hücresel pazarı [23].....230
Grafik 3. 20. Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi toplam pazarı [23] .....232
Grafik 3. 21. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi toplam pazarı [23].....232
Grafik 3. 22. Kanada elektronik parça ve eleman endüstrisinde malzeme
toplam maliyeti ($:Kanada) [23] .....233
Grafik 3. 23. ABD elektronik parça ve eleman endüstrisinde malzeme
toplam maliyeti ($: Kanada) [23].....234
Grafik 3. 24. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi
Toplam Sermayesi ($: Kanada) [23] .....234
Grafik 3. 25. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Yıllık
Yatırımı ($: Kanada) [23] .....235
Grafik 3. 26. ABD Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Yıllık
Yatırımı($: Kanada) [23].....235
Grafik 3. 27. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisinde
Sermaye Çalışan Oranı [23] .....236
Grafik 3. 28. ABD Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisinde
Sermaye Çalışan Oranı [23] .....236
Grafik 3. 29. ABD Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi Toplam Ar&Ge
Harcamaları($:Kanada) [23] .....237
Grafik 3. 30. Kanada Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi Ar&Ge yoğunluğu [23] .....237
Grafik 3. 31. ABD Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi Ar&Ge yoğunluğu [23].....238
Grafik 3. 32 Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi
Ticaret Dengesi($:Kanada) [23] .....238
Grafik 3. 33. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Ticaret Dengesi($:Kanada)[23].239
Grafik 3. 34. Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi İhracat
Yoğunluğu($:Kanada) [23] .....239
Grafik 3. 35. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi
İhracat Yoğunluğu($:Kanada) [23] .....240
Grafik 3. 36. Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi görünen
ev pazarı($:Kanada) [23].....240
Grafik 3. 37. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi görünen
ev pazarı($:Kanada) [23] .....241

Grafik 3. 38. 1996 yılı Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ev ürünleri ihracatında ilk 10 ülke [23]....241
Grafik 3. 39. 1996 yılı ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ev ürünleri ihracatında ilk 10 ülke [23]....242
Grafik 3. 40. 1996 yılı Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ilk 10 ithalat ülkesi [23]....242
Grafik 3. 41. 1996 yılı ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ilk 10 ithalat ülkesi [23]....243
Grafik 3. 42. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Uluslar arası bölgelere ihracatı [23]....244
Grafik 3. 43. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Uluslar arası bölgelere ihracatı [23]....244
Grafik 3. 44. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Avrupa Birliği İhracatı [23]....245
Grafik 3. 45. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Avrupa Birliği İhracatı [23]....245
Grafik 3. 46. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Asya Pasifik İhracatı [23]....246
Grafik 3. 47. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Asya Pasifik İhracatı [23]....246
Grafik 3. 48. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın diğer dünya ülkelerine ihracatı [23]....247
Grafik 3. 49. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin diğer dünya ülkelerine ihracatı [23]....247
Grafik 3. 50. 1996 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Dünyanın En Büyük İhracatçı Ülkeleri [23]....248
Grafik 3. 51. 1996 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Dünyanın En Büyük İthalatçı Ülkeleri [23]....248
Grafik 3. 52. Avustralya IT&T Endüstrisinin durumu ($:Avustralya) [25]....252
Grafik 3. 53. Avustralya IT&T Endüstrisi ithalatı ($:Avustralya) [25]....253
Grafik 3. 54. Avustralya IT&T Endüstrisi ihracatı ($:Avustralya) [25]....253
Grafik 3. 55. Avustralya IT&T Endüstrisi yatırımı($:Avustralya) [25]....254
Grafik 3. 56. Avustralya IT&T Endüstrisi çalışan durumu [25]....254
Grafik 3. 57. 1997 Yabancı ticaret dağılımı(CZK:Çek Cumhuriyeti) [28]....261
Grafik 3. 58. 1995-1997 İç ve dış talep gelişimi(CZK:Çek Cumhuriyeti) [28]....262
Grafik 4. 1. Kanada firmalarının coğrafi yerleşimi [23]....274
Grafik 4. 2. Kanada tüketici pazarı [23]....274
Grafik 4. 3. Kanada elektronik eleman üretimi (1981-1994) [23]....275
Grafik 4. 4. Elektronik eleman endüstrisi istihdam gücü [23]....276
Grafik 4. 5. Elektronik eleman Ar&Ge giderleri [23]....276
Grafik 4. 6. Elektronik eleman maliyeti [23]....277
Grafik 4. 7. Kanada elektronik eleman üretim saat ücretleri [23]....277
Grafik 4. 8. Kanada elektronik eleman çalışan üretkenlik oranı [23]....278
Grafik 5. 1 Semiconductor Subway haritası [46]....323
Grafik 5. 2 Yarıiletken fabrikasyon alt yolu haritası [46]....325
Grafik 5. 3 Üretici/Satıcı Alt yolu haritası [46]....328
Grafik 5. 4 Temiz oda özellikleri [59]....358
Grafik 6. 1. Güç harcaması-minimum alan ilişkisi [90]....416
Grafik 6. 2. Geleneksel ve bölgesel ara bağlantılı mimarilerde G/Ç sayısı-minimum alan ilişkisi[90]....417
Grafik 6. 3. Paket ayak sayısı-transistor sayısının karşılaştırılması [91]....423

# TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1. 300 K' de Si' un özellikleri [3].....6
Tablo 1. 2. 150 mm (6inch) pulun SEMI özellikleri [3].....7
Tablo 1. 3. MOS ara bağlantı malzeme direnci [6].....39
Tablo 1. 4. Paketleme çeşitleri [3].....50

Tablo 2. 1 Malzeme özellikleri ile VLSI gerekliliklerinin karşılaştırılması [12].....124
Tablo 2. 2 Cilalı tek kristal Si pul özellikleri [12].....124
Tablo 2. 3. CVD reaktörlerinin özellik ve uygulamaları [12].....151
Tablo 2. 4. TAB ara bağlantı teknolojisinin genel özellikleri [15].....161
Tablo 2. 5. Yüksek performanslı IC paketleme gereksinimleri [15].....164
Tablo 2. 6. SIA 1993 tahmini [16].....167
Tablo 2. 7. Verimsiz zar maliyetini etkileyen faktörler [19].....174
Tablo 2. 8. Fabrikasyon verimini geliştirmenin verime etkisi [19] .....175
Tablo 2. 9. Tabaka direnci okuma(Ω/□) [19].....184

Tablo 3. 1 Elektronik sanayiinin üretim, dışsatım ve dışalımının yıllara göre dağılımı [21].195
Tablo 3. 2. Elektronik sanayinin alt sektörlere göre üretimi (Bin$(ABD)) [21.....195
Tablo 3. 3. Toplam dışalım/dışsatım ve elektronik sanayiinin payı (milyon $(ABD)) [21]...195
Tablo 3. 4. Yıllara göre elektronik sanayii üretim, dışalım ve dışsatımlarının
alt sektörlere göre dağılımı [21] .....196
Tablo 3. 5. Bileşenler alt sektörünün dışalım ve dışsatımları [21].....197
Tablo 3. 6. Tüketim Cihazları Alt Sektörünün üretim, dışalım ve dışsatımları [21].....199
Tablo 3. 7. Telekomünikasyon Cihazları Alt sektörünün üretim, dışalım
ve dışsatımları [21] .....201
Tablo 3. 8. Türkiye'nin savunma elektroniğinin gelişmiş ülkelerle karşılaştırılması [21].....202
Tablo 3. 9. Diğer Profesyonel Ve Endüstriyel Cihazları Üretim, Dışalım ve
Dışsatımının Yıllara Göre Değişimi [21].....205
Tablo 3. 10. Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazları Alt Sektörünün
Dışalım ve Dışsatımları [21].....205
Tablo 3. 11. Bilgisayar pazarı satış gelirleri (Bin $(ABD)) [21].....206
Tablo 3. 12. Türkiye PC pazarı [21].....206
Tablo 3. 13. Bilgisayar Cihazları Alt Sektörünün Dışalım ve Dışsatımının
Yıllara Göre Dağılımı [21].....206
Tablo 3. 14. Kasım 1999 Japonya Elektronik Endüstrisi Üretimi [22].....208
Tablo 3. 15. Kasım 1999 da Japonya Elektronik İhracatı (Yen (Japonya)) [22].....209
Tablo 3. 16. Kasım 1999 Japonya Elektronik İthalatı (Yen (Japonya)) [22].....210
Tablo 3. 17. Aralık 1999 Japonya Ana Tüketici Elektronik Cihazları Satışları [22].....211
Tablo 3. 18. 1999 1. Yarısında Japonya Tüm PC pazarı [22].....213
Tablo 3. 19. 1999 1. Yarısında Japonya Ev PC pazarı [22] .....213
Tablo 3. 20. 1999 1. Yarısında Japonya PC ihracatı [22].....213
Tablo 3. 21. 1996 PC Kart Satışları [22].....214
Tablo 3. 22. 1996 Kart Satışları [22] .....214
Tablo 3. 23. ABD ilk 10 ihracat pazarı [23] .....216
Tablo 3. 24. ABD ilk 10 ithalat pazarı [23] .....217
Tablo 3. 25. ABD telekomünikasyon cihaz ihracatı [23].....217
Tablo 3. 26. Endüstri yapısı [23].....219
Tablo 3. 27. Endüstri yapısı yüzde değişimi [23].....219
Tablo 3. 28. Dünya elektronik ürün OEM pazarı (1994-1996) [23].....220
Tablo 3. 29. Üretim kaynaklarına göre elektronik ürün dünya
OEM pazarı (1994-1996) [23] .....220

Tablo 3. 30. Dünya EMS endüstrisi (1996) [23]....221
Tablo 3. 31. Coğrafi Bölgelere göre dünya EMS pazarı (1996) [23]....221
Tablo 3. 32. Gelir ve pazar payına göre ilk 10 EMS şirketi (1996) [23]....222
Tablo 3. 33. Dünyada EMS pazarı [23]....222
Tablo 3. 34. 1996-2001 Dünya elektronik ürün OEM pazarı [23]....223
Tablo 3. 35. 1996-2001 Üretim kaynaklarına göre dünya EMS pazarı [23]....224
Tablo 3. 36. 1996-2001 Üretim kaynaklarına göre PCB ve Box Build dünya pazarı [23]....224
Tablo 3. 37. 1996-2001 Coğrafi bölgelere göre dünya sözleşmeli üretim pazarı [23]....225
Tablo 3. 38. 1996-2001 Uygulama alanlarına göre dünya sözleşmeli üretim pazarı [23]....225
Tablo 3. 39. PCB üretimi (1998) (GEL: Glass Epoxy Layers) [23]....226
Tablo 3. 40. Kanada RPCB üretici firma özellikleri (1996) [23]....226
Tablo 3. 41. ABD RPCB üretici firma özellikleri (1996) [23]....227
Tablo 3. 42. Toplam MCM uygulama adeti tahmini (1996-2001) [23]....227
Tablo 3. 43. Multi-kırmık paketlemenin avantajları [23]....227
Tablo 3. 44. Toplam MCM ara bağlantı adet tahmini (1996-2001) [23]....228
Tablo 3. 45. Telekomünikasyon pazarı (donanım ve yazılım) [23]....228
Tablo 3. 46. Kablosuz haberleşme Ar&Ge harcamaları açısından ilk 100 firma içindeki Kanada firmaları [23]....230
Tablo 3. 47. 1994-2000 sektör büyümesi [23]....231
Tablo 3. 48. Kanada ve ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ihracat pazarının karşılaştırılması [23]....243
Tablo 3. 49. Tüketici Elektronik Üretimi [24]....249
Tablo 3. 50. Tüketici Elektronik ihracat ve ithalatı [24]....249
Tablo 3. 51. Elektronik eleman endüstrisi üretimi [24]....250
Tablo 3. 52. Elektronik eleman endüstrisi ihracat ve ithalatı [24]....250
Tablo 3. 53. Haberleşme endüstrisi üretimi [24]....250
Tablo 3. 54. Haberleşme endüstrisi ihracat ve ithalatı [24]....250
Tablo 3. 55. Ölçme ve Test Uygulamaları endüstrisinde üretim [24]....251
Tablo 3. 56. Ölçme ve Test Uygulamaları endüstrisinde ihracat ve ithalat [24]....251
Tablo 3. 57. Avustralya Bilgi endüstrisi [25]....254
Tablo 3. 58. Elektronik sektör üretimi [26]....256
Tablo 3. 59. Elektronik sektörü ihracatı [26]....257
Tablo 3. 60. Macaristan Bilgi Teknolojisi yatırımı [27]....258
Tablo 3. 61. Macaristan Bilgi Teknolojisi giderleri [27]....259
Tablo 3. 62. 1996 girişimci grup büyüklüğüne göre ana üretim göstergeleri [28]....260
Tablo 3. 63. 1994-1997' de ana üretim gelişiminin göstergeleri [28]....260
Tablo 3. 64. 1994-1997' de çalışan üretkenliğinin gelişimi [28]....260
Tablo 3. 65. 1994-1997 Ev ürünleri tüketimi [28]....261
Tablo 3. 66. 1995-1998' de ithalat ve ihracat gelişimi [28]....261
Tablo 3. 67. 1994-1997' de Avrupa Birliği ülkelerine yapılan ihracat gelişimi [28]....262

Tablo 4. 1 DRAM kırmıklarında bellek kapasitesi ve minimum boyutun yıllara göre değişimi [29]....266
Tablo 4. 2 Dünya yarıiletken pazarı [30]....267
Tablo 4. 3 Tümdevre Pul Fabrikasyon Kapasitesi [31]....268
Tablo 4. 4 Tümdevre Pul Fabrikasyon Kullanımı [31]....268
Tablo 4. 5. 1994 endüstri ticaret istatistikleri [23]....273
Tablo 4. 6. 1998 PCB üretimi [23]....273
Tablo 4. 7 Japonya Yarıiletken Pazarı (Japonya Yeni) [34]....280
Tablo 4. 8 Japonya Yarıiletken Pazarı (Dolar :ABD) [34]....281
Tablo 4. 9 Japonya yarıiletken üretici firma üretim değerleri [34]....284
Tablo 4. 10 Japon yarıiletken cihaz pazarı (Japon Yeni) [34]....285

Tablo 4. 11 Japonya yarıiletken cihaz pazarı (Dolar :ABD) [34].....285
Tablo 4. 12 Japonya yarıiletken cihaz pazarı [34].....286
Tablo 4. 13 Japonya yarıiletken cihaz ve LCD pazarı [34].....287
Tablo 4. 14 Japonya yarıiletken eleman üretici yatırımları [34].....287

Tablo 5. 1 MOSIS fabrikasyon işlemleri [51].....339
Tablo 5. 2 AMI 1.50 mikron CMOS işlemi (düşük gürültülü analog) [51].....339
Tablo 5. 3 0.50 mikron işlem (AMI ve HP) [51].....340
Tablo 5. 4 Peregrine (SOS) 0.50 mikron CMOS işlemi [51].....340
Tablo 5. 5 TSMC 0.35 mikron işlem [51].....340
Tablo 5. 6 TSMC 0.25 mikron işlem [51].....340
Tablo 5. 7 MOSIS destekli seramik paketleme [51].....341
Tablo 5. 8 ASAT plastik paketleme [51].....341
Tablo 5. 9 Müşteri destekli paketleme [51].....341
Tablo 5. 10 DRC (Design Rule Check: DRC) servisi [51].....342
Tablo 5. 11 Elektronik Test Enstrümanları [53].....347
Tablo 5. 12 CAD olanakları[53].....348
Tablo 5. 13 SMC cihaz listesi [70].....376
Tablo 5. 14 Philips ürünlerinin dünya pazarındaki sıralaması [86].....395

Tablo 6. 1. DRAM litografi teknolojisi [88].....397
Tablo 6. 2. Gelecek yüzyılda teknoloji gelişimi: nanolitografi ve doğal eleman yapıları (örneğin; kuantum elemanları) [88].....398
Tablo 6. 3. Isı Alan Emisyon Sisteminin performans parametreleri [88].....401
Tablo 6. 4. İlk nanolitografi gereksinimleri [88].....413
Tablo 6. 5. 'Birinci derece' cihaz özellikleri [88].....414
Tablo 6. 6. Düşük maliyetli cihaz özellikleri [88].....414
Tablo 6. 7. Toplam ara bağlantı uzunluğu-minimum alan ilişkisi [90].....415
Tablo 6. 8. Geleneksel ve bölgesel ara bağlantılı mimarilerde toplam güç harcaması-minimum alan ilişkisi [90].....417
Tablo 6. 9. SIA National Technology Roadmap Tahminleri [92].....429
Tablo 6. 10. Yeni nanometre çağı [93].....436

İÇİNDEKİLER SAYFA NO

ÖNSÖZ....I
ÖZET....II
ABSTRACT....III
SEMBOL ve BİRİMLER....IV
KULLANILAN KISALTMALAR....V
ŞEKİLLER LİSTESİ....XI
GRAFİKLER LİSTESİ....XVI
TABLOLAR LİSTESİ....XVIII
İÇİNDEKİLER....XXI

BÖLÜM 1 TÜMDEVRE ÜRETİM TEKNİKLERİ....1

1.1 Yarıiletken Malzemelerin Hazırlanması....1
1.1.1 Germanyumun Saflaştırılması....1
1.1.2 Silisyum saflaştırılması....2
1.2 Kristal Oluşum Ve Pul Hazırlama....2
1.2.1 Germanyum Kristal Oluşumu....2
1.2.2 Silisyum Kristali Oluşturma....3
1.2.3 Pul Hazırlama....5
1.3 Tümdevrelere Giriş....8
1.3.1 P-N Jonksiyon Oluşum Metotları....8
1.3.1.1 Oluşum Jonksiyonu....8
1.3.1.2 Alaşım Metodu....9
1.3.1.3 Difüzyon Metodu....10
1.3.1.3.1 Difüzyon Teknikleri....11
1.3.1.4 İyon İmplantasyonu....14
1.3.1.5 Epitaksiyel Yöntemi....15
1.3.1.5.1 Gaz Faz Epitaksi....15
1.3.1.5.2 Sıvı Faz Epitaksi....16
1.3.1.5.3 Molekül Faz Epitaksi....17
1.3.1.6 Dielektrik Tabakaların Oluşturulması....18
1.3.1.6.1 SiO2 Dielektrik....18
1.3.1.6.1.1 Si' un Termal Oksidasyonu....18
1.3.1.6.1.2 Kimyasal Buhardan Oluşturma....19
1.3.1.6.1.3 Plazma CVD....20
1.3.1.6.2 Silisyum Nitrat....21
1.3.1.6.3 Polisilisyum Tabakası....21
1.3.2 Monolitik Tümdevre Teknolojisi....21
1.3.2.1 Planar Teknoloji....21
1.3.2.1.1 Kristal Gövdenin Oluşturulması....22
1.3.2.1.2 Malzeme eklenmesi....22
1.3.2.1.2.1 Epitaksiyel Oluşum....23
1.3.2.1.2.2 Oksidasyon....24
1.3.2.1.2.3 Difüzyon....25
1.3.2.1.2.4 İyon İmplantasyonu....26
1.3.2.1.3 Malzeme Çıkarılması....27
1.3.2.1.3.1 Direnç İşlemi....27
1.3.2.1.3.2 Aşındırma....29

1.3.2.1.3.3 Maskeleme....32
1.3.2.1.4 Litografi....35
1.3.2.1.4.1 Fotolitografi....35
1.3.2.1.4.2 Elektron Huzme Litografi....36
1.3.2.1.4.3 X-ışınlı Litografi....37
1.3.2.1.5 Ara bağlantılar....38
1.3.2.1.6 İzolasyon....39
1.3.2.1.6.1 p-n Jonksiyon İzolasyonu....39
1.3.2.1.6.2 Dielektrik İzolasyon....40
1.3.2.1.6.3 V-oluk İzolasyonu....41
1.3.2.1.6.4 İzoplanar İzolasyon....42
1.3.2.1.6.5 SiO2 İzolasyon....42
1.3.2.1.7 Metalizasyon....43
1.3.2.1.8 Paketleme ve Montaj....45
1.3.2.1.8.1 Paketleme ve Montaj Teknolojisi....45
1.3.2.1.8.2 Paketleme Çeşitleri....47
1.3.2.1.8.3 Paketleme Seçimi....50
1.3.2.1.9 Yerleşim....50
1.3.3 Film Devre....53
1.3.4 Multi-Kırmık Modülleri....54
1.4 Tümdevre Elemanlarının Elde Edilmesi....55
1.4.1 Direnç....55
1.4.1.1 Çubuk direnç....55
1.4.1.2 Difüzyonlu direnç....55
1.4.1.3 Kısma Direnç....57
1.4.1.4 İyon İmplantasyonlu Direnç....57
1.4.1.5 İnce Film Direnç....57
1.4.1.6 MOS Direnç....58
1.4.2 Kondansatör....58
1.4.2.1 Jonksiyon kondansatör....58
1.4.2.2 MOS ve İnce Film Kondansatörler....60
1.4.3 Bobin....62
1.4.4 Diyod....62
1.4.4.1 Schottky Diyod....63
1.4.5 Bipolar Transistör Fabrikasyonu....64
1.4.5.1 Katkı Profili....68
1.4.5.2 Gömülü Tabaka....69
1.4.5.3 Monolitik transistor yerleşimi....70
1.4.5.4 Transistor Tipi Seçimi....71
1.4.5.5 NPN tipi transistor üretimi....72
1.4.5.5.1 Planar NPN BJT Fabrikasyonu....73
1.4.5.6 PNP transistor üretimi....75
1.4.5.6.1 Yatay PNP Transistor....76
1.4.5.6.2 Dikey PNP transistor....77
1.4.5.7 PNP ve NPN Transistor....78
1.4.5.8 Özel Amaçlı Bipolar Transistorlar....79
1.4.5.8.1 Multiemiter transistor....80
1.4.5.8.2 Schottky transistor....81
1.4.5.8.3 Süperbeta transistor....81
1.4.6 JFET Fabrikasyonu....82
1.4.7 MOS Transistor....83
1.4.7.1 Enhansment Mod NMOS Transistor....83

1.4.7.1.1 Öz izolasyon....85
1.4.7.2 Deplesyon Mod NMOS Transistor....85
1.4.7.2.1 Kapı Uzunluğu ve Genişliği....85
1.4.7.2.2 5V n-kanallı Si kapılı Deplesyon MOS Üretim Adımları....85
1.4.8 CMOS Teknolojisi....100
1.4.9 Bipolar-CMOS (BICMOS) Tümdevreler....102
1.4.10 SOS Teknolojisi....104
1.4.11 GaAs Teknolojisi....106
1.4.11.1 Deplesyon Mod Transistor....107
1.4.11.2 Enhansment Mod Transistor....108
1.4.11.3 Enhansment/Deplesyon Mod Çifti....109
1.4.11.4 Yüksek Elektron Mobiliteli Transistor....109
1.4.11.5 Heterojonksiyon Bipolar Transistor....110
1.4.12 Tüm Tümdevre Oluşumu....111
1.4.13 Tümdevre Elemanların Özellikleri....114

BÖLÜM 2 TÜMDEVRE ÜRETİM TEKNOLOJİSİ....115

2.1 Tümdevre Teknolojisi....115
2.1.1 Pul Hazırlanması....115
2.1.1.1 Kristal Yapı Terminolojisi....115
2.1.1.2 Tek Kristal Si Üretilmesi....118
2.1.1.3 Kristal Oluşum Cihazı....119
2.1.1.4 Czochralski Si Oluşum Cihazı....121
2.1.1.5 Si Kristal Oluşumu....124
2.1.2 Epitaksiyel Cihazı....125
2.1.2.1 Molekül Hüzme Epitaksi....127
2.1.2.2 Si-MBE Oluşum....127
2.1.2.3 MBE Cihazı....127
2.1.3 Oksidasyon....128
2.1.3.1 Oksidasyon Teknolojisi....128
2.1.3.2 Oksidasyon Sistemleri....129
2.1.4 Difüzyon....131
2.1.5 İyon İmplantasyonu....132
2.1.5.1 İmplantasyon Teknolojisi....132
2.1.5.2 İyon İmplantasyon Cihaz Çeşitleri....134
2.1.5.3 İyon İmplantasyon Cihazları....134
2.1.6 Kuru Aşındırma Cihazları....136
2.1.6.1 Kovan Aşındırıcı....136
2.1.6.2 Aşağı buhar Aşındırıcı....137
2.1.6.3 Paralel Elektrot Reaktör....137
2.1.6.4 Yığınlı Paralel Elektrot Aşındırıcı....138
2.1.6.5 Silindirik Yığın Aşındırma Reaktörü (Altılı Aşındırıcı)....139
2.1.6.6 Magnetron İyon Aşındırma....139
2.1.7 Litografi Teknolojisi....140
2.1.7.1 Elektron Huzme Litografi Sistemi....140
2.1.7.2 X-Işınlı Litografi....142
2.1.7.3 İyon Huzme Litografi....143
2.1.8 İzolasyon....144
2.1.8.1 Film Oluşturma....144
2.1.8.2 Buharlaştırma....144
2.1.8.3 Kimyasal Buhardan Oluşturma (CVD)....145

2.1.8.3.1 CVD Sistemleri....146
2.1.8.3.2 Kütle-Akış kontrolörleri....146
2.1.8.3.3 CVD reaktörler....148
2.1.8.4 Saçılma Oluşturma Cihazı....151
2.1.9 Tümdevrelerin Paketlenmesi Ve Kapsüllenmesi....153
2.1.9.1 Pul Dilimleme ve Zar İşlemi....155
2.1.9.2 Zar Bağlama....155
2.1.9.3 Birinci Seviye Ara bağlantı....156
2.1.9.3.1 İletken Bağlama....156
2.1.9.3.2 Şerit Otomatik Bağlama (TAB)....157
2.1.9.3.3 Flip-Kırmık Teknolojisi....161
2.1.9.4 Kapak Kılıflama....162
2.1.9.5 İkinci Seviye Ara Bağlantı....162
2.1.9.6 Ara bağlantı....163
2.1.9.7 Yüksek Performanslı Paketleme....165
2.1.9.7.1 Yüksek Bağlantılı Paketleme Mimarisi....166
2.2 Bilgisayar Entegreli Üretim....168
2.2.1 Bilgisayar Destekli Tasarım....169
2.3 Üretim Teknolojisi....171
2.3.1 Fabrika Ekonomisi....171
2.3.1.1 Pul Fabrikasyon Maliyeti....172
2.3.1.2 Üretim Stratejileri....176
2.3.1.2.1 Kirlilik Kontrol Sistemi....176
2.3.1.2.2 Cihaz....176
2.3.1.2.2.1 Cihaz Seçim Faktörleri....176
2.3.1.2.2.2 Satın alma maliyeti....178
2.3.2 Otomasyon....178
2.3.2.1 İşlem Otomasyonu....178
2.3.2.2 Pul Yükleme Otomasyonu....179
2.3.2.3 Kümeleme....179
2.3.2.4 Pul Dağıtma Otomasyonu....180
2.3.2.5 Kapalı Kontrol Sistem Otomasyonu....181
2.3.2.6 Fabrika Otomasyonu....181
2.3.2.7 Fabrikasyon Yerleşimi....183
2.3.2.8 Yığın-Tek Pul İşlemi Karşılaştırması....183
2.3.3 İstatistiksel İşlem Kontrolü....184
2.3.4 Ürün Stoku Kontrolü....187
2.3.4.1 Zamanında Ürün Stok Kontrolü....188
2.3.5 Cihaz ve Malzeme Standartları....188
2.3.5.1 Kalite kontrolü ve ISO 9000 Sertifikası....189
2.3.6 Sıra Organizasyonu....189

BÖLÜM 3 ELEKTRONİK ENDÜSTRİSİ....190

3.1 Türkiye Elektronik Endüstrisi....190
3.1.1 1970lerde Elektronik Endüstrisi....190
3.1.2 1998' de Türk Elektronik Sanayii....193
3.1.2.1 Bileşenler Alt Sektörü....197
3.1.2.2 Tüketim Cihazları Alt Sektörü....198
3.1.2.3 Telekomünikasyon Cihazları Alt Sektörü....200
3.1.2.4 Askeri Elektronik Cihazlar Alt Sektörü....201
3.1.2.5 Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar Alt Sektörü....204

3.1.2.6 Bilgisayar Cihazları Alt Sektörü....205
3.2 Dünya Elektronik Endüstrisi....207
3.2.1 Japonya Elektronik Endüstrisi....207
3.2.1.1 Japonya Bilgisayar Endüstrisi....212
3.2.2 Kanada ve ABD Elektronik Endüstrisi....216
3.2.2.1 Bilgi ve Haberleşme Teknolojisi....216
3.2.2.2 Bilgisayar ve Telekomünikasyon Cihaz Endüstrisi....217
3.2.2.3 Elektronik Eleman Endüstrisi....218
3.2.2.4 Elektronik Üretim....219
3.2.2.5 Telekomünikasyon Endüstrisi....229
3.2.2.6 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi....232
3.2.3 Avusturya Elektronik Endüstrisi....249
3.2.3.1 Tüketici Elektronik Endüstrisi....249
3.2.3.2 Eleman Endüstrisi....249
3.2.3.3 Haberleşme Endüstrisi....250
3.2.3.4 Ölçme ve Test Uygulamaları Endüstrisi....250
3.2.4 Avustralya Elektronik Endüstrisi....252
3.2.4.1 Avustralya Bilgi Teknolojisi ve Haberleşme Endüstrisi....252
3.2.5 Hindistan Elektronik Endüstrisi....256
3.2.5.1 Elektronik Endüstrisi....256
3.2.5.2 Bilgisayar Endüstrisi....257
3.2.6 Macaristan Elektronik Endüstrisi....258
3.2.7 Çek Cumhuriyeti Elektronik Endüstrisi....260

BÖLÜM 4 MİKROELEKTRONİK ENDÜSTRİSİ....263

4.1 ABD Mikroelektronik Sanayi....267
4.2 Kanada Mikroelektronik Endüstrisi....273
4.3 Japonya Mikroelektronik Endüstrisi....280
4.3.1 Yarıiletken endüstrisi....280
4.3.2 Yarıiletken Üretimi....283
4.3.3 Yarıiletken Cihaz....285
4.4 Endonezya Mikroelektronik Sanayi....289

BÖLÜM 5 ÜNİVERSİTE VE AR-GE MERKEZLERİNİN TÜMDEVRE FABRİKASYONU KONUSUNDAKİ ÇALIŞMALARI....291

5.1 Türkiye'deki Çalışmalar....291
5.1.1 ANAEM....294
5.1.2 TÜBİTAK MAM UEKAE....296
5.1.3 İTÜ-ETA....301
5.1.4 BÜ-BETA....303
5.1.5 NETAŞ....305
5.1.6 ALCATEL-TELETAŞ....308
5.1.7 TÜBİTAK BİLTEN....308
5.1.8 ASELSAN....311
5.1.9 Üniversite-Sanayi İlişkileri....313
5.1.10 Teknik Üniversitelerimiz ve Endüstri-Üniversite İlişkileri....317
5.2 Dünyadaki Çalışmalar....322
5.2.1 Amerika Birleşik Devletleri....322
5.2.1.1 Cornell Üniversitesi....330

5.2.1.2 Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara....332
5.2.1.3 Howard Üniversitesi....334
5.2.1.4 Pennsylvania State Üniversitesi....335
5.2.1.5 Southern California Üniversitesi....339
5.2.1.6 Massachusetts Üniversitesi....342
5.2.1.7 Michigan Üniversitesi....344
5.2.1.8 Auburn Üniversitesi....349
5.2.1.9 Minnesota Üniversitesi....352
5.2.1.10 İllinois Üniversitesi Urbana....354
5.2.1.11 Princeton Üniversitesi....355
5.2.1.12 San Jose Üniversitesi....357
5.2.1.13 Louisville Üniversitesi....357
5.2.1.14 Notre Dame Üniversitesi....359
5.2.1.15 Purdue Üniversitesi....360
5.2.1.16 Teksas Üniversitesi, Austin....363
5.2.1.17 Arizona State Üniversitesi....365
5.2.1.18 Boise State Üniversitesi....366
5.2.1.19 NIST Elektronik ve Elektrik Mühendisliği Laboratuarı (NIST EEEL)....366
5.2.2 Kanada....368
5.2.2.1 Toronto Üniversitesi....368
5.2.2.2 Montreal Üniversitesi....372
5.2.2.3 Carleton Üniversitesi....374
5.2.2.4 Simon Fraser Üniversitesi....375
5.2.3 İngiltere....376
5.2.3.1 Edinburg Üniversitesi....376
5.2.3.2 Kent Üniversitesi....378
5.2.3.3 Wales Üniversitesi....379
5.2.3.4 Southampton Üniversitesi....379
5.2.3.5 Manchester Üniversitesi....381
5.2.3.6 Surrey Üniversitesi....382
5.2.4 Diğer Avrupa Ülkelerinin Çalışmaları....383
5.2.4.1 EUROPRACTICE....383
5.2.4.2 Fraunhofer IIS-A....384
5.2.4.3 IMEC....385
5.2.4.4 Delta Microelectronics....386
5.2.4.5 Nordic VLSI ASA....387
5.2.4.6 Delft Teknoloji Üniversitesi....387
5.2.5 Tayvan....389
5.2.5.1 ERSO/ITRI....389
5.2.6 Çin Halk Cumhuriyeti....391
5.2.6.1 Hong Kong Üniversitesi....391
5.2.6.2 Peking Üniversitesi....393
5.2.6.3 Tsinghua Üniversitesi....393
5.2.7 Firmalar....394
5.2.7.1 Fincitec Oy....394
5.2.7.2 Philips Elektronik....395
5.2.7.3 Swindon Silicon Systems....395

BÖLÜM 6 TÜMDEVRE FABRİKASYONUNUN GELECEĞİ.....397

6.1. Tümdevre Fabrikasyon Teknolojisinin Geleceği.....397
6.1.1. Nanoteknoloji.....397
6.1.1.1 Nanolitografi.....397
6.1.1.2 Nanolitografi Sistemi.....398
6.1.1.3 20nm STM Litografik Modelleme.....403
6.1.1.4 Mikro gölge Maske ile Si Nano-Yapıların Oluşumu.....407
6.1.1.5 Cihaz üreticileri açısından nanolitografi gereksinimleri.....412
6.1.1.6 Nano ölçekli elemanların mimarisi.....415
6.1.2. Kuantum Teknolojisi.....418
6.1.2.1 Kuantum Hat Fabrikasyonu.....418
6.1.2.2 Kuantum Nokta Fabrikasyonu.....418
6.1.3. Birleşik Boyutlu Teknoloji.....419
6.1.3.1 Birleşik Boyutlu Transistor.....421
6.1.3.2 Üç Boyutlu Modelleme.....422
6.1.4 Kırmık Ölçek Modül Entegrasyonu.....422
6.2. IC Tekniğinin Geleceği.....429
6.2.1. Si Mikroelektronik.....429
6.2.2. Küçültme işlemi.....434
6.2.3 Tümdevre Üretim Zinciri.....437

SONUÇ.....439
KAYNAKLAR.....444
ÖZGEÇMİŞ.....447

# BÖLÜM 1 TÜMDEVRE ÜRETİM TEKNİKLERİ

## Giriş

Tümdevre üretim teknikleri yarıiletken malzemelerin hazırlanması ile başlar. Si ve Ge kristal oluşum işlemlerinden sonra Si ve Ge pullar oluşturulur. Kristal gövdeli pullar oluşturulduktan sonra monolitik tümdevrelerde en çok kullanılan planar teknoloji teknikleri gerçekleştirilir: malzeme eklenmesi, malzeme çıkarılması, litografi, arabağlantı, izolasyon, metalizasyon ve paketleme. Bu bölümde tümdevre üretim teknikleri ve tümdevre elemanları anlatılacaktır.

### 1.1 Yarıiletken Malzemelerin Hazırlanması

Yarıiletken malzemenin özellikleri, saf maddeye dikkatli kontrol edilerek küçük miktarlarda eklenen katkı maddelerine bağlıdır. Bu bölümde yarıiletken malzemelerin nasıl saflaştırıldığı ve katkı maddelerinin nasıl eklendiği ve katılan malzemelerin kalite ölçümleri anlatılacaktır.

Germanyum (Ge) ve Silisyum (Si) malzemeleri yarıiletken elemanlarda en fazla kullanılan malzemelerdir. Özelliklerindeki farklılıklardan dolayı bu malzemelerin kullanılabilir kalitede olmaları için farklı işlemler gereklidir. Kimyasal açığa çıkarma işleminden sonraki iki ana adım, saflaştırma ve tek kristal oluşturulmasıdır. Bütün bu işlemler sırasında elektriksel özelliklerin sağlanması için kalite ölçümleri yapılmalıdır.

#### 1.1.1 Germanyumun Saflaştırılması

Germanyum, doğada çinko ve bakır yataklarında düşük seviyeli olarak bulunur. Kimyasal işlemlerle $GeO_2$ olarak elde edilir ve hidrojende ısıtılarak element hale getirilir. Bu işlemler madencilik ve kimya sektörü ile gerçekleştirilir.

Yarıiletken üreticileri, ticari standartlara göre oldukça ham olan germanyumu pazarlarlar. Yarıiletken olarak kullanmak için germanyum çok saf duruma getirilmelidir. Arıtma işlemi, katkıların eriyikte katı germanyumdan daha çözünür olmasına dayanır.

Germanyum çubuk, uzun yatay bir tüpe yerleştirilir ve eriyinceye kadar ısıtılır. Sıcaklığın düşürüldüğü uçta eriyik katılaştırılır. Katılaştırma germanyum boyunca diğer uca doğru yavaşça devam eder.

Katkı maddeleri sıvı germanyum içinde kalma eğilimindedirler. Bundan dolayı, katılaştırılan germanyumun önüne doğru itilirler. Böylece son kısımda katılaştırılırlar. Kalan kısım orijinal maddeden daha az katkı içerir. "**Normal dondurma**" denilen bu işlem bir çok kere tekrarlanarak daha yüksek saflıkta malzeme elde edilebilir.

Bu işlem fazla zaman gerektirir. Bundan dolayı, "**bölge arıtması**" adı verilen bir metot kullanılır. Uzun germanyum külçesinin bir kısmına ısı uygulanır ve böylece dar erime bölgesi oluşturulur. Bu bölge külçe boyunca diğer uca doğru hareket ettirilir. Katkılar erimiş germanyum içinde kalır ve diğer uca taşınır. Böylece katkılar külçenin sonunda yoğunlaşır ve ana kısmın oldukça saf olarak kalması sağlanır.

1 $inch^2$ ve 12-18inch uzunluğunda bir germanyum külçesi, 5 feet uzunluğunda kuvars bir tüpteki yüksek saflıklı grafit bota yüklenir. RF ısıtma bobinleri, 6inch/saatlik hızla kuvars tüp boyunca sürülür. Her bir ısıtma bobini ¾inch genişliğindeki bölgeyi eritir ve bobin hareketi külçe boyunca devam ettirilir.

Bu işlem kullanılarak 10-15 bölge aynı işleme tabi tutulur. Böylece germanyum içindeki katkılar $1/10^{10}$ oranına indirilir.

### 1.1.2 Silisyum saflaştırılması

Şüphesiz Silisyum en önemli yarıiletken malzemedir. Muhtemelen tüm elementlerin en fazla bulunanıdır ve yeryüzünde kumda, genel olarak $SiO_2$ olarak ve çeşitli Si bileşikleri şeklinde bulunur. Bir çok büyük ölçekli Si üretme işlemi $SiO_2$ bir formu olan silis (silisli toprak) ile başlar. Silis karbon ile ısıtılarak düşük derecede katkılı Silisyum elde edilir. Elde edilen madde damıtma ile saflaştırılacak olan bir bileşiğe çevrilir. Son olarak saflaştırılmış bileşikten (halide), $H_2$ ile veya ısı ayrıştırması ile silisyum elde edilir.

Yüksek miktarlarda $SiCl_4$ (silicon tetra chloride) ve $SiHCl_3$ (silicon trichlorosilane) Si elde etmek için kimya endüstrisinde üretilirler. Bu kaynak yarıiletken endüstrisi için gerekli çok saf silisyum hazırlanması için avantajlıdır. $SiHCl_3$ 'ten P ve B bileşiklerini ayrıştırmak daha kolay olduğu için daha fazla kullanılır. $SiHCl_3$ direk damıtma ile (32°C' de kaynar) kirliliği önleyen kuvars depo kullanılarak saflaştırılır.

Arıtma işleminden sonra $H_2$ ile ısı ayrıştırma kullanılarak $SiHCl_3$ 'ten saf silisyum elde edilir.

$$2SiHCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \quad \text{.....(1.1)}$$

Yüksek saflıkta ince silisyum çubuk bir reaksiyon odasında 950 °C kadar ısıtılır. $SiHCl_3$ ayrışır ve silisyum çubuğun yüzeyine çöker ve ihtiyaca göre 1-4inch'lik bir çap oluşturur. Açığa çıkan HCl gazı atılır.

Germanyum için kullanılan bölge arıtma işlemi silisyum saflaştırmada etkili değildir. Silisyumu eritmek için gerekli olan 1420 °C yüksek sıcaklık problemlere neden olur. Erime aşamasında Si katkı maddeleriyle kolaylıkla kirlenebilir. Bu faktörlerden ötürü, tüm Si arıtma işlemi yukarıda anlatılan kimyasal olayla sağlanır ve $1/10^{10}$ oranında saflık derecesi elde edilir. Bu yolla elde edilen Si yarıiletkenlerde kullanılacak yeterli saflığa sahiptir.

## 1.2 Kristal Oluşum

Saflaştırılan yarıiletken malzeme polikristal yapısındadır. Polikristal tek kristale dönüştürüldükten sonra belirlenen yüzey düzenine sahip pullar fabrikasyona hazır hale getirilir.

### 1.2.1 Germanyum Kristal Oluşumu

Yarıiletken malzemelerde tek aranan özellik saflık değildir. Taşıyıcıların hareketi büyük ölçüde kristal yapının düzenliliğine bağlıdır. Düzensizlik mobiliteyi azaltmakla birlikte taşıyıcının yaşam sürecini de azaltır. Yüksek derecede düzenliliğe sahip kristal tek kristal oluşum olarak bilinen işlemde elde edilir.

Doğal olarak oluşan tek kristallerin çok büyük olması nadirdir. Tek bir kristal insan gözü ile görülmeyen milyonlarca küpten oluşur. Kristal olarak bilinen birçok madde tek kristal

değildir, fakat değişik şekil, büyüklük ve yerleşimde olan bir kaç milyon tek kristalin toplamıdır. Böyle kristallere çok kristal anlamına gelen "**polikristal**" denir.

Bölge arıtma ile saflaştırılan bir germanyum çubuğu polikristal bir malzemedir. Yarıiletken malzeme olarak kullanılabilmesi için tek kristal olması gerekir.

Tek Ge kristali elde etme işlemine "**kristal çekme**" denir. Katı polikristal Ge, Ar ile çevrili şeffaf kuvars odadaki grafit potaya (maden erime kabı) yerleştirilir. Ge' a genellikle RF kaynaklı ısı uygulanır. Malzeme eridiği zaman sıcaklık Ge' un erime noktasının biraz üstünde tutulur.

Ardından bir tek Ge kristali, (bir tohum kristali) erimiş Ge' un üstüne gelinceye kadar sıcaklık düşürülür. Tohum uzun bir şaftın sonunda kenetlenir ve böylece küpün temel düz tarafları erimeye doğru gider. Bazı durumlarda kenarlar veya köşeler erimeye başlar. Tohum kristaldeki temel küplerin yerleşimi X-ray metodu ile bulunabilir.

Tohum kristal erimeye başladıktan sonra şaft ile döndürülerek yukarıya doğru çekilir. Tohum kristali eriyik halinden daha düşük sıcaklıkta olduğundan sıcaklık eriyikten kristale doğru akar. Böylece tohuma yakın olan eriyiğin sıcaklığını düşürür. Tohum ile etkileşimde olan eriyik katılaşır ve atomlar tohum kristalindeki temel küpler gibi aynı düzene sahip olan küpler oluştururlar. Bu olaya "**atomların tohum üzerinde oluşması**" denir. Tohuma doğru yayılan ısı, eriyiğin üzerindeki kristal tarafından yayılır.

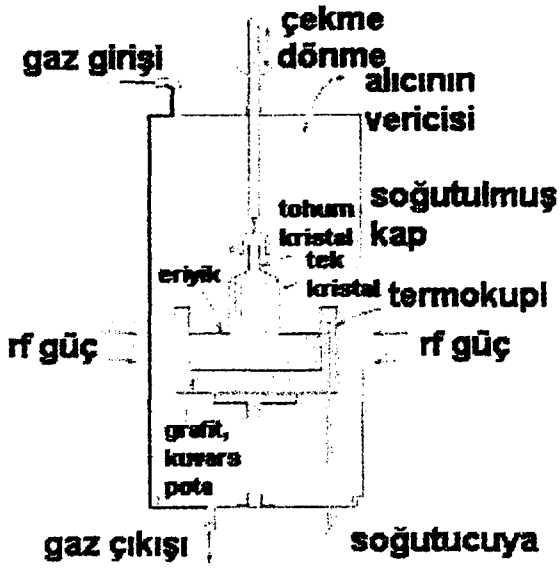
Kristalin döndürülmesi eriyiğin karıştırılmasını sağlar ve simetrik büyümeyi de beraberinde getirir. Elde edilen kristal genellikle yuvarlak olup çapı erime sıcaklığına ve dönme hızına bağlı olarak değişir. Dönme hızı 100rpm olabilir ve çekme oranları ½ - 2inch/saat olabilir.

Kristal büyümesi dönme ve yükselmeye bağlı olarak devam eder. Kristal eriyikten çekilir. Tipik olarak çekilen Ge kristali 1inch çapında ve 10inch uzunluğundadır. Eğer gerekli olursa daha büyük çaplarda kristaller elde edilebilir.

Yüksek saflıkta Ge eriyiğinden kristal büyütülerek asıl tek bir Ge kristali oluşturulur. Elde edilen Ge genellikle eleman fabrikasyonundan kullanılır. Tek bir n tipi Ge kristali elde etmek için sadece gerekli olan büyüme işlemi başlamadan önce eriyiğe verici veya alıcı katkı atomları eklemektedir. Eklenecek katkıların miktarı gerekli direnci verecek şekilde hesaplanır ve Ge ile birlikte pota içine konur. Katkılar katılardan daha çok eriyik üzerinde kalmaya meyilli olduklarından sıvı haldeki katkıların yoğunluğu katı haldeki katkıların yoğunluğu ile aynı değildir. Bu nedenle, gerçekte elde dilen kristalin gerektirdiğinden daha fazla katkı eriyiğe konmalıdır. [1]

### 1.2.2 Silisyum Kristali Oluşturma

Si yeryüzünde bol miktarda bulunan bir malzemedir. Kumda bulunan silis ($SiO_2$) malzemesi 1% oranında katkı içerir. Silisten yüksek saflıkta elde edilen polikristal Si tek kristal oluşumunun ana malzemesidir. Tümdevre ve transistorlarda kullanılan tek Si kristalini elde etmek için iki yöntem kullanılır: (1)potada oluşum işlemi(Czochralski işlemi de denir) ve (2)kayan bölge işlemi. Şekil 1.1, Czochralski(CZ) işleminin ana düzeneğini göstermektedir. Polisilisyum malzeme kuvars veya grafit potaya konur.



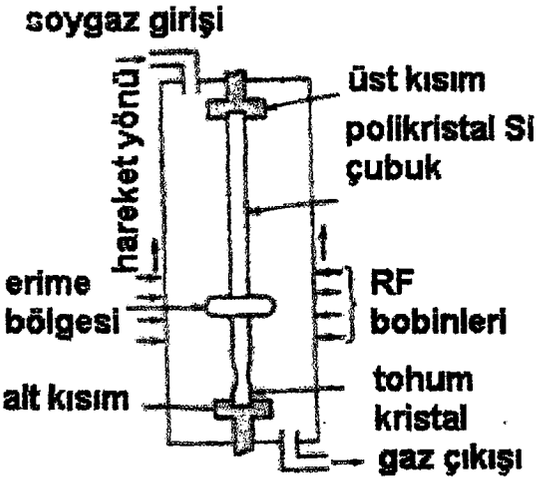

**Şekil 1. 1. Czochralski kristal çekicinin şeması [2]**

Ardından RF veya dirençli ısıtıcı ile kaynama noktasına kadar ısıtılır. Kristal oluşum tek Si kristal tohumunun eriyiğe konulması ile başlar. Tohumun alt tarafi erimeye başlar. Kolun aşağıya doğru olan hareketi yön değiştirir. Kristal aşağıdaki uçta oluşmaya başlayınca tohum döndürülüp yukarıya doğru çekilerek kristal eriyik içinden ayrıştırılır. Böylece daha büyük kristaller oluşturulabilir. Eriyiğin karıştırılması ile asimetrik kristaller önlenmiş olur. Katkılı maddeler kristal oluşumdan önce eriyiğe uygun katkılar eklenerek elde edilebilir.

Kristal içindeki oksijen, oluşum koşullarına bağlı olmak üzere $5.10^{-17}$-$2.10^{18}$ $cm^{-3}$ olabilir. Oksijen daha sonraki alt işlemlerde elektriksel olarak aktif olabilir. Bundan dolayı, CZ Si oluşum, direnci 10Ω–cm' den daha fazla olan cihazlarda genellikle kullanılmaz.

CZ tekniği, Ge, GaAs ve diğer yarıiletken bileşiklerinin tek kristalini elde etmede kullanılabilir. GaAs gibi malzemeleri kristalleştirirken As' in buharlaşması önlenmelidir. Bu probleme etkili bir yaklaşım sıvıyla kaplanmış CZ büyüme işlemidir. Bu yöntemde GaAs'in erimesini ve As' in buharlaşmasını önleyen dökme $B_2O_3$ kullanılır.

Kayan bölge işleminde (Float Zone process:FZ) çok saf polikristalli Si çubuk kullanır. Şekil 1.2'de görüldüğü çubuk dik pozisyonda tutulur ve içi Ar dolu bir oda ile çevrelenmiştir. RF ısıtıcı bobinler oda etrafına yerleştirilmiştir. Tek bir kristal tohumu çubuğun alt ucuna kenetlenir ve çubuk oluşum işlemi sırasında kendi ekseni etrafında döner. Bobin tohum kristalinden başlayarak çubuğun küçük bir kısmını eritir. Erime bölgesi RF bobinlerinin çubuk boyunca yavaşça hareket ettirilmesi ile yukarı doğru çekilir. Bobinler yukarı doğru hareket ettikçe alt kısımda kristalleşme olurken üst kısımda yeni madde erimeye başlar. Yeniden kristalleştirilen bölge tohumun kristal yapısı olarak farz edilir. Erimiş bölge sıvının yüzey basıncı ile birlikte tutulur ve oluşturulan kristalin çapı ısıtıcı bobinlerin hareketi ile kontrol edilir. İstenilen katkı seviyesi uygun polikristal malzemenin başlangıçta eklenmesiyle elde edilir.




**Şekil 1. 2. Kayan bölge cihazının şeması [2]**

FZ işleminde potanın yokluğu CZ işlemine göre bir çok avantajı beraberinde getirir. Katkı kirlenmenin önlenmesinin yanında, düşük atmosfer basıncında kristal oluşturulması esnasında uçucu katkıların uzaklaştırılması da sağlanmış olur. FZ ile kristal oluşturma işleminde oksijen seviyesi sadece $10^{15}$ $cm^{-3}$ mertebesindedir ve 30 KΩ–cm' den daha fazla direnç elde edilebilir. Buna rağmen, bu metotla büyük çaplı kristaller elde etmek zordur.

Hareket eden bir dökme bölgesi istenilmeyen katkıları çıkartarak başlangıç malzemelerini saflaştırabilir. Erime ve katılaşma arafazında katkı yoğunluğu farklı olacaktır. Bu özelliği tanımlayan önemli bir nicelik $k_0$ dağılım katsayısıdır:

$$k_0 = \frac{C_s}{C_l} \quad \text{.....(1.2)}$$

$C_s$ :Katkı atomların katı fazdaki denge yoğunluğu
$C_l$ : Katkı atomların sıvı fazdaki denge yoğunluğu

Bütün bunların üzerinden Ge ve Si 'deki önemli katkılarda ko<1 dır. Yani kristaldeki katkı içeriği eriyiğin katkı içeriğinden daha azdır. Bu özellik katkıların kristalden uzaklaşmasına izin verir. Katkılar katı tarafından dökme bölgesinin çubuk boyunca hareket ettirilmesi ile çıkartılır. Cs=koCl oluncaya kadar dökme malzemesi döndürülür. İlk bölge geçildikten sonra çubuğun önemli bir bölümü orijinal katkı yoğunluğuna sahiptir. Buna rağmen, ancak bir kaç tekrardan sonra katkı maddelerinin çoğu çubuğun yukarısına doğru hareket eder. Geriye yüksek oranda saflaştırılmış malzeme kalır. Bu yolla kristalin saflaştırılması işlemine "**bölge arıtma**" denir.

Bölge arıtma işleminin dağılım katsayısı hem FZ işleminde hem de CZ işleminde önemlidir. Bununla birlikte, gerçek kristal çekme oranı termodinamik dengeyi kurmak için gerekli olandan daha yüksektir. Bu nedenle, denklemde verilenden daha fazla katkı dondurulur.

### 1.2.3 Pul Hazırlama

Kristal çekiciden elde edilen yarıiletken külçe silindir şeklindedir. Tohumları ve kenarları çıkardıktan sonra ilk işlem yüzey düzlemedir. Bu işlem kesin olarak malzemenin çapını belirlemek için kullanılır. İstenilen çap, dönen külçeden aşağıya doğru bir çok geçiş yapan dönen kesici bir alet ile sağlanır. Kristal boyunca elde edilen malzeme öğütülür ve yüzey

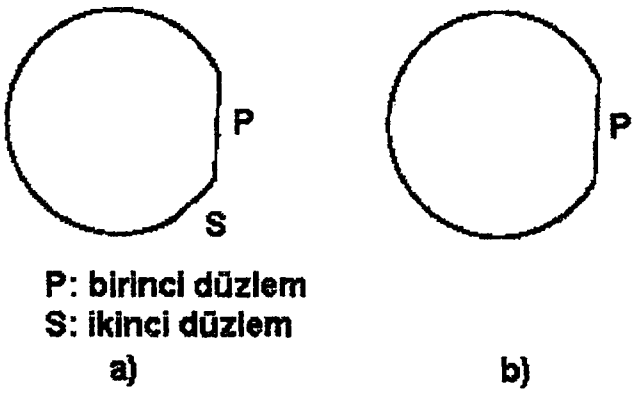
düzeni bir çok dilimin kesilmesiyle belirlenir. X- ışınlarının kırınımı metodu ile oryantasyon ölçülür. Doğru düzen elde edilene kadar kesme dişi sıfırlanır.

Bu işlemden sonra kristal, "**pul**" denilen dilimlere ayrılır. Dilimleme, iç kenarı elmas ile kaplı paslanmaz çelikten yapılmış halka şeklindeki testere ile gerçekleştirilir. Kesme işlemi su ile soğutmalıdır. Testere dişinin genişliğinden dolayı kristalin 1/3 'ünden fazlası talaş olarak açığa çıkmaktadır. Aynı zamanda kesme işlemi sonunda örtme ve aşındırma işlemleriyle pul üzerinde oluşan 20-50 μm kalınlığında hasarlı tabaka ortadan kaldırılır. Basınç altında iki yanlı gerçekleştirilen mekanik bir örtme işleminde $Al_2O_3$ ve gliserin karışımı kullanılır. 2μm düzlük seviyesine sahip bir pul üretilir. Örtme işleminden sonra yüzeyde kalan önemli hasar, pulun kimyasal aşındırılması ile ortadan kaldırılır. Si için asetik asit, HF ve $HNO_3$ karışımları aşındırma çözeltisi olarak kullanılır. [2]

Silisyumun temel özellikleri Tablo 1.1 de görülmektedir. Standart pul çapı 6inch (150 mm) olup böyle bir külçe pulun ağırlığı yaklaşık olarak 60kg dır. SEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institude) tarafından sunulan ve standartlara uygun düzlemlerin durumunu Şekil 1.3 göstermektedir. 6inch (150 mm) pul için tipik SEMI özellikleri Tablo 1.2' de verilmiştir. Tablodaki yay terimi pul eğriliğini göstermektedir. [3]

**Tablo 1. 1. 300 K' de Si' un özellikleri [3]**

| | |
|---|---|
| **Atom yoğunluğu(atom/cm$^3$)** | **$4.96*10^{22}$** |
| **Atom sayısı** | **14** |
| **Atom ağırlığı** | **28.09** |
| **Kırılma alanı(V/cm)** | **$3*10^5$** |
| **Kristal yapısı** | **Elmas** |
| **Enerji boşluğu(eV)** | **1.115** |
| **Enerji boşluğunun sıcaklık katsayısı(eV/°C)** | **$-2.3*10^{-4}$** |
| **Erime noktası(°C)** | **1417** |
| **Elektron mobilitesi(cm$^2$/V-s)** | **1350** |
| **Boşluk mobilitesi(cm$^2$/V-s)** | **480** |
| **Refraktif indeks** | **3.42** |
| **Taşıyıcı konsantrasyonu(taşıyıcı/cm$^3$)** | **$1.45*10^{10}$** |
| **Termal iletkenlik(W/cm-°C)** | **1.57** |
| **Özdirenç(ohm-cm)** | **$2.3*10^5$** |
| **Termal yayılma(cm$^2$/s)** | **0.9** |
| **Azınlık taşıyıcı süresi(s)** | **$2.5*10^3$** |
| **Özel sıcaklık(J/g-°C)** | **0.7** |




**Şekil 1. 3. {111}' i pulun düzlemlerinin tanımlanması**

**(a)n öz dirençli (b) p özdirençli [3]**

Son işlem cilalamaktır. Pullar, büyük, yuvarlak ve paslanmaz çelik cila plakalarına monte edilir ve bal mumu veya vakum ile tutturulur. Bu plakalar daha sonra bir cilalayıcı üzerine monte edilir. Pullar sert bir cilalama rampasına doğru sürülürler. Kimyasal aşındırma yapan ve mekanik olarak cilalayan bir cilalama çözeltisi kullanılabilir. Böylece pulun bir yanı ayna gibi cilalanır. Temizleme işleminden sonra pullar eleman fabrikasyonu için kullanmaya hazır hale gelirler. [2]

**Tablo 1. 2. 150 mm (6inch) pulun SEMI özellikleri [3]**

| | Boyut | |
|---|---|---|
| **Boyut** | **En küçük** | **En büyük** |
| **Çap(mm)** | 149 | 151 |
| **Kalınlık merkez nokta(µm)** | 650 | 700 |
| **Birinci düzlem uzunluğu(µm)** | 55 | 60 |
| **İkinci düzlem uzunluğu(µm)** | 35 | 40 |
| **Kalınlık (µm)** | | 60 |
| **Toplam kalınlık değşimi(µm)** | | 50 |

1985' de Tümdevre üreticileri 10cm pullar kullandılar (15 cm çaplı pullar piyasaya sürülmüştür ve 20cm'lik teknoloji 1990larda mümkün olabilecektir.). Pul kalınlığı yaklaşık olarak 0.2-0.3mmdir (Bu boyutlar gerekli elektriksel karakteristikleri elde etmek için arttırılabilir.). Fabrikasyon işlemi tamamlandıktan sonra pullar kenarları 1-10mm (en büyük kırmık için) olan 100-8000 dikdörtgen kırmıklara bölünürler. Her bir kırmık tek bir Tümdevre (Integrated Circuit:IC) dır. [4]

Büyük çaplı pulların varlığı ve daha küçük geometrili elemanların üretilmesi tek bir pul üzerine konulabilecek eleman sayısını önemli bir miktarda arttırmıştır. Malzemenin fiyatı belirlenirken oluşturulan kristalin 2/3 ü dilimleme, örtme ve aşındırma işlemlerinden oluşan kayıp göz önüne alınmalıdır. Başlangıç malzemesinin fiyatının korunması tek kristalin dilimlere ayrılması ile sağlanabilir. Aşındırmalı film oluşumu (EFG:Etched Film Growth) bu

yönde atılan bir adımdır. Bu teknikle seçilen genişlik ve kalınlıkta Si şeritler oluşturulur ve istenilen büyüklükte gövde pul olarak kesilebilir. [2]

## 1.3 Tümdevrelere Giriş

Vakum tüpten sonra transistorun icadı elektronikte önemli bir evredir. Bu yeni icat ile elektronik cihazlar, daha küçük, daha hafif, daha kullanışlı, daha güvenli, daha ucuz ve daha az güç gerektirirler, fakat transistor sadece büyük bir evrimin habercisidir: Monolitik(Tek Parça) Tümdevre. Tümdevreler elektronik cihazların temel elemanları olan malzemelerin yerini almıştır. Büyük sayıda monolitik tümdevrelerin birbirine bağlanması ile komple bir elektronik sistem oluşturulur. Bu teknolojiye "**entegre dizi teknolojisi**" veya "**büyük ölçekli entegrasyon**" denir. Böylece "**mikroelektronik**" doğmuştur. [1]

Bir tümdevre, tek bir kristal Si kırmığından oluşur. Tipik olarak 0.25mm kalınlığında ve 1-10mm 1-10 mm büyüklüğünde olup aktif ve pasif elemanlar içerir. IC üretmek için kullanılan teknikler; (1)pul hazırlama, (2)malzeme eklenmesi, (3) malzeme çıkarılması, (4)litografi, (5)arabağlantılar, (6)izolasyon, (7) metalleme ve (8)paketlemedir. Fabrikasyondaki her bir adım kabiliyet ve sınırlamaları beraberinde getirir. [4]

Mikroelektronikte iki temel yaklaşım vardır:
- Monolitik Silisyum Tümdevre
- Film Devre.

Bunlara ek olarak bu tekniklerin bileşimini kullanan iki yaklaşım daha vardır:
- Çok Kırmıklı (multichip) Devre
- Hibrid (hybrid) Tümdevre

Mikroelektronik ve tümdevre sık olarak birbirlerinin yerine kullanılırlar. "**Mikroelektronik**" ince film ,kalın film veya yarıiletken tekniklerle elde edilen küçük eleman ve devrelere verilen genel bir addır. "**Tümdevre**" mikroelektroniğin özel bir durumudur ve tek bir yapı üzerine elemanların ayrılmaz bir yapı olarak inşa edilmesine denir. Yani tümdevre mikroelektroniğin bir sınıfıdır.

Bununla birlikte, mikroelektronikte bütün birimlerin tümdevre olması zorunlu değildir. [1]

### 1.3.1 P-N Jonksiyon Oluşum Metotları

Yarıiletken malzeme ve IC üretimi araştırmalar devam ettikçe değişmekte ve çeşitlenmektedir. Bu tekniklerin bazıları geliştirilme sırasına göre; (1)Oran oluşum metodu, (2)alaşım metodu, (3)difüzyon metodu, (4)epitaksiyel metodu ve (5)planar teknolojidir. [5]

#### 1.3.1.1 Oluşum Jonksiyonu

p-n fonksiyonu elde etmenin en kolay yolu, kristal oluşurken kristal oluşurken eriyiğe madde eklenmesidir. Başlangıç olarak n-tipi malzemenin eriyikten üretilmesini ele alalım. Oluşumun bazı noktalarında, eriyiğe verici katkı maddesinden daha fazla alıcı katkı maddesi eklenir. Alıcı katkı maddesi eklendikten sonra oluşan kristal p-tipi olacaktır ve bir p-n jonksiyonu oluşacaktır. Oluşan kristale, daha fazla verici katkı malzemesi eklenirse yeniden n-tipine

çevrilebilir. Bu teknik ile hem n-p-n hem de p-n-p transistorlar elde edilebilir, fakat metot zayıf üretkenliğe sahiptir.

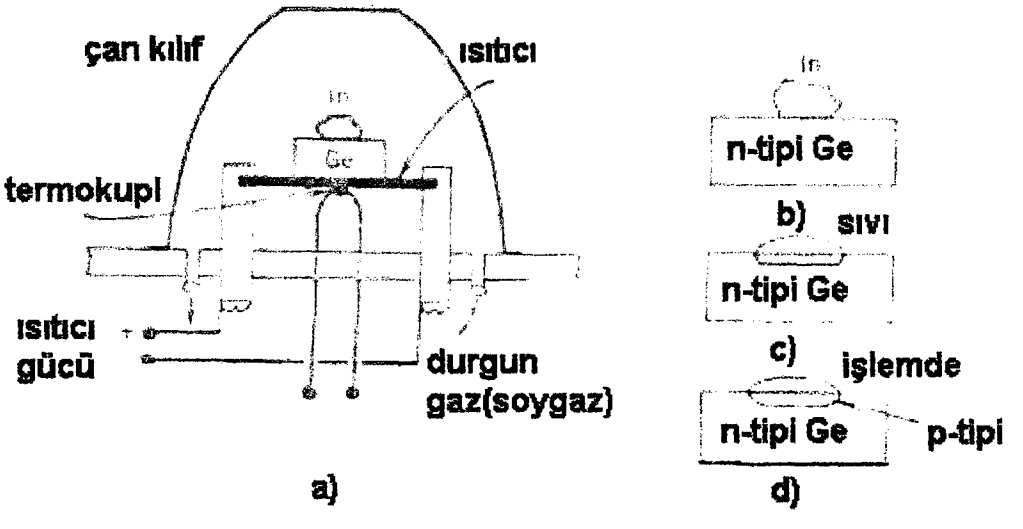
Oluşum esnasında eriyikten p-n jonksiyonu elde etmenin diğer yolu oran oluşum metodudur. Bu metotta verici ve alıcılar aynı zamanda eriyiğe konulurlar. Bunlardan biri oluşum oranına bağlı olarak diğerinden daha baskındır. Örneğin; B' un Ge' daki yayılım katsayısı oluşum oranının artmasıyla azalır, Sb' nin yayılım katsayısı ise artar. Bundan dolayı, yüksek hızda kristal oluşumunda B' dan daha fazla Sb katılarak kristal n-tipi olur.

Buna rağmen,daha az oranda B atomu eklenerek p-tipi kristal elde edilir. Yani,p-n jonksiyonu eriyikte kristal oluşum oranı basitçe değiştirilerek elde edilebilir. Eriyikten p-n jonksiyon elde etmek büyük ölçekli üretim için uygun değildir ve bugün kullanılmamaktadır.

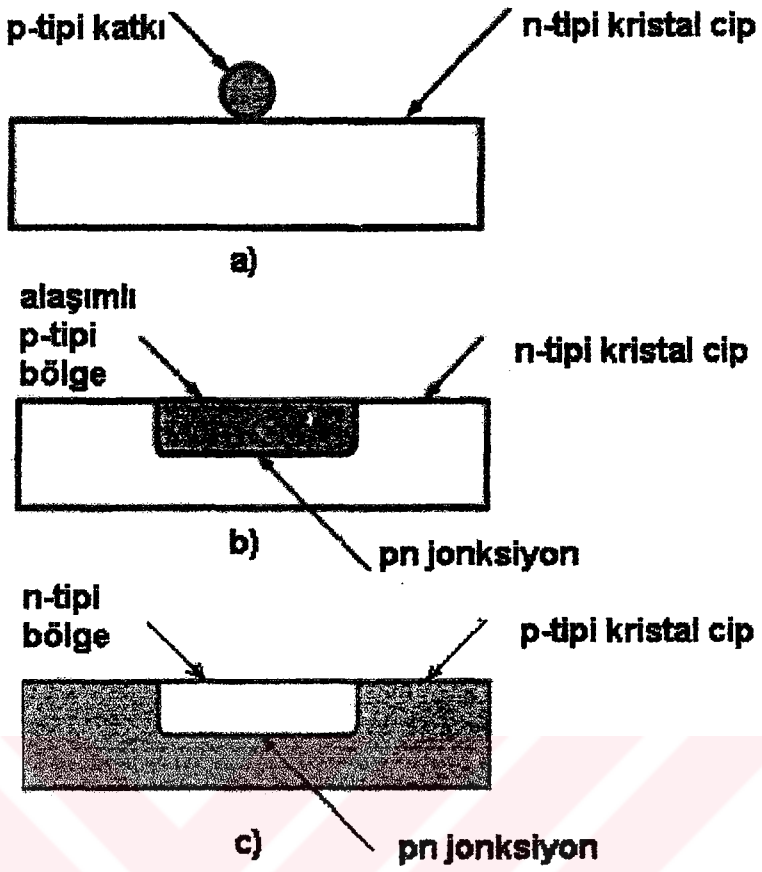
### 1.3.1.2 Alaşım Metodu

Alaşım jonksiyonu katkı maddeleri ile yarıiletken maddenin ısıtılması ile elde edilir ve ısıtma sıcaklığında sıvı haline gelir. Sıvı soğutulduğunda yarıiletken katkı atomları ile kristalleşir. Örnek olarak, Ge ile In' un alaşımından oluşan p-n jonksiyonunun fabrikasyonunu tarif edelim. Şekil 1.4.a düzeneğin şemasını göstermektedir. Küçük bir topak n-tipi bir dilim yüzey üzerine yerleştirilir. Yarıiletken topak bir karbon şerit ısıtıcı üzerine yerleştirilir. Bu düzenek çan şeklinde bir cam kavanoza yerleştirilmiştir. Kavanoz içinde Ar veya N gazı bulunur. Şerit ısıtıcının sıcaklığı yaklaşık 500 °C olduğunda Ge üzerindeki In erir ve işlem sonunda In-Ge karşımı elde edilir(Şekil 1.4.c). Sıcaklık düşürüldüğünde, erimiş kütle katılaşmaya başlar. Yeniden kristalleştirilen malzeme Ge üzerine In eklenmiş tek bir kristaldir. Katılaşma devam ettikçe oluşan kütle In içinde artmaya başlar. Sonuçta bütün Ge harcandıktan sonra malzeme saf In' da kristalleştirilir. Şekil 1.4.d de görüldüğü gibi bu malzeme p-tipi Ge omik kontak olarak davranır.

Si için p-n jonksiyonu yine aynı yolla elde edilebilir. 0,1% Sb ile Au ince bir disk şeklinde hazırlanır. Daha sonra p-tipi Si alaşımına çevrilir. Böylece p-n jonksiyonu elde edilir.




**Şekil 1. 4. Alaşım ile p-n jonksiyonunun oluşum şeması (a) örnek düzenek (b) erimeden önce (c) erime aşaması (d) kristalizasyondan sonra oluşan p-n jonksiyon [2]**




**Şekil 1. 5. Alaşımlı pn jonksiyonu (a) katkı yerleştirme**

**(b) ısıtmadan sonra (c) n-tipi katkılama [5]**

Alaşım metodu, p-n jonksiyonu elde etmek için kullanılan basit ve etkili bir yöntemdir. Buna rağmen, alan üzerinde hassas kontrol yapılamaz ve jonksiyonun derinliği kontrol edilemez (Sadece sınırlı kullanımlarda görülebilir.). [2]

Alaşım metoduna örnek olarak n-tipi yarıiletken kristale p-tipi katkı topağın yerleştirilmesini verebiliriz. p-tipi topağın n-tipi yarıiletken, kristal üzerine yerleştirilmesini Şekil 1.5.a göstermektedir. Kristal ve topak ısıtılarak topak eritilir. Eriyik kristal ile birleşir. p-tipi katkılar topağın birleşme bölgesinde baskın hale gelerek bu bölgenin p-tipi yarıiletken olmasına sebep olurlar. Bu durum Şekil 1.5.b 'de görülmektedir.

p-tipi yarıiletken ve n-tipi katkı topağı kullanılırsa Şekil 1.5.c'de görüldüğü gibi p-tipi kristal içine n-tipi bölge alaşımlanır. Her iki halde de p-n jonksiyonu elde edilir. [5]

### 1.3.1.3 Difüzyon Metodu

Özellikle Si' da jonksiyon oluşturmak için en fazla kullanılan teknik katı katkı maddesi difüzyonudur. Eklenecek atomların difüzyonu, serbest taşıyıcıların difüzyonu temel kanunu ile aynıdır. Buna rağmen, katkı atomlarının difüzyon katsayısı serbest taşıyıcıların difüzyon katsayısından bir kaç derece daha küçüktür. Katkı atomları normal sıcaklıklarda hareketsizdir. Genel katkı maddelerinin difüzyonu için 1000°C mertebelerinde sıcaklığa ihtiyaç vardır.

Bir yarıiletken (örneğin; Si) yüksek sıcaklık ile ısıtılır. Eklenecek katkı atomlarının yoğunluğu yüzeye bağlı ise eklenecek atomlar konsantrasyon yoğunluğundan dolayı kristale geçerler. Yüksek sıcaklıklarda bir çok Si atomu düzenli yapılarını bozarak yüksek yoğunlukta boşluk oluştururlar. Aynı zamanda, bazı Si atomları boşluklar arasındaki boşluklara geçerler ve kendilerine özgü bir yarık oluştururlar. Yarıiletken içine yayılan katkı atomları kristal düzenindeki boş yerleri veya atomlar arasındaki boşlukları doldururlar. Boş yerleri dolduran katkı atomları kristal düzenindeki düzenli atomlar ile yer değiştirirler ve "**yer değiştirme katkıları**" olarak bilinir. Boşlukları dolduran atomlara "**yarık (veya boşluk) katkıları**" denir.

Kristal oda sıcaklığında soğutulduğunda yarık atomları yer değiştirme pozisyonuna gelerek elektriksel olarak aktif hale geçerler. Yarık atomları IV. ve III. Grup ve diğer katkı maddelerinde olduğu gibi baskın olarak yer değiştirme alanlarını doldururlar. Önemli bir istisna ise Altının yarık mekanizması ile yayılması ve soğutulduktan sonra o pozisyonda kalmasıdır.

Yarıiletkende difüzyon işlemi "**Fick Kanunu**" olarak bilinen ikinci derece kısmi türev ile tanımlanır:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \nabla.(D\nabla N) \qquad \text{.....(1.3)}$$

Burada, N ve D sırasıyla difüzyon maddelerinin konsantrasyonu ve yayılma katsayılarıdır. Yukarıdaki denklem genellikle D' in sabit olduğu varsayımı (genellikle yanlıştır) ile şöyle basitleştirilebilir. Bu varsayım ve bir boyutlu difüzyon ile aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \qquad \text{.....(1.4)}$$

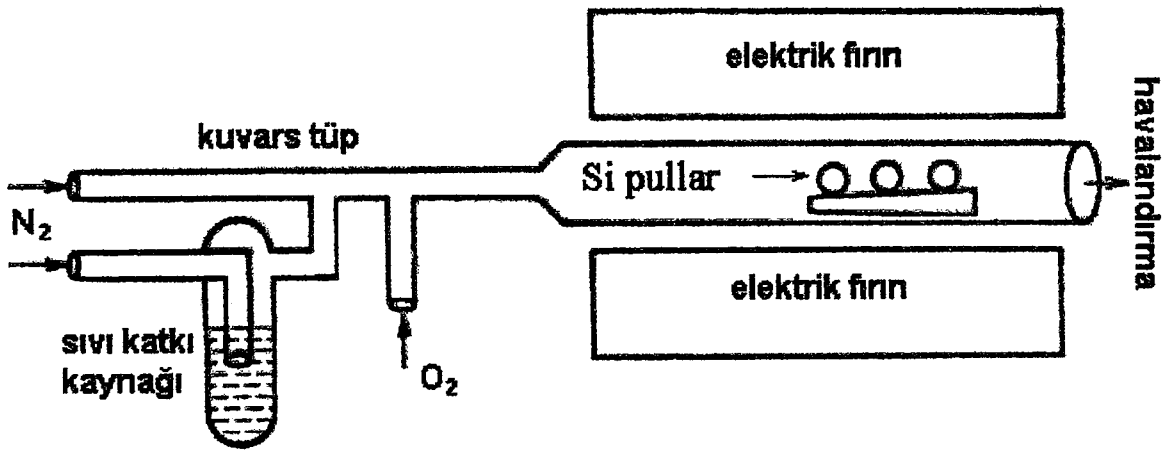
Bu denklemin uygun sınır ve başlangıç koşulları ile çözümü yarıiletkendeki katkı maddelerinin dağılımını verir. Denklem analitik olarak iki önemli durum için çözülür. Birinci durumda, difüzyon sırasında yüzey konsantrasyonu $N_o$ değerinde sabit tutulur ve ikinci durumda, difüzyon maddesinin toplam miktarı (Q) sabit tutulur.

#### 1.3.1.3.1 Difüzyon Teknikleri

Difüzyon hem açık tüp ocağında hem de kapalı tüp sisteminde gerçekleştirilir. Katkı maddelerinin kontrolü için açık tüp difüzyon işlemi tercih edilir ve iki adımda gerçekleştirilir: (1) oluşturma ve (2) difüzyon.

Oluşturma safhasında dikkatli kontrol edilen katkı maddesi yarıiletkene uygulanır. Bunu başarmak için yarıiletken örnekleri, dikkatli kontrol edilmiş yüksek sıcaklıklı kuvars tüp ocağa (fırına) konur ve katkı maddesi içeren gaz karışımının örnek boyunca akışı sağlanır. Yarıiletkene yayılan katkı atomlarının sayısı gaz karışımındaki katkı maddelerinin kısmi basıncına bağlıdır. Verilen katkı maddesi için en büyük konsantrasyona "**katı çözünürlüğü**" denir. Katı çözünürlüğünü belirleyen katkı madde konsantrasyonunu garanti etmek için gaz içindeki katkı maddesinin kısmi basıncı yüksek tutulur.

Katkı maddesinin kaynağı katı, sıvı ve gaz bileşiği olabilir. Sıvı kaynaklar genellikle Si ve Ge içindeki difüzyon için kullanılır ve tipik difüzyon sisteminin simetrik diyagramı Şekil 1.6'da görülmektedir. Kuvars tüp, gaz girişi ve çıkışına sahiptir. Katkı maddesi içeren sıvı bileşik sabit sıcaklıkta bir kaba konur ve buharı kap içerisinden geçen $N_2$ ile kontrol edilir ve fırının çıkışına iletilir.




**Şekil 1. 6. Açık tüp difüzyon sistemi [2]**

$N_2$ taşıyıcı gaz olarak da kullanılır ve difüzyon tüpünün girişinde kaynak buharı ile karıştırılır. Yarıiletken yüzeydeki kimyasal reaksiyon genellikle bazı $O_2$ veya $N_2$'nin eklenmesiyle oluşan oksidasyon koşulları altında gerçekleşir.

Si içerisinde p difüzyonunda, tercih edilen kaynak $POCl_3$'tür ve aşağıdaki reaksiyon ocağın sıcak bölgesinde oluşur:

$$4POCl_3 + 3O_2 \rightarrow P_2O_5 + 6Cl_2 \quad \text{.....(1.5)}$$

$P_2O_5$ , Si pul üzerinde bir cam oluşturur ve aşağıda gösterildiği gibi P elde edilir:

$$5Si + 2P_2O_5 \Leftrightarrow 5SiO_2 + 4P \quad \text{.....(1.6)}$$

Açığa çıkan P, Si içine yayılır ve $Cl_2$ çıkışa verilir.

Sıvı kaynağı $BBr_3$ genellikle Si içinde p-tipi difüzyon için kullanılır. Bu durumda $B_2O_3$ oksidasyon ile elde edilir ve Si ile reaksiyona girerek B elde edilir:

$$4BBr_3 + 3O_2 \rightarrow 2B_2O_3 + 6Br_2 \uparrow ve 3Si + 2B_2O_3 \Leftrightarrow 3SiO_2 + 4B \quad \text{.....(1.7)}$$

$B_2O_3$ , Si üzerine bir camsı tabaka şeklinde çöker ve B kaynağı olarak kaynaklık eder. Reaksiyonda açığa çıkan $Br_2$ çıkışa verilir.

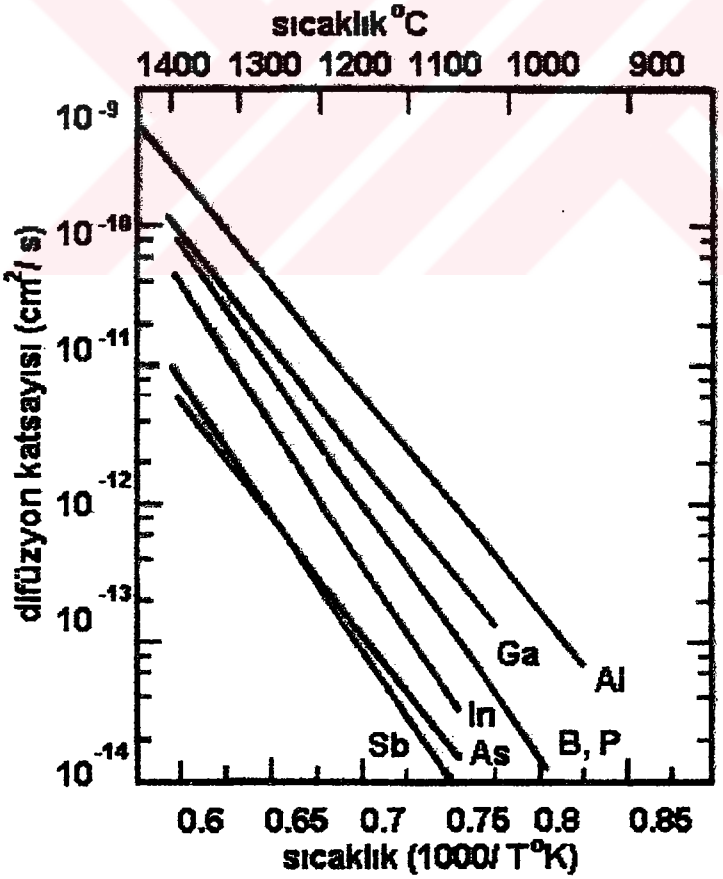
Sıvı kaynakların yanında $PH_3$, $AsH_3$ ve $B_2H_6$ gibi gaz katkı maddeleri de kullanılır. Bu gazlar direk olarak taşıyıcı gaz ile karıştırılırlar. Katı katkı maddeleri toz şeklinde kullanılabilir. Fırının girişinde ısıtılırlar ve taşıyıcı gaz ile yarıiletkenin yüzeyine taşınırlar. Katı kaynak, katkı maddelerinden yapılan pul şeklinde kullanılabilir. Örnek olarak BN kaynağı Si içinde B difüzyonu için kullanılabilir.

Difüzyon işlemi yüzey konsantrasyonunu azaltmak için oluşturmadan sonra gerçekleştirilir ve katkı atomlarının yüzeyden örneğe doğru itilmesini sağlar. Katkı maddesi kaynağı kapatılır ve yarıiletken örnek taşıyıcı gazın varlığında oksitleyici ortamda ısıtılır. Pul yüzeyi üzerindeki koruyucu oksit tabakası yüzeyden katkı maddelerinin kaçışını önler ve difüzyon boyunca toplam katkı konsantrasyonunun sabit kalmasını sağlar.

Katkı profilleri: Oluşturma sırasında, yüzey konsantrasyonu katı çözünürlüğü sınırının yanında sabit tutulur. Yani, sabit kaynakla yapılan bütün difüzyon koşulları gerçekleştirilir. Oluşturma düşük sıcaklıklarda kısa periyotlarda gerçekleştirilir. Difüzyon işlemi genellikle oluşturma işleminden daha fazla katkı dağılımına sahiptir. Bunun sonunda, yarıiletken yüzeyinde difüzyon yoğunluğunu başlangıcındaki katkı yoğunluğuna yaklaştırmak genel yöntemdir.

Kapalı tüp difüzyonu: Kapalı tüp difüzyonu açık tüp tekniği ile gerçekleştirilemeyen As ve Sb gibi katkıların difüzyonu için kullanılır. Bu metotta bir çok sayıda pul tüpe yüklenir ve katkı kaynağı ile birlikte kuvars tüpe yerleştirilir. Daha sonra tüp boşaltılır, ısıtılır ve difüzyon olabilmesi için gerekli buhar basıncını elde etmek için gerekli sıcaklıkta difüzyon fırınına yerleştirilir.

Si içindeki bazı genel katkıların sıcaklığın fonksiyonu olarak difüzyon katsayıları Şekil 1.7'de görülmektedir. Bu katsayıların bilinmesi ve diğer yarıiletkenlerin benzer bilgilerinin bilinmesi ile difüzyon profilleri hesaplanabilir ve jonksiyon derinlikleri belirlenebilir. Bu sonuçlar sadece birinci derece tahminlerdir ve ideal davranışlardan farklı sapmalar elde edilebilir.




**Şekil 1. 7. Si' deki bazı katkıların difüzyon katsayıları [2]**

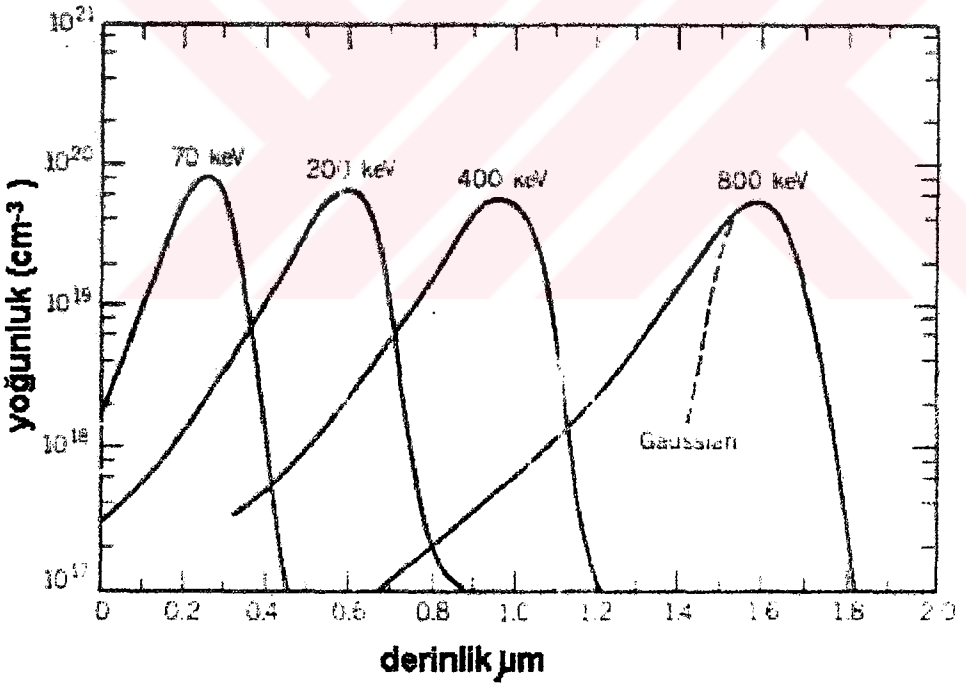
### 1.3.1.4 İyon İmplantasyonu

İyon implantasyonu katkı maddelerinin yarıiletkenin istenilen bölümüne oluşturulması işlemine bir alternatiftir. Ekilecek katkı maddeleri difüzyon işleminde kullanılır. İyon implantasyonunun (iyon ekilmesinin) en büyük avantajı, katkı maddelerinin çok iyi kontrol edilmesini sağlaması ve yüzeydeki katkı derinliğidir. Bundan da öte, işlemler düşük sıcaklıkta gerçekleştirildiğinden yüksek sıcaklıklarda oluşan pul deformasyonu önlenmiş olur.

İyon implantasyonu tekniğinde, atom iyonları bir potansiyel (10-500keV) aracılığıyla hızlandırılır ve yarıiletkene bağlı olarak işlem gerçekleştirilir. Katkı atomlarını içeren gaz yüksek enerjili elektronlar ile atomların çarpıştırıldığı bir odaya konulur. Odadaki iyonlar, istenilen katkı iyonları ile birlikte istenilmeyen iyonları da içerirler. Katkı iyonları, istenilen iyonların 90° döndürüldüğü güçlü bir manyetik alandan istenilmeyen iyonların geçirilmesi ile elde edilir. Seçilen iyonlar elektrik alanı kullanılarak hızlandırılır ve şase potansiyelindeki yarıiletkene uygulanır. İyon huzmesi yatay ve dikey olarak saptırılır ve homojen katkılama için hedef etrafında tarama yapılır. Huzme ve hedef yüksek bir vakumda tutulur.

Hızlandırılan iyonlar yarıiletkene girdikten sonra kinetik enerjilerini kaybederler. Bir iyon enerjisini kaybedince geriye kalır. Yarıiletken içindeki iyonların toplam yol uzunluğuna "**iyon sınırı**" denir ve iyonun hedefe nüfuz etmesine de "**iyonun tasarlanmış sınırı**" denir.

Şekil 1.8, $10^{15}$ iyon/cm$^2$'lik doz ile B katkılarının ölçülmüş dağılımlarını göstermektedir.




**Şekil 1. 8. Ekili $10^{15}$ iyon/ cm$^2$ dozunda ölçülmüş B dağılımı [2]**

İyon implantasyonu, kristalin düzenli yapısını atomların yerini değiştirerek bozar. Yani, yarıiletkenin yüzeyine yakın yerde yüksek derecede düzensiz tabaka oluşur. Bu radyasyon hasarı 400 °C-800 °C sıcaklıklarda açığa çıkar.

Pul üzerinde implantasyon alanını kontrol etmenin yolu katkı maddesinin istenmediği yüzey bölümlerinde maskeleme yapmaktır. İyon implantasyonuna karşı yapılan maskeleme işlemi yalıtkan (örneğin $Si_3N_4$ ve $Al_2O_3$) veya metaller (örneğin; Mo ve Au) kullanılarak yapılabilir.

İmplantasyon işleminde yüksek sıcaklık gerekmediğinden geleneksel fotodirenç tekniği maskeleme yerine kullanılabilir.

İyon implantasyonu aslında sığ bir katkılama işlemidir ve derin difüzyonun gerektiği aletlerde kullanılamaz. Geniş olarak MOS (Metal Oxide Semiconductor) elemanlarının eşik voltajını kontrol etmek, CMOS (Complementary MOS) elemanlarında p ve n kanallarını oluşturmak ve iki kutuplu (bipolar) transistorların B ve E katkılarını kontrol etmek.

### 1.3.1.5 Epitaksiyel Yöntemi

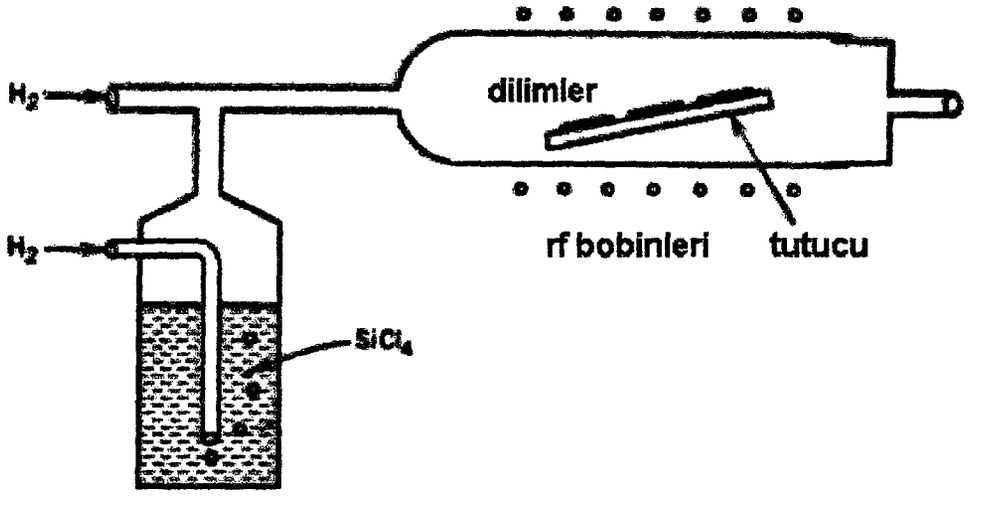
Epitaks terimi, gövde tabaka ile aynı geometrik yapıda olan yarıiletken kristal tabakasının oluşturulması işlemi için kullanılır. Epitaksiyel işlemi, uygun katkılı yarıiletken bölgesi elde etmek için kullanılan difüzyon işlemine bir alternatiftir. Bu işlemin avantajı gövde üzerindeki katkı konsantrasyonunun bağımsız olarak oluşum tabakasında ayarlanabilmesidir.

Epitaksiyel oluşumun ana işlemleri; (1)Buhar Faz Epitaksi (Vapour Phase Epitaxy:VPE), (2)Sıvı Faz Epitaksi (Liquid Phase Epitaxy:LPE) ve (3)Moleküler Faz Epitaksi(Molecular Phase Epitaxy: MPE) dır. VPE, Si ve III-V bileşiklerinde kullanılırken, LPE daha çok III-V bileşiklerinde kullanılır. MPE çok kullanışlıdır ve katkılama işleminde çok hassas kontroller yapabilir.

#### 1.3.1.5.1 Gaz Faz Epitaksi

Si epitaksi, $SiCl_4$ , $SiH_4$, $SiH_2Cl_2$, $SiH_3Cl$ ve diğer bazı bileşiklerden Si elde etmek için kullanılan Kimyasal Buhardan Oluşturma (Chemical Vapor Deposition:CVD) tekniği ile oluşturulur. Şekil 1.9, $SiCl_4$ kullanan sisteminin şemasını göstermektedir. Sıvı $SiCl_4$ , sıcaklığı yaklaşık olarak 0 °C olan bir tüpte tutulur. $H_2$ gazı bu tüpten geçirilir. Tüpün sıcaklığı ve $H_2$'nin akış hızı karışımdaki $SiCl_4$ konsantrasyonunu belirler. $SiCl_4$+ $H_2$ buharı fırının giriş kısmında $H_2$ ile karıştırıldıktan sonra kuvars tüpten geçirilir. Si pullar, RF bobinleri ile ısıtılan ve 1100 °C' den daha yüksek sıcaklıkta olan kuvars tüp içindeki hassas grafit üzerine yerleştirilir. Aşağıdaki reaksiyon pul yüzeyinde gerçekleşir:

$$SiCl_4 + 2\,H_2 \Leftrightarrow Si + 4HCl \quad \text{.....(1.8)}$$

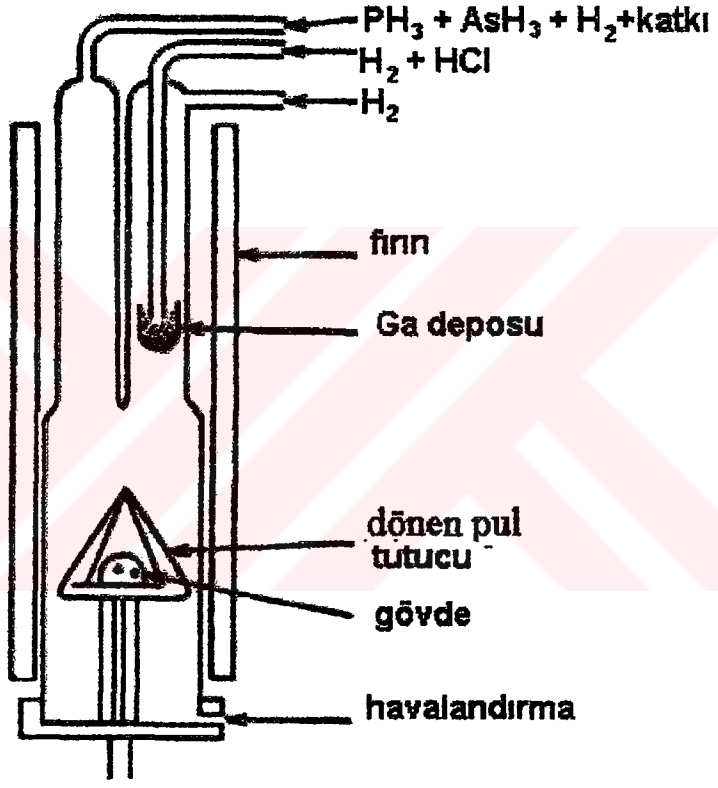



**Şekil 1. 9. Epitaksiyel oluşum sistemi [2]**

Si, Si gövde üzerine oluşturulur ve HCl gazı açığa çıkar. RF bobinleri grafiti ısıtırlar, fakat kuvars tüpü ısıtmazlar. Bundan dolayı, tüpün duvarlarında hiçbir oluşturma oluşmaz. Reaksiyon bir odada gerçekleştiğinden Şekil 1.9 deki düzeneğe "**reaktör odası**" veya basitçe "**reaktör**" denir.

Si' un istenilen direnç ve iletkenlikte olması için sisteme katkı atomları eklenir. $PH_3$, $AsH_3$ ve $SbH_3$ gibi gazlar n-tipi katkı ve $B_2H_6$ gibi gazlar ise p-tipi katkı olarak kullanılırlar.

III-V bileşiklerinin ve üçlü karışımlarının VPE işlemi yatay veya dikey reaktör ile gerçekleştirilebilir. Şekil 1.10 GaAs, GaP ve üçlü karışımları olan GaAsP' in oluşumu için gerekli dikey reaktörü göstermektedir. GaAs (veya GaP) gövde, yaklaşık 800 °C de dönen pul tutucu üzerine yerleştirilir. HCl ile karıştırılan $H_2$ , erimiş Ga ile reaksiyona sokularak $GaCl_3$ elde edilir. Bu gaz daha sonra $H_2$ , $PH_3$ ve $AsH_3$ ile karıştırılır ve katkı gazları ve karışım gövde üzerinden geçirilir. GaAsP deki As ve P oranı, karışımdaki $AsH_3$ ve $PH_3$ oranları değiştirilerek belirlenir.




**Şekil 1. 10. Buhar fazlı dikey epitaksiyel reaktörü [2]**

### 1.3.1.5.2 Sıvı Faz Epitaksi

LPE daha çok üçlü ve dörtlü bileşiklerin (örneğin; LED ve lazerlerde) yani çok tabakalı yapıların üretiminde kullanılır. Bu teknik, yarıiletken bir karışım ile ikinci bir elementin yarıiletkendekinden daha düşük sıcaklıklarda eriyebileceği gerçeğine dayandırılır. Bundan dolayı, karışım sıcaklığında çözeltiden kristal oluşturma işleminde kullanılabilir. GaAs gövde üzerinde GaAs tabakasının oluşmasını bu metoda örnek olarak verebiliriz. GaAs erime noktası 1238 °C dır. Buna rağmen, GaAs, Ga metali ile karıştırıldığında (iki gövdenin oranlarına bağlı olarak) karışım çok düşük erime noktasına sahip olabilir. Yani, GaAs oluşturmak için GaAs içeren Ga çözeltisi ve istenilen katkılar, grafit tüpte tutulan tek GaAs



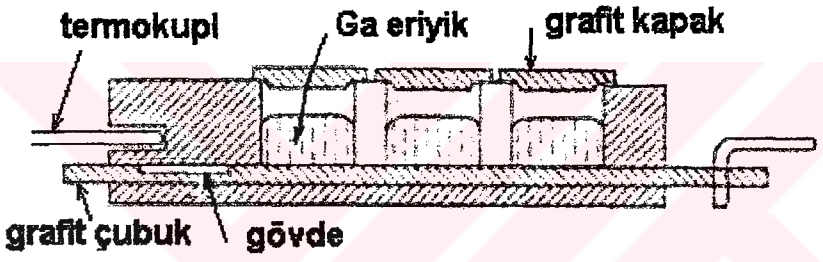
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

kristal gövde üzerine yerleştirilir. Tüp 800-900 °C de fırında tutulur ve $H_2$ ile çevrelenir. İçteki tüp yavaşça soğutulur ve GaAs çözeltideki gövde üzerine kristalleşir. İstenilen oluşumdan sonra kalan maddeler dışarı atılır.

Aynı teknik ile uygun sıcaklıklarda diğer maddelerde oluşturulabilir. Örneğin; InP, In ve InP içeren çözelti ve uygun p ve n tipi katkılar ile oluşturulabilir. Benzer olarak, InGaAsP, InP ile As içeren In çözelti ve istenilen oranda Ga ile elde edilebilir.

Çok kutulu tüp içeren bir LPE oluşum sistemi Şekil 1.11' de görülmektedir. Bu sistemde bir oluşum periyodunda bir çok yarıiletken tabakası sırayla oluşturulur. Grafit bot hareketli bir sürgüye sahiptir. Bu sürgünün yukarı yüzeyi farklı çözeltiler içeren üç havzanın altı gibi davranır.

Gövde, haznenin dışında sürgüdeki boş alana yerleştirilir. Grafit sürgüye yerleştirilen bir çubuk, gövdenin sırayla her bir haznenin dibine doğru hareket etmesinde kullanılır. Oluşum işlemi sırasında grafit potanın sıcaklığı istenilen değere yükseltilir ve çubuk, gövdeyi ilk çözeltiyle etkileşime sokmak için itilir. Belirlenen oluşum periyodundan sonra, gövde bir sonraki çözeltiye doğru itilir ve birinci çözeltiden geriye kalanlar dışarıya atılır. Bu yolla, değişik tabakalar sırayla oluşturulabilir.

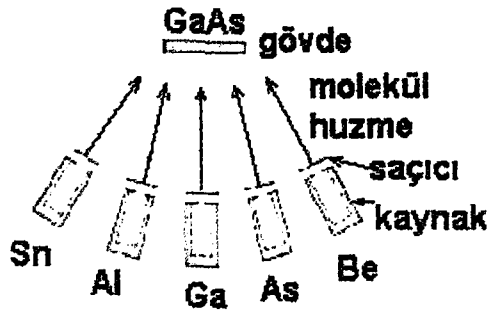



**Şekil 1. 11. Çok kutulu tüp içeren LPE oluşum sistemi [2]**

VPE veya LPE kullanan epitaksiyel oluşumda gövdenin yapısal kusurlardan bağımsız olması çok önemlidir. Pul yüzeyindeki herhangi bir kusur, oluşum işlemi sırasında büyütülecektir. Bundan dolayı, reaktörün kristal mükemmelliği ve temizliği istenilen epitaksiyel tabakaların oluşumu için çok gereklidir. Aynı zamanda, gövde ile oluşan tabaka arasındaki yapı benzerliği de gerekmektedir.

#### 1.3.1.5.3 Molekül Faz Epitaksi

MBE, istenilen yapıda epitaksiyel tabakası oluşturmak için buharlaştırma metodunu kullanır. Gövde çok yüksek bir vakumda tutulur ve yapının atom veya molekülleri gövde yüzeyine çarpar. Şekil 1.12 GaAs gövde üzerine AlGaAs epitaksiyel tabakasının oluşması için gerekli düzeneği göstermektedir. Bileşiğin Al, Ga ve As elemanları ve Sn ve Be katkıları ayrı hücrelerde ısıtılırlar. Her bir kaynak kontrollü kapağa sahiptir. Bu maddelerin atomları 520-600°C de tutulan gövdeye yönlendirilir. Atomların gövde yüzeyine çarpma oranı çok hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Yüksek kaliteli filmler bu metot ile elde edilebilir. Ultra yüksek vakum ve hassas kontrollerden dolayı, MBE çok özel düzeneklere ihtiyaç duyar. Buna rağmen, ana avantajı gövdedeki difüzyonu azaltan düşük gövde sıcaklığı ve katkıların çok hassas kontrolüdür.




**Şekil 1. 12. MBE kullanılarak AlGaAs oluşumunun şematik düzeneği [2]**

### 1.3.1.6 Dielektrik Tabakaların Oluşturulması

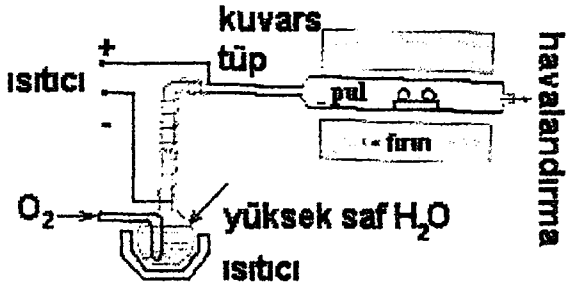
Dielektrik tabakalar yarıiletken teknolojisinde önemli bir rol oynar. Dielektrik tabaka difüzyon işlemine karşı maskelemede, elektrik izolasyonda, jonksiyon pasifleştirmede ve bazen de yapının mekanik korunmasında kullanılır. En sık kullanılan dielektrik $SiO_2$ tir. Diğer önemli dielektrik malzemeler ise $Si_3N_4$ ve polisilisyumdur.

#### 1.3.1.6.1 $SiO_2$ Dielektrik

Si üzerinde $SiO_2$ tabakası oluşturmada en çok kullanılan teknik termal oksidasyondur. Si' dan başka yarıiletkenler üzerine $SiO_2$ tabakası oluşturmanın diğer yolları ise (1)Kimyasal Buhardan Oluşturma (Chemical Vapor Deposition:CVD), (2) plazma CVD, (3) buharlaşma ve (4) saçılma gibi fiziksel tekniklerdir.

##### 1.3.1.6.1.1 Si' un Termal Oksidasyonu

Si' un termal oksidasyonu, 900-1200 °C sıcaklıkta direnç ile ısıtılan ve bir fırında tutulan açık uçlu kuvars bir tüp ile gerçekleştirilir.




**Şekil 1. 13. Sıvı oksidasyon sisteminin kesit görünüşü [2]**

Oksidasyon işlemi (1)kuru oksijen, (2)sıvı oksijen veya (3)buhar oksijen ile yapılabilir. Şekil 1.13 sıvı oksidasyon sisteminin şemasını göstermektedir. Si pul bütün kirlerden temizlenir. Temizlenen pul kurulanır ve kuvars bir tüpe yüklenir. Daha sonra, istenilen sıcaklığa getirilen fırına yerleştirilir. Yüksek saflıkta oksijen, kaynama noktasının altında tutulan yüksek saflıkta su içeren bir kovaya girer. $O_2$ su buharı ile doyuma gider ve fırının çıkışından dışarı atılır. Bu gaz karışımı aşağıdaki kimyasal reaksiyon ile Si yüzeyini oksitler.

$$Si+O_2 \Rightarrow SiO_2 \quad (1.9)$$

$$Si+2H_2O \Rightarrow SiO_2+2H_2 \quad (1.10)$$

Kuru oksidasyonda, kova kullanılmaz ve $O_2$ direk olarak kuvars tüpten geçirilir. Buhar oksidasyonunda, kova girişindeki $O_2$ bloke edilir. Kovadaki su kaynatılır. Oluşan buhar fırından geçer ve Si pulları oksitlenir.

Sıvı oksidasyon oranı, kuru oksidasyon oranından daha yüksektir. Bundan dolayı, sıvı oksidasyon metodu 1μm yi aşan kalın $SiO_2$ tabakaları için daha uygundur. Buna rağmen, kuru oksidasyondaki oksitleme daha yoğundur, daha az kusurlu yapılara sahiptir ve daha düşük yoğunlukta arafaza sahiptir. Kuru oksitleme ile ince bir tabaka oluşturulduktan sonra sıvı oksidasyon işlemi gerçekleştirilir. Ardından yine kuru oksidasyon işlemi gerçekleştirilir.

Si üzerine ilk $SiO_2$ tabakası, yüzeydeki Si atomları ile $O_2$nin reaksiyondan elde edilir. Bir $SiO_2$ tabakası elde edildikten sonra Si-$SiO_2$ arafazında ileri oksidasyon gerçekleşir. Arafazda Si atomları ile oksitleyiciler reaksiyona girerek ince $SiO_2$ tabakası oluşturmak için okside doğru yayılırlar Oksidasyon, Si-$SiO_2$ arafazındaki reaksiyon oranı ile sınırlandırılır. Bu durumda oksit kalınlığı zamanla değişir. Kalın oksidasyonda, oksidasyon reaksiyonu daha önce oluşturulan okside doğru yayılan oksitleyiciler ile sınırlandırılır.

#### 1.3.1.6.1.2 Kimyasal Buhardan Oluşturma

Bazı durumlarda $SiO_2$nin termal oksidasyonu mümkün değildir. Bu durumlara örnek olarak Si' dan başka bir gövde malzemesinin kullanılmasıdır. Termal oksidasyonun mümkün olmadığı durumlarda CVD tekniği önemli bir alternatiftir. Örneğin; $SiO_2$ tabakası 250-500°C sıcaklıkta $SiH_4$ ve $O_2$nin reaksiyonundan elde edilir.

$$SiH_4+ 2O_2 \Rightarrow SiO_2+2H_2O \quad (1.11)$$

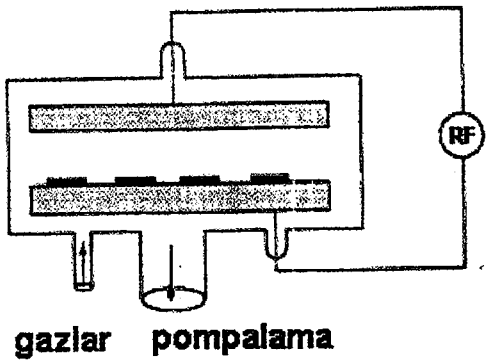
Reaksiyon Şekil 1.9 dekine benzer bir reaktör içinde gerçekleşir. $N_2$ veya Ar ile $O_2$ve 1% $SiH_4$ içeren bir gaz karışımı kullanılır. $SiO_2$ oluşum oranı, gövde sıcaklığı ve gaz akış oranına bağlı olarak değişir. Bu metot aynı zamanda $SiO_2$ tabakasının As, P ve B gibi katkılar ile oluşmasına da olanak verir. Katkılı oksit daha sonra difüzyon kaynağı olarak kullanılabilir.

Düşük sıcaklıklarda hazırlanan $SiO_2$ tabakası çok yoğun değildir, fakat yarım saat 900°C de tutularak yoğunlaştırılabilir. Yoğunlaştırıcı oksit tabakası 900-1100°C sıcaklıkta $SiH_4$ ve CO veya $CO_2$nin reaksiyonu ile elde edilir. Reaktörden geçen gaz $H_2$ veya $N_2$ ile $CO_2$ (veya CO) +1% $SiH_4$ ün karışımıdır. $CO_2$ ile ilgili kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir:

$$SiH_4 + 4CO_2 \Rightarrow SiO_2 + 2 H_2O + 4CO \quad (1.12)$$

### 1.3.1.6.1.3 Plazma CVD

Plazma ile elde edilen $SiO_2$ tabakası 400°C' den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Oluşturma işlemi Şekil 1.14' de görüldüğü gibi bir reaktörde gerçekleşir. $SiH_4$ ve $N_2O$ Ar içinde karıştırılır ve karışım reaktör odasından geçirilir.

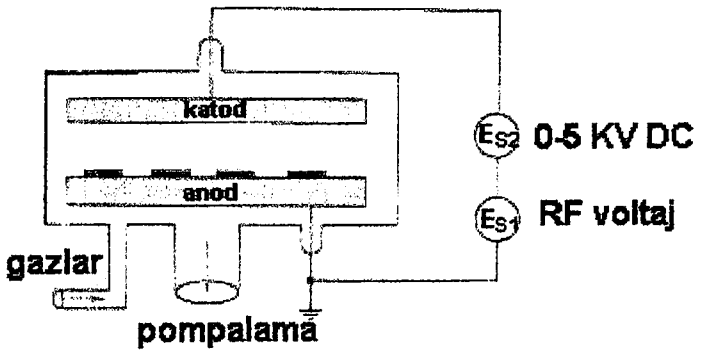



**Şekil 1. 14. Yatay plakalı plazma reaktör [2]**

Vakum bir pompa, odanın basıncını ve bir Ar –plazma oluşturan anot-katot arasına uygulanan RF voltajını düşürür. Bu plazmada, $SiO_2$ aşağıdaki reaksiyon ile gerçekleşir:

$$SiH_4 + 4N_2O \Rightarrow SiO_2 + 4N_2 + 2H_2O \quad (1.13)$$

DC saçılma:
Bu işlemde Ar gibi gazların deşarjı ile elde edilen iyonları bir potansiyel ile hızlandırılarak hedef bombalanır. Hedef yüzeyine yakın atomlar uçucu hale gelerek malzeme filminin oluşturulduğu ve yoğunlaştırıldığı gövdeye buhar olarak gönderilirler. Düzeneğin şematik diyagramı Şekil 1.15' de görülmektedir. Saçılacak malzeme katoda ve gövdeler şase potansiyelindeki anot üzerine yerleştirilir. Anot ve katot arasına 10MHzlik RF voltajı uygulanır. Plazmadaki elektronlar RF alanındaki Ar iyonlarından daha fazla mobiliteye sahiptirler. Bundan dolayı, elektronlar $SiO_2$ katoda doğru akarak daha fazla negatif yüklü olurlar. Ar iyonları katot hedefi bombalayarak $SiO_2$ gövde üzerine geçerler. Bu tabakalar çok yoğun olup değişik uygulamalarda izolasyon tabakası olarak kullanılabilirler. Tüm oluşturma, $Si\text{-}SiO_2$ arafaz problemli termal oksidasyondan daha iyi değildir.




**Şekil 1. 15. RF diyodlu saçılma düzeneği [2]**

#### 1.3.1.6.2 Silisyum Nitrat

$Si_3N_4$ (silisyum nitrat), $SiO_2$'nin tümleyeni olarak kullanılır. $Si_3N_4$ tabakası çok az açık yapısından dolayı, $SiO_2$ 'den yüksek mobiliteye sahip su, sodyum ve diğer katkılara göre daha az nüfusludur. Bundan dolayı, bu malzeme seçilen oksidasyon ve difüzyona karşı bir maske olarak kullanılmaktadır. Yine tozlara karşı son koruyucu olarak da kullanılır. $Si_3N_4$'ün dezavantajı, Si-$Si_3N_4$ arafazı Si-$SiO_2$ arafazından daha yoğundur.

$Si_3N_4$ tabakası, taşıyıcı gaz olarak $H_2$, $N_2$ veya Ar ile $SiH_4$ ve $NH_3$ içeren bir reaktörde ve CVD tekniği kullanılarak elde edilebilir. 700-1100°C de oluşan kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir:

$$3SiH_4 + 4NH_3 \Rightarrow Si_3N_4 + 12\,H_2 \quad \text{.....(1.14)}$$

Şekil 1.9'daki epitaksiyel reaktörü bu işlem için kullanılabilir.

#### 1.3.1.6.3 Polisilisyum Tabakası

Polisilisyum, (1)MOS elemanının kapı elektrotu, (2)küçük jonksiyon oluşturmak için difüzyon kaynağı, (3)yüksek değerli direnç malzemesi ve (4)bipolar teknolojisinin ara bağlantıları olarak kullanılır. Bu malzeme atmosfer basınçlı epitaksiyel reaktörde $SiH_4$'ün ısıtılmasıyla elde edilir. Kimyasal reaksiyon ve oluşumlar tek Si kristali yerine, oksit veya nitrat gibi kristalleşmeyen maddelerin gövde olarak kullanılması dışında epitaksi ile aynıdır. Si katkılı yarı izole polikristal oksijenin ince tabakası (Semi-Insulating Polycrystalline Oxygen doped Silicon: SIPOS) sık olarak jonksiyon pasifleştirmede kullanılır. Sandviçin üzerindeki potansiyel değişiklikleri önleyen p-n jonksiyonu SIPOS olarak kullanıldığında SIPOS tabakası $SiO_2$ tarafından çevrelenir. SIPOS filmleri yaklaşık 700°C' de $N_2O$ ve $SiH_4$'ün reaksiyonundan CVD tekniği kullanılarak oluşturulabilir. [2]

### 1.3.2 Monolitik Tümdevre Teknolojisi

Monolitik (monolithic) terimi Yunanca mono (tek) ve litos (taş) kelimelerinden türetilmiştir. Yani monolitik tümdevre, tek bir taş üzerine veya tek Si kristali üzerine inşa edilir. Tümdevre sözcüğü transistor, diyod, direnç, kondansatör veya bileşenlerinin tek bir varlık (gövde) üzerine inşa edildiğini gösterir. Dikkat edilirse bobin dahil edilmemiştir. Çünkü pratik bobin değerleri yarıiletken, IC ile elde edilemez. [5]

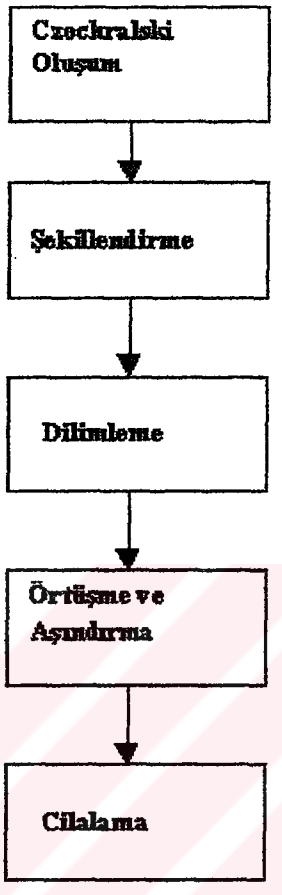
#### 1.3.2.1 Planar Teknoloji

Si malzemelerin büyük çoğunluğu planar (düzlemsel) prosesler kullanılarak üretilir. Bu proseste, katkı atomları başlangıç malzemesinde n- ve p- bölgelerini oluşturmak için pulun bir yüzeyinde seçilen Si bölgesine eklenir. Bu teknolojiye planar denmesinin nedeni malzeme üretim işleminin gövde düzleminin bir yüzeyinde gerçekleştirilmesidir. [2]

Planar teknolojisi sekiz ayrı işlemden meydana gelir: (1) kristal gövde oluşturma, (2)malzeme eklenmesi, (3)malzeme çıkarılması, (4)litografi, (5)arabağlantılar, (6)izolasyon, (7) metalizasyon ve (8)paketleme ve montaj. [4]

#### 1.3.2.1.1 Kristal Gövdenin Oluşturulması

Tümdevre üretiminde başlangıç malzemesi n- veya p- katkılı Si puldur. Pullar 4-6 inch çapında ve yaklaşık 600μm kalınlığındadır. Gelecekte 8 inch çapında olabilecektir. Birçok IC üretici, pul üreticilerden pul alırken seçme şansına sahiptir. Şekil 1.16, Si pul üretilirken gerekli ana adımları göstermektedir.




**Şekil 1. 16. Pul hazırlama [6]**

Birinci adımda, Czochralski oluşum gerçekleştirilir. Si külçeleri, Czochralski çekici aleti kullanılarak ve sıvı fazdaki atomların katkılaştırılması ile üretilir. Bu cihazda Si kristali, eriyik Si içeren kuvars potadan döndürülerek çekilir. Bu işlemin önemli iki parametresi dönme hızı ve çekme oranıdır. Kristalin çapı çekme oranının bir fonksiyonudur. Cihaz tarafından üretilen külçe 3m boyunda olabilir. Külçe oluşturulurken çekme oranındaki değişmeler külçenin çapında farklılıklara neden olur. İkinci adımın amacı, torna tipi yüzey bileyici kullanarak külçenin tek bir çap için şekillendirilmesidir. Üçüncü adımda, külçe pullar dilimlenir. Yüzey hasarından ve kirliliğinden bağımsız olan pul istenilen pul kalınlığı için kimyasal aşındırma ve örtüşme işlemine tabi tutulur. Son olarak pulun yumuşak yüzeye sahip oluşmasını sağlayan için cilalama işlemi gerçekleştirilir. [6]

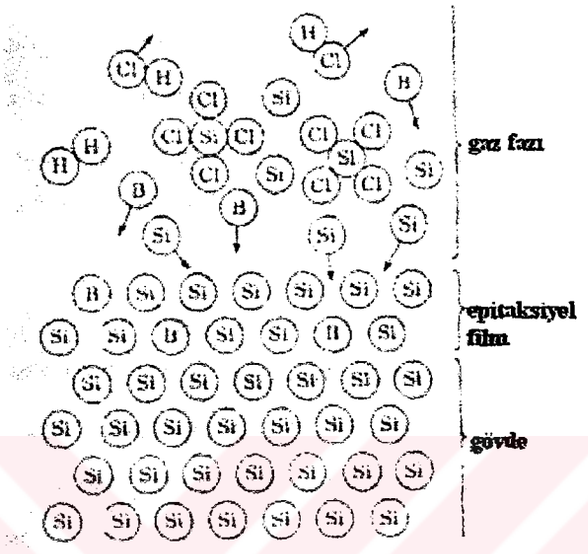
#### 1.3.2.1.2 Malzeme eklenmesi

Malzeme eklenmesi; epitaksiyel oluşum, oksidasyon, difüzyon ve iyon implantasyon teknikleri ile gerçekleştirilir.

### 1.3.2.1.2.1 Epitaksiyel Oluşum

Epitaksi kelimesi, Yunanca tabaka anlamına gelen epi(epi) ve sıralı anlamına gelen taksi(taxis) kelimelerinden oluşur. IC fabrikasyonunda ise aynı malzemeden olan kristal pulun bir uzantısı olarak, tek bir Si kristal tabakasının oluşturulması işlemine verilen addır.

Epitaksi işlemi, aynı malzemeden olan kristal pul üzerine ince film tek Si kristali oluşturulmasıdır. Epitaksiyel tabakası n-tipi veya p-tipi olabilir. B katkı atomlarının sıkıştırılması ile oluşan epitaksiyel film Şekil 1.17' de görülmektedir.

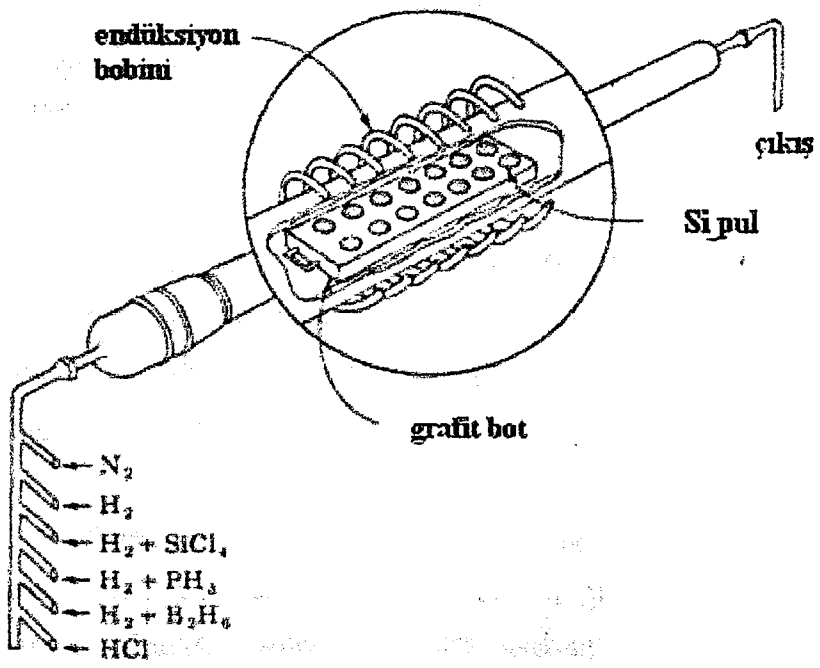



**Şekil 1. 17. Epitaksiyel film oluşumu [4]**

Saf Si' un epitaksiyel oluşumunu tarif etmek için kullanılan temel kimyasal reaksiyon $SiCl_4$ ile $H_2$ reaksiyonudur:

$$SiCl_4 + 2H_2 \overset{(1200°C)}{\Leftrightarrow} Si + 4HCl \quad (1.15)$$

Özel katkı yoğunluklu epitaksiyel filmler (ince tabakalar) gerekli olduğunda, $SiCl_4$ -$H_2$ gazına p-tipi için $B_2H_6$ veya n-tipi için $PH_3$ eklemek gereklidir. Epitaksiyel tabakanın oluşumu için gerekli bir cihaz Şekil 1.18' de görülmektedir. Bu sistemde uzun ve silindirik kuvars tüp RF bobinleri tarafından çevrelenmiştir. Si pullar bot olarak adlandırılan dikdörtgen bir grafit üzerine yerleştirilir. Bot reaksiyon odasına sokulur. Grafit bobinlerde 1200°C ye kadar ısıtılır. Reaksiyon odasının kontrollü girişinden uygun epitaksiyel tabakasının oluşması için gerekli gazlar verilir. Böylece istenilen p-tipi veya n-tipi malzeme üretilebilir.




**Şekil 1. 18. Si epitaksiyel film oluşturma sistemi [4]**

### 1.3.2.1.2.2 Oksidasyon

Si teknolojisinin temel üstünlüğü, Si yüzeyinde bir oksit tabakasının oluşmasına izin vermesidir. [4] Oksidasyon, ısı ile $SiO_2$ üretmektir. Oksidasyon Si teknolojisinde bir çok kullanıma sahiptir ve IC fabrikasyonunda anahtar bir işlemdir.

$SiO_2$ aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Yüzey izolasyonu sağlar.
- Gövde üzerine katkı ekilmesine veya difüzyona karşı maskeleme yapan bir engeldir.
- Transistorları diğer elemanlardan izole eder. Bipolar ve MOS transistorlara uygulanır. (Pasif elemanlara da uygulanabilir.)
- MOSFET' in kapı oksidi olarak kullanılır.
- Kırmık izolesi ve çok seviyeli bağlantılı tabakalar arasında dielektrik izolasyon görevi yapar (Aynı bileşimde diğer dielektrikler de bu amaç için kullanılabilir.).

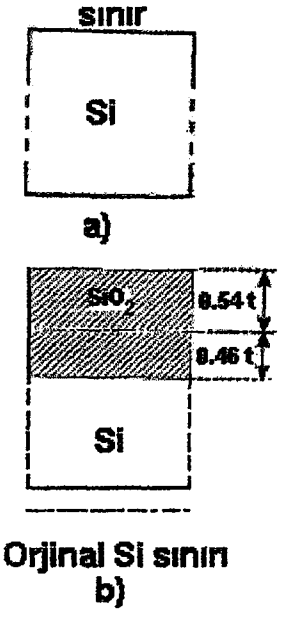
Oksit oluşturmada çeşitli teknikler kullanılır. Bu bölümde ıslak ve kuru termal oksidasyon incelecektir. Bu oluşumlar için kimyasal reaksiyonlar şunlardır:

$$Si+O_2 \Rightarrow SiO_2 \quad (1.16)$$

$$Si+2H_2O \Rightarrow SiO_2 +2H_2 \quad (1.17)$$

Kuru oksidasyonda Si ile $O_2$nin, ıslak oksidasyonda ise Si ile su buharının reaksiyonu söz konusudur. Her iki durumda oksidasyon işlemi Si yüzeyinde gerçekleşir. Termal oluşum Si ve oksijen üzerinde gerçekleşir ve oksitten Si-$SiO_2$ sınırına doğru yayılır. Oluşum tamamlandıktan sonra, oksidin 46% sı (tam değer işleme bağlıdır ve 44-46% arasında değişir) orijinal gövdenin içindedir ve Şekil 1.19' da görüldüğü gibi 54% ü gövde üzerindedir. Si sınırı

orijinal pozisyonundan aşağıdadır. Fırının sıcaklığı 950-1250°C ve ±1/2°C toleransla sabit tutulur. Oluşum zamanı, basıncı ve oksijen gazı konsantrasyonu çok iyi kontrol edilir. Oksit tabakası, derinlik ve bileşimde son derece doğrusaldır. [3]




**Şekil 1. 19. Termal oksit formasyonu (a)formasyondan**

**önce (b)formasyondan sonra [3]**

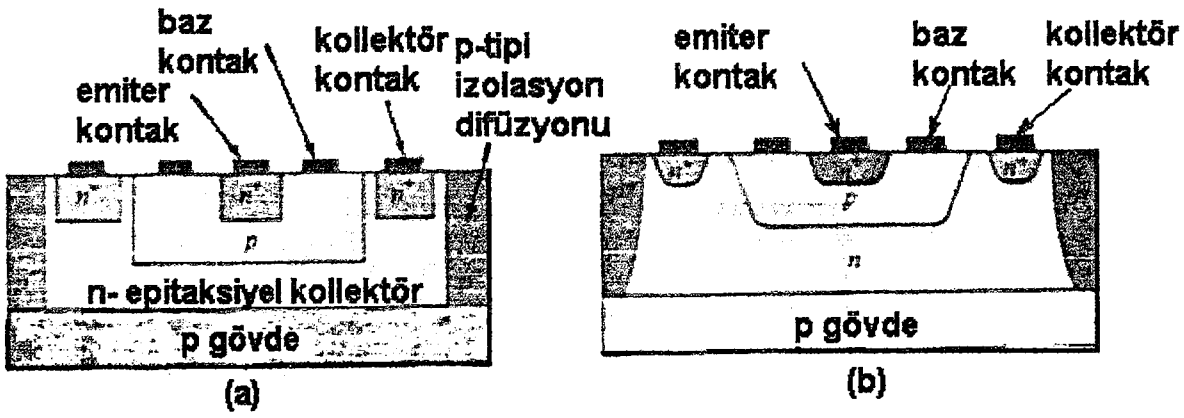
Oksit tabakasının kalınlığı genel olarak 0.02-2μm seviyelerindedir. Kesin değer, katkı maddelerinin nüfuzunu engellemek için gereken engele göre seçilir. İşlem sıcaklığı, katkı konsantrasyonu ve işlem zamanı gibi bir çok faktör $SiO_2$ tabakasının kalınlığını belirler.

Üstün maskeleme özelliğinden dolayı, $Si_3N_4$ sık olarak bir izole tabakası olarak kullanılır. $Si_3N_4$ün genel kullanımı, iki $SiO_2$ tabakası arasında sandviçlimedir. $Si_3N_4$ (özellikle MOS elemanlarında), ince $SiO_2$ tabakasına katkı maddelerinin nüfuzunu önleyen bir engel oluşturur. Dış $SiO_2$ tabakası, "**kimyasal buhardan oluşturma**" tekniği ile elde edilir ve kırmığı çevreleyerek diğer hasarlardan tamamen korur. [4]

### 1.3.2.1.2.3 Difüzyon

Tarihsel olarak planar işleminde katkı maddelerinin Si üzerine difüzyonu temel adımdır. Tümdevre teknolojisinden önce bu metot transistorları üretmek için kullanılmıştır. Kontrollü katkı yoğunluğu, 1-2 saat boyunca ve yaklaşık 1000°C' de bir difüzyon fırını ile sağlanır. Difüzyon fırını, genellikle 20 pul içeren kuvars bir tüp içindedir. Fırının sıcak bölgeleri boyunca doğrusal yapı elde etmek için sıcaklık çok dikkatli kontrol edilmelidir. Katkı kaynakları gaz, sıvı ve katı olabilir. Fırındaki Si yüzeyi ile katkı etkileşimi sağlanır. Gaz katkıları genellikle As, P ve $BH_4$ tür. Durgun gaz (N), Si' a yayılarak katkı atomlarını pul yüzeyine taşır.

Basitçe kesit diyagramı dikey difüzyon kenarı için Şekil 1.20a. da görülmektedir. Buna rağmen, $SiO_2$ 'ye bir pencere açıldığında ve katkılar eklendiğinde, dikey olarak yayıldıkları gibi yatay olarak da aynı mesafede yayılırlar. Katkı, izole oksit yüzeyi tabakasının altına yayıldığından jonksiyon Şekil 1.20.b' de görüldüğü gibi gerçeğe uygun olarak çizilebilir. [4]




**Şekil 1. 20. IC transistor yapısı (a) ideal (b) gerçek [4]**

B, standart olarak tercih edilen p-katkısı, At (Antimony), As ve P n-katkı maddeleridir. Düşük difüzyonun gölgeli tabaka oluşturmasından dolayı As, n+ kaynak-akaç ve n+ emiter difüzyonunda tercih edilir. Katı katkılar ve taşıyıcı gazlar ($N_2$ veya $O_2$), toz halinde katkı içeren difüzyon tüpü içerisindeki Pt (Platinyum) bir kaynak bottan geçirilir. Sıvı katkılarda, gaz ısıtılan bir kaptaki sıvı kaynağından geçirilir ve katkı halinde fırına yeniden girer. Son olarak gaz katkıları direk olarak fırına konur. Gaz difüzyonu basit bir işlemdir, fakat kimyasal kararlılığa sahiptir ve zehirleyici etkisi vardır.

Difüzyon işlemi sadece kristal Si üzerine katkı eklenmesinde kullanılmaz. Aynı zamanda polisisyum katkılamada da önemli bir işlemdir. VLSI tekniğinde, implantasyon işlemi difüzyon işlemine tercih edilir. [3]

### 1.3.2.1.2.4 İyon İmplantasyonu

Katkı maddeleri eklemenin diğer yolu iyon implantasyonudur. Vakum içerisinde uygun iyonların bir huzmesi (B; p-tipi için ve P; n-tipi için) 30-200keV arasında enerji ile hızlandırılır. Bu iyonların nüfus derinliği, hızlandırma enerjisi ve huzme akımı katkı iyonların konsantrasyonu ile belirlenir. Bu işlem, BJT' ün emiter bölgesi, MOSFET kanalı ve JFET' ün kapı bölgesi gibi ince katkı Si tabakasının gerekli olduğu yerlerde sık olarak kullanılır. Böyle dar bölgeler için iyon implantasyonu, difüzyondan daha hızlı katkı konsantrasyon kontrolü sağlar.

$SiO_2$ izolasyon tabakası ekili iyonlara karşı etkili bir engel oluşturur. Bundan dolayı, sadece fotolitografik olarak tanımlanan bölgeler katkılanır. İyon implantasyonunun ikinci avantajı, düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesidir. Bundan dolayı, daha önce ekilen bölgeler yatay dağılmaya az bir eğilim gösterirler. [4]

Difüzyon prosesinde iyon implantasyonu, katkı atomlarının eklenmesinde kullanılan en genel yöntemdir. İyon implantasyonu katkı atomlarını düşük sıcaklıkta iyi kontrol eder ($10^{14}$ -$10^{21}$ atom /$cm^3$ ). Yaklaşık olarak, 750.000 $(ABD) değerindeki iyon implantasyonu sistemi, katkı maddelerinin iyonlarını yüksek enerjili elektrik alanı (500keV) ile hızlandırır ve iyonlar pul yüzeyinin altına en fazla yaklaşık olarak 1-2 μm (10.000-20.000 °A) derinliğe nüfuz edecek derecede yeterli enerjiye sahip olurlar. Sadece sığ ekme derinliği gereken yerlerde, iyon implantasyon adımı, katkı atomlarının bombardımanı tarafından bozulan kristal yapının tamir edilmesi için bir ısıtma adımı tarafından izlenir. Eğer yumuşatma sıcaklığı yeterli büyüklük ve

uzunlukta ise difüzyon olayı gerçekleşir. Bundan dolayı, iyon implantasyonu tarafından gerçekleştirilen sığ ekme işlemini, düşük dereceli yumuşatma adımı ve derin ekme takip eder. Derin ekme(>1-2μm ) işlemi iyon implantasyonu ile gerçekleştirilir ve katkı atomlarını gövdenin daha derinlerine süren yüksek sıcaklık ve uzun zaman gerektirir. [6]

İyon implantasyonu işleminin diğer bir özelliği de hızlandırma potansiyelinin ve huzme akımının, ekilmenin olduğu cihazın dışından elektrikle kontrol edilebilmesidir. Karşılaştırma olarak difüzyon sıcaklığı fırın içindeki büyük bir bölgede kontrol edilmelidir. Bütün bu avantajlar iyon implantasyonunu IC fabrikasyonunda ana işlem yapmıştır. [4]

İyon implantasyonunun difüzyondan üstün özellikleri şunlardır:

- Etkin bölgedeki katkı konsantrasyonu tipik olarak 1 % olup çok doğrusaldır.
- Yatay yayılma çok küçüktür.
- Tabaka gövde üzerinde herhangi bir yerde oluşturulabilir.

#### 1.3.2.1.3 Malzeme Çıkarılması

Malzeme çıkarılması; direnç işlemi, aşındırma ve maskeleme teknikleri ile gerçekleştirilir.

##### 1.3.2.1.3.1 Direnç İşlemi

Elektrot formasyonu için gerekli pencere açma işlemi aşağıda açıklanmıştır. Direnç pul üzerine uygulanır. Fırınlanmadan önce ısıtılır ve ışık huzmesine tabi tutulur. Maske modeline bağlı olarak şekillendirilir. Sonra direnç geliştirilir. Geriye kalan parça alttaki tabakayı korur veya diğer kısımlar ışığa tabi tutulur. Daha sonra direnç fırın öncesine benzer şekilde fırınlama sonrasına geçirilir. Son adım ise oluşan tabakaların aşındırılmasıdır ($O_2$ ,$SiN_4$ veya poli Si).

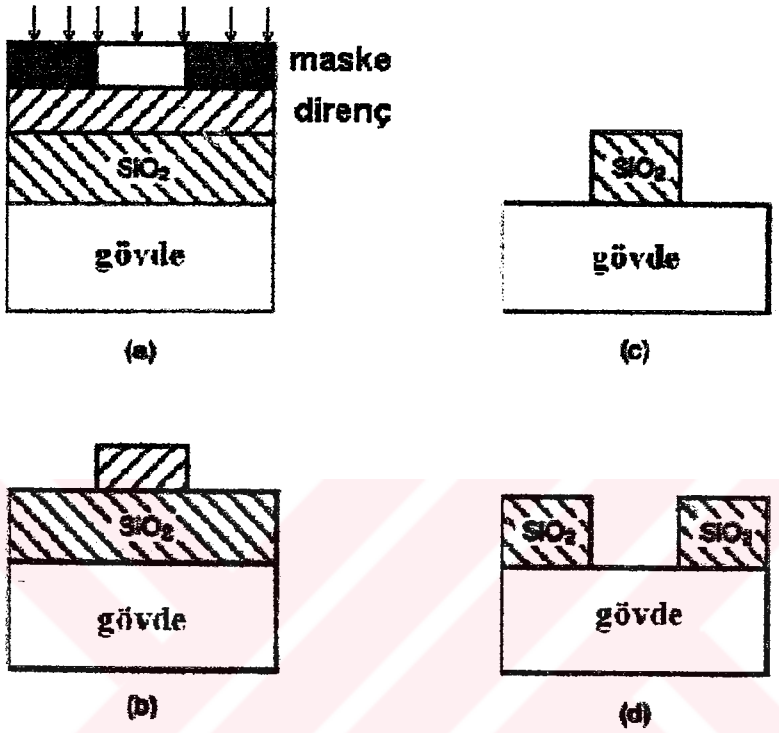
Pul yüzeyi önce direnç destekleyici ile kaplanarak aşındırılmak için hazırlanır ve temizlenir. Bu metotta, destekleyici dönen boyayıcı ile elde edilir ve sıvı formdadır. Pul bir vakumda tutulur ve yüksek hızda döndürülür. Bir kaç bin rpm hız ve bir dakika dönme ile yüksek derecede doğrusal kalınlık elde edilir. Kalınlık, t , aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$t = k/(rpm)^{(1/2)} \quad \text{.....(1.18)}$$

k: sabit direnç bileşimi ile akışkanlığının bir fonksiyonu, rpm:hız
Pulun yumuşak fırınlanması , 85-95°C sıcaklıkta 10-30 dakika ısıtılmasıdır ve iki amaca hizmet eder: (1)direncin pul üzerine yapışması için baskı yapar ve (2)çözücüyü çıkararak direncin ışığa duyarlı olmasını sağlar.

Direnç iki sınıfa ayrılır: (1)Negatif direnç ve (2)pozitif direnç. Aynı sınıflandırma elektron huzmesine ve X-ışınları dirençlerine de uygulanır. Fotodirenç (geleneksel fotoğrafçılıktaki filmler gibi) ışık ile çözünürlüğü etkilenen kimyasal bileşiklerdir. Negatif fotodirenç polimer, algılayıcı ve çözücüden oluşur. Işık ile polimerleşir ve bu bölüm sertleştirilir. Çözücü istenilmeyen direnç bölgelerini çıkarır. (Şekil 1.21.c) Pozitif direnç reçine, çözücü ve fotoaktif bileşikten oluşur. Fotoaktif bileşik, direncin çözünebilir ve çıkarılabilmesi için kimyasal olarak ışığa açık bölgeleri ayrıştırır. Sonra, ışığa tutulur ve pencere tanımlanır. Negatif fotodirençten sonra uygulanan pozitif fotodirenç işlemi aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilmektedir:

- Negatif direncin ışığa tutulan bölümleri gelişme sırasında kabarır. Oluşan distorsiyon, çözünürlüğü direnç kalınlığının en fazla 2 veya 3 katı yapar. Bu etki pozitif dirençte yoktur.
- Negatif direnç düşük kontrasta sahiptir ve kontrast çözünürlüğü belirlemede önemli bir parametredir. Kontrast arttıkça, kenar ve model çözünürlüğü de artar.
- Kısa ışığa tutma süresi önemli bir özelliktir. Işığa tutma süresi ışık kaynağı yoğunluğuna bağlı olarak değiştirilebilir (Işık yoğunluğu, ışığa tutma (pozlandırma) süresinin yaklaşık sabit değeri ile yüksek yoğunluklar oranı çarpımı olan direnç ile belirlenir.).




**Şekil 1. 21 Pencere profilleri (a) pozlandırma (b)gelişimden sonra-negatif direnç (c)aşındırmadan sonra negatif direnç (d)aşındırmadan sonra-pozitif direnç [3]**

Negatif dirençten farklı olarak pozitif direnç yeterli karşıtlığa sahiptir. En çok kullanılan pozitif direnç örnekleri Shipley 1350J, MP-2400 ve HPR 206 dır.
Direnç üzerindeki görüntü, hassasiyetle pozlandırma optimizasyonuna bağlı olarak geliştirilen bir model içine kopya edilir. Ana faktörler; direnç bileşenleri ile kalınlığı, yumuşak fırınlama koşulları, çizgi genişliği gerekleri ile toleransları ve geliştiricinin bileşenidir. Bir diğer geçerli nokta ise aşındırma işleminin bu durumda gerçekleştirilecek olmasıdır. Aşındırma işlemi gelişimden sonra olmasına rağmen, pozlandırma optimizasyonuna dayanmaktadır.

Aşındırma işleminden önceki son adım "**son fırınlama**"dır. Tipik olarak, 120°C de 30 dakika bekletilmelidir. Amacı; direncin kenar direncini artırmak, tabaka altındaki bağı kuvvetlendirmek ve kalan çözeltileri çıkarmaktır. [3]

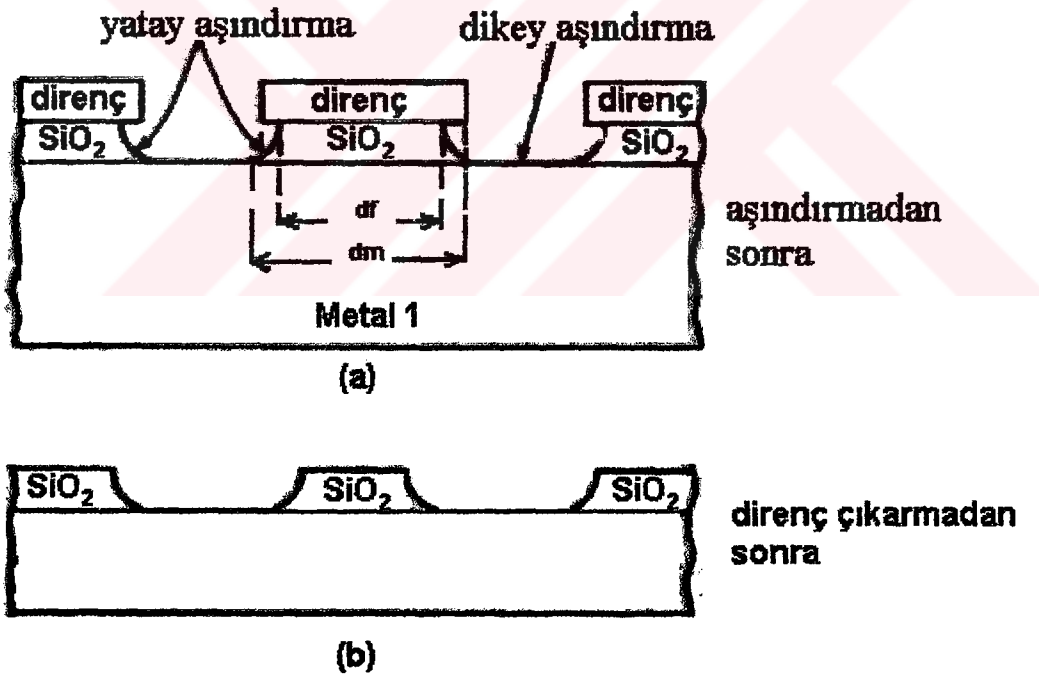
### 1.3.2.1.3.2 Aşındırma

Aşındırma teknikleri istenilmeyen dielektrik ve metalik tabakaların seçilerek çıkarılmasını sağlar. Şu teknikler kullanılır: (1) ıslak kimyasal aşındırma, (2) kuru aşındırma(plazma aşındırma), (3) elektromekanik aşındırma, (4) saçılma aşındırma ve (5) reaktif iyon aşındırma.

Sıvı aşındırma:
Islak (sıvı) kimyasal aşındırma, $SiO_2$'li ve $Si_3N_4$'lü yüzeyden seçilen bölgelerin çıkarılmasında kullanılan en yaygın tekniktir. Farklı malzemelerin seçilen aşındırma için sayısız çözümleri vardır. Örneğin; $SiO_2$, HF+ $NH_4F$ ile ve $Si_3N_4$, sıcak $H_3PO_4$ ile aşındırılırken Al hem $H_3PO_4$ ve $HNO_3$ ile hem de asetik asit ile aşındırılır. Aşındırmada kullanılan genel yöntem, belirlenen sıcaklıkta pulu aşındırma çözeltisine daldırmaktır. Aşındırma süresi çözeltinin aşındırma oranı ile belirlenir.

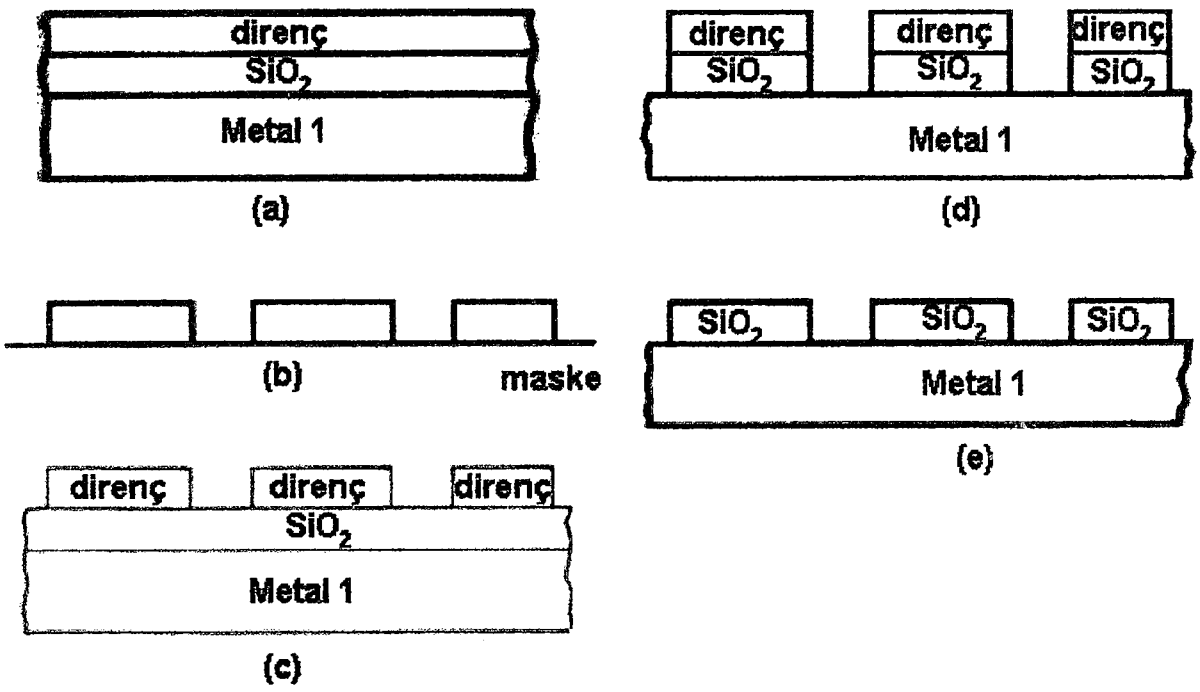
Islak aşındırmada şu genel problemler vardır: Alttan kesme, fotodirenç kaldırma ve sınır boyunca ilerleyen aşındırma. Alttan kesme işleminin kontrol edilmesi çok zordur. Bu nedenle, çapı 2.5μm' den büyük cihazlarda bu tekniğin uygulanması imkansızdır. [2]

Şekil 1.22, alttan kesme olayını göstermektedir. Şekilde alttan kesmede direnç maskesi altındaki $SiO_2$ 'in aşındırılması görülmektedir. Bu olay aşındırma asidinin $SiO_2$' 'yi hem dikey hem de yatay yönlerde çözmesi ile gerçekleşir. Alttan kesme miktarının ölçüsü "**aşındırma meyli**" olarak adlandırılır. Meyil df-dm Şekil 1.22' de gösterilmektedir.




**Şekil 1. 22. Sıvı aşındırmadan sonra oluşan alttan kesme**

**(a)aşındırmadan sonra (b)direnç çıkarmadan sonra [6]**




**Şekil 1. 23. Litografi ve aşındırma ile malzeme çıkarma (a) başlangıç (b) maske (c)litografiden sonra (d)aşındırmadan sonra (e)direnç çıkarmadan sonra [6]**

İzotropik ve anizotropik aşındırma anizotropi derecesinin alt ve üst sınırını tarif etmek için kullanılır. Af ile formülü edilir.

$$Af = 1 - Vl/Vv \quad (1.19)$$

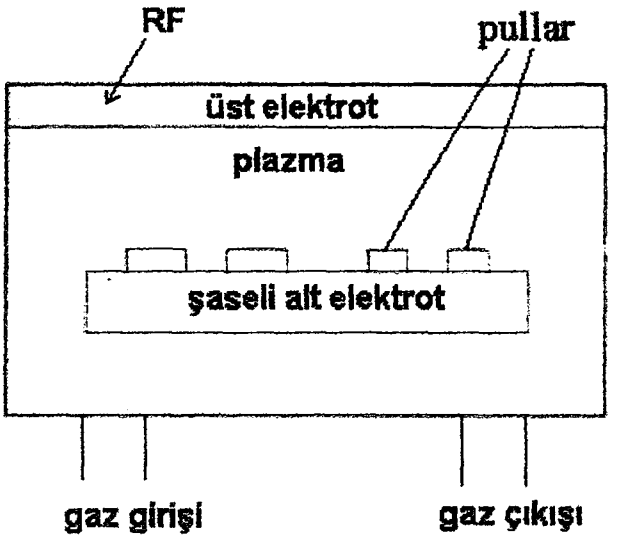
Vl: yatay kenar oranı
Vv: dikey kenar oranı

Vl=Vv ise Af=0 olur. Bu durum "**izotropik aşındırma**" olarak tanımlanır ve Şekil 1.22.a' da gösterilmiştir. Tüm ıslak aşındırma işleminde alttan kesme olayı gerçekleştiğinden, ıslak aşındırma izotropik aşındırma işlemi olarak sınıflandırılır.

Vl=0 veya Vv ye göre çok küçük ise anizotropik olarak adlandırılır. Şekil 1.23.e' de görüldüğü gibi oldukça dik bir duvar aşındırma şekli oluşturur. Kuru aşındırma çok düzgün duvar aşındırma oluşturur ve en az 2μm büyüklüğünde IC üretmede önemlidir.

Kuru Aşındırma (Plazma Aşındırma):
Kuru aşındırma tekniği, iyon ve atomlardan oluşan durgun gazın formasyonudur. Sadece hedef malzeme aşındırılır ve reaksiyon odasından atılacak bir gaz oluşturulabilir. Bu olayı anlamak için gazın tüpe konulduğunda ve tüpün sonundaki terminaller arasına yüksek voltaj uygulandığında neler olduğunu anlamak gerekir. Bu koşullar altında oluşan plazma parlaması, iyonize olmayan molekül ile eşit sayıda pozitif ve negatif yük içeren kısmen iyonize olmuş gazlardan oluşur. Si 'un kuru aşındırılmasında ($F_4$ gibi durgun gazlar yüksek sıcaklıkta Si ile reaksiyona girmez) Si ile F atomları $SiF_4$ gazını oluşturur ve F atomları durgun gaz olarak kullanılarak bir deşarj parlaması oluşturulur.

Benzer yapıda çeşitli cihazlar kuru aşındırma için geliştirilmiştir. Bu cihazlardan biri, pulların yatay olarak alt elektrotunun üzerine yerleştirildiği paralel plakalı plazma aşındırma sistemidir. Şekil 1.24 de görüldüğü gibi, üst elektrot RF ile uyarılmaktadır. Bu tipte oluşan plazma aşındırma Şekil 1.23.e de görüldüğü gibi çok dik duvar şeklindedir. [6]




**Şekil 1. 24. Paralel plakalı plazma aşındırma sistemi [6]**

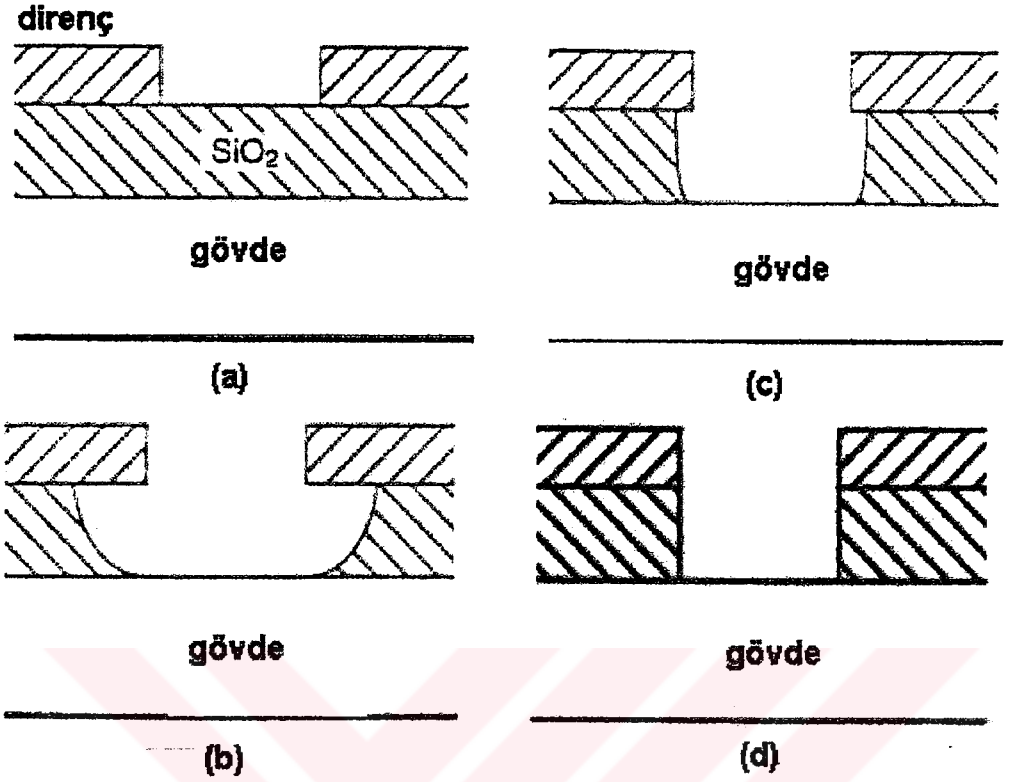
Plazma aşındırma ıslak aşındırmaya göre bir kaç avantaja sahiptir: Fotodirenç üzerine yapılan etkiler yavaş, az alttan kesme ve model tanımı daha iyidir. Buna rağmen, toleransı azaltmak için sıcaklığın çok iyi kontrol edilmesi gerekir.

Elektromekanik Aşındırma:
Elektromekanik aşındırmada aşındırıcı ile aşındırılacak malzeme arasına bir voltaj uygulanır. Aşındırma kontrollü bir oranda gerçekleşir. Oluşan problemler sıvı aşındırma problemleri ile aynıdır.

Saçılma Aşındırma:
Saçılma aşındırma, iyon implantasyonu bombardımanı ile malzemenin çıkarılmasını içerir. Aşındırılacak malzeme katot olur ve Ar iyonları kullanılır. Şekil 1.15' deki gibi bir düzenek kurulur. İyonlar yüzeye dik sayılabilecek şekilde çarptıklarından alttan kesme olayı oluşmaz. Böylece küçük genişlik ve ayırımlarda saçılma aşındırma tekniği kullanışlı hale gelir. Bu teknikte oluşan problemler ise fotodirenç aşındırmanın olabilmesi ve fotodirenç kenarları boyunca saçılan malzemenin yeniden çökebilmesidir. İyonlardan oluşan radyasyonun $SiO_2$ ye zarar vermesi yarıiletkenler için ana dezavantajdır. Çünkü bu hasar ısıtma ile her zaman çıkarılmayabilir.

Reaktif İyon Aşındırma:
Reaktif iyon aşındırma, saçılma aşındırma ve plazma aşındırma tekniğinin birleşmesidir. Burada aşındırma, bir plazma reaktörde iki paralel plaka arasında gerçekleştirilir ve aşındırılacak pul bu plakalar arasındaki elektrik alanında tutulur. Bundan dolayı, aşındırma işleminin bir kısmı reaktif gazların kısımları ve malzemenin kimyasal reaksiyonu ile ve bir kısmı da iyon bombardımanı ve malzemenin çıkarılması ile gerçekleşir. Reaktördeki gaz basıncı ve örneğin geometrisi aşındırma oranını etkiler. Bu oran alttan kesme saçılma aşındırmada olduğu gibi çok küçük olabilir, fakat $SiO_2$ içinde radyasyon hasarı oluşabilir. [2]

Aşındırma, aynı zamanda değişik maske seviyeleri arasındaki bağlantıyı kurar. Ana gereksinim hassas nüfuzdur. Yani, aşındırmanın çıkarılması, maskeleme direncinin en az oranda çıkarılması ve yüksek verim demektir.




**Şekil 1. 25. İzotropik ve anizotropik profiller (a)aşındırmadan önce (b)izotroik aşındırma (c)anizotropik aşındırmaya yakın (d)ideal anizotropik aşındırma [3]**

Sıvı aşındırma Şekil 1.25.b' de görüldüğü gibi hem dikey hem de yatay olarak nüfuz eder. Yine, Şekil 1.25' de izotropik ve anizotropik yapılar görülmektedir. [3]

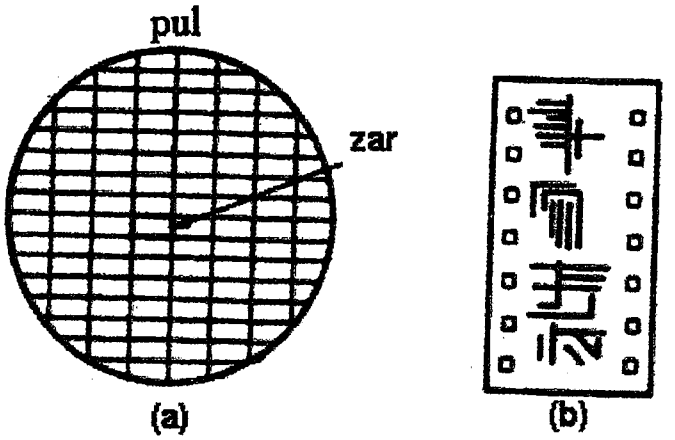
### 1.3.2.1.3.3 Maskeleme

Pul üzerinde belirlenen yerlere malzeme eklenmesi ve çıkarılması model ile gerçekleştirilir. Kullanılan modele "**maske**" denir. Modelin pula aktarılması işlemine de "**litografi**" denir.

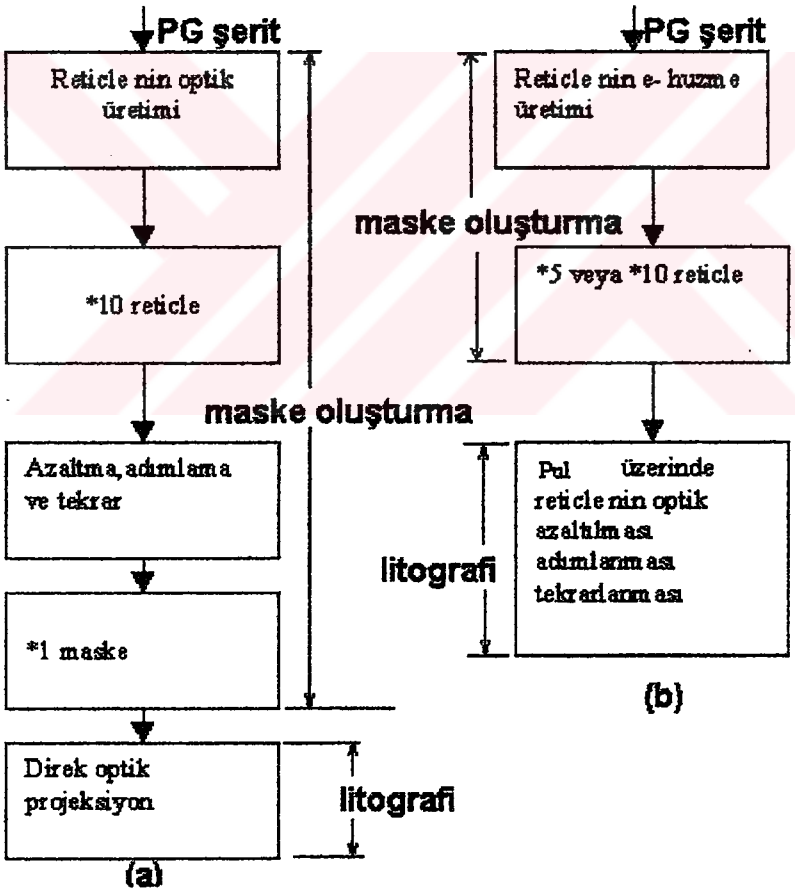
Tümdevre fabrikasyonunda, aynı anda bir çok pul tek bir pulun kopyası ile üretilebilir. Bir kerede işlenen pul sayısına "**lot büyüklüğü**" denir ve bir lotta 20-200 arasında pul olabilir. Pul başına düşen IC sayısı, IC büyüklüğünün ve pulun çapının bir fonksiyonudur. Her bir zar kare ve pul dairesi olduğundan, pul başına düşen parça sayısı bir daire içerisine uyan kare sayısıdır. Bu sayı aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

Parça sayısı=$(\pi r^2/A)-1.77(D/\sqrt{A}$ .....(1.20)

D:pulun çapı
A:parça alanı
r:pulun yarı çapı




**Şekil 1. 26. (a)Tüm pul maskesi:*1 maske (b)tek zar maskesi:*5 veya *10 zar modeli [6]**




**Şekil 1. 27. Maske oluşturma (a)tüm pul optik projeksiyon litografi (b)DSW litografi [6]**

Litografide kullanılan cihazın tipine bağlı olarak üretilecek maske, pul üzerindeki her bir parça yerleşimi için bir parça modeli içerir veya Şekil 1.26.a ve b' de sırayla gösterildiği gibi

büyütülerek (*5 veya *10) sadece bir parça modelini içerir. Maskeleme işlemine iki genel yaklaşım Şekil 1.27' de gösterilmektedir. Model Jeneratör (Pattern Generator:PG) şeriti her iki yaklaşımda giriş olarak kullanılır. CAD (Computer Aided Design: CAD) programı ile PG şerit, ışığa duyarlı cam plaka üzerine modeli yazmak için kullanılan elektron huzmesini veya ışık kaynağını kontrol etmek için gerekli sayısal bilgileri içerir. Şekil 1.27.a' da 10 kat büyütülen tek bir parça için bir model tasarlanır. Bu parça, ışık ile 15 kat büyütülür ve görsel kontrol için gerekli 150 kat büyüme sağlanır. Şekil 1.27.a' da gösterilen *1 boyutundaki maske, ikinci ışığa duyarlı plaka projeksiyon ve optik indirgeme ile 10 kat büyütülen parçadan elde edilir. Aynı model bütün parça yerleşimleri için tekrarlanır. Cam plaka daha sonra *1 maske olarak geliştirilir ve pulun çok yakınına yerleştirilir. Litografik işlem sırasında, optik olarak dirençle kaplı pul üzerine yerleştirilir . İkinci yaklaşımda, Şekil 1.27.b' de görüldüğü gibi 10 kat büyütülmüş (10 reticle) parça, sonraki litografi için maske olarak kullanılır. Bu durumda, parça direk olarak pul üzerine (Direct Step on Wafer, DSW) optik yolla indirgenir ve adımlanır . Küçük geometrilerde (2μm) bir çok üretici *5 ve *10 büyütülmüş parçaları ve DSW litografiyi tercih ederler. Maskenin boyutu *1 maskeden daha büyük olduğundan dolayı yapımı daha kolaydır. [6]

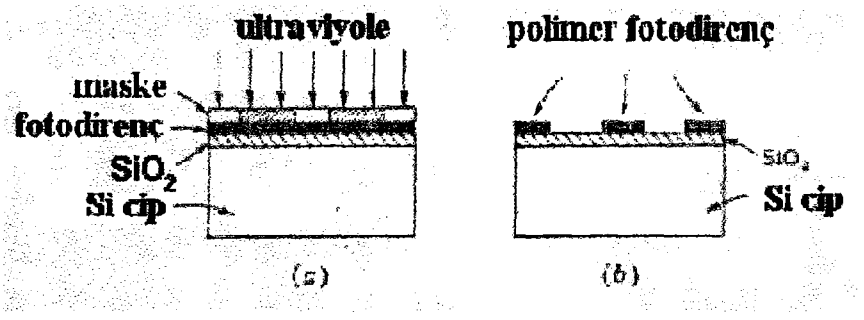
Fotomaskeleme işlemi iki alana bölünür: (1)Görüntüsü Si pul üzerine transfer edilecek mask oluşturma ve (2)görüntünün maskeden pul üzerine transfer edilmesi.

Yarıiletken üretim teknolojisinin ilk günlerinde devreler çok basitti ve maske modeli insanlar tarafından çiziliyordu. Çizimler genellikle çift tabakalı yapraktan (rubylith) hazırlanır (üst tabaka kırmızı, alt tabaka beyaz). Kırmızı tabaka jilet bıçağı ile istenilen şekilde kesilebilir. Bu model gerçek maske büyüklüğünün 100-1000 katıdır ve litografik kamera kullanılarak uygun büyüklüğe indirgenebilir.

Bugün tümdevrelerde maskeleme işlemi, bilgisayar kontrollü çizim tabloları ve diğer cihazlar ile otomatikleştirilmiştir. Her iki durumda devre modellerinin kopyaları esas büyüklüğünün 10 katına indirgenir. Son maske, azaltma faktörü 10 olan adım ve tekrar kamerası kullanılarak 10 kat büyük plakadan yapılır. Adım ve tekrar işlemi "**master**" olarak adlandırılan cam plaka üzerine sıra ve sütunlardaki görüntünün transferi ile son bulur. Ana maske, ışığa duyarlı cam plakalar ile kopyaları alınarak kullanılır. Bu kopyalar daha sonra yarıiletken pul üzerine gerçek görüntünün transferinde kullanılır.

Diğer bir metot ise fotografik film üzerine istenilen görüntünün oluşturulması için bilgisayar kontrollü ışık kalemi kullanmaktır. Elde edilen maske, üretim maskesini elde etmek için adım ve tekrar sisteminden geçirilir. Son metot olarak elektron huzme sistemini kullanılır ve model katı yüzey maskesi içindeki elektrona duyarlı fotodirenç üzerine direk olarak geçirilir. [2]

Fotografik işlemde pul ışığa duyarlı emülsiyon ile kaplanır (örneğin; Kodak Photo-Resist:KPR). İstenilen modelin büyük siyah ve beyaz şekilleri yapılır ve fotografik yolla indirgenir. Bu negatif veya kalıp istenilen büyüklüktedir. Şekil 1.28.a' da görüldüğü gibi fotodirenç üzerine maske olarak yerleştirilir. Daha sonra maske kaldırılır ve pul Şekil 1.28.b' de görüldüğü gibi, yüzey modelini çıkaran ve fotodirenç filmin pozlandırılmamış kısmını çözen bir kimyasal madde (örneğin; trikloro etilen) kullanılarak geliştirilir. Geliştirme boyunca çıkarılmayan emülsiyon sabit veya korunmuştur ve sonra yapılacak aşındırma işlemlerine karşı dirençli duruma gelir. Kırmık katkı maddelerinin yayıldığı bölgelerden oksidi çıkaran hidroflorik asit aşındırma çözeltisine daldırılır. Fotodirenç tarafından korunan bu bölge $SiO_2$ asitten etkilenmez. Katkıların yayılmasından sonra, dirençli maske kimyasal çözücü (sıcak $H_2SO_4$) ile çıkartılır. [4]




**Şekil 1. 28. Foto aşındırma tekniği.(a)ultra viyole ışık ile maskeleme ve pozlandırma.(b) Oluşumdan sonraki foto direnç [4]**

### 1.3.2.1.4 Litografi

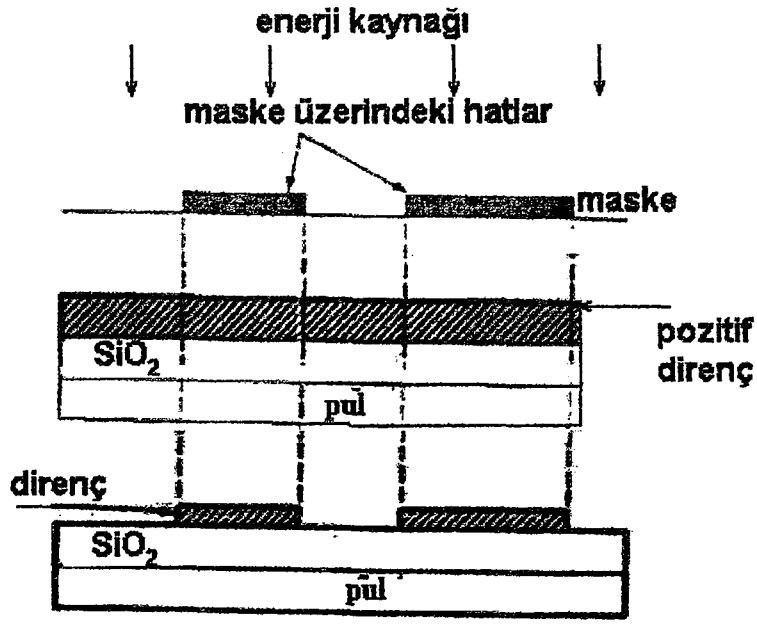
Litografi işlemi mask üzerindeki modelin pul üzerine transfer edilmesidir. [6] Litografi üç işlemden oluşur: (1) direncin oluşturulması, (2) pulun görüntülenmesi ve (3) oksit aşındırma.

Litografi anahtar bir işlemdir. Litografideki gelişmeler, malzeme boyutunu azaltmış ve VLSI teknolojisini mümkün kılmıştır. Mikron altı VLSI teknolojisine doğru geçiş aşındırma ve litografi sayesinde olmuştur. Mikron altı yapıların gelişmesi diğer etkenlerden çok litografi ile olmuştur. [3]

#### 1.3.2.1.4.1 Fotolitografi

Fotolitografi işlemi mask görüntüsünün pul yüzeyine UV (Ultra Violet) ışığı ve fotodirenç ile transfer edilmesidir. Fotodirenç ışığa duyarlı kimyasal bir bileşiktir. Bu malzeme merkür buhar lambasının mavi ışığına tepki gösterir, fakat sarı ve kırmızı ışığına karşı duyarsızdır. [2]

Önce pul yüzeyi fotodirenç malzemesi ile kaplanır. Negatif ve pozitif olmak üzere iki çeşit fotodirenç vardır. Işığa tutulduğunda, pozitif direnç daha fazla çözünür ve negatif direnç bu geliştirici kimyasal maddeye oranla daha az çözünürdür. Pozitif direnç negatif dirençten daha fazla çözünürlüğe sahip olduğundan daha fazla kullanılır. Şekil 1.29, pozitif direnç kullanımına bir örnektir. Maske ile ışığa tutulan bölgeler pozitif dirençten daha fazla çözündüğünden mask üzerindeki her bir çizgi pul üzerinde direncin kalmasıyla oluşturulur.




**Şekil 1. 29. Maske pozlandırma ve pozitif dirençten sonra geliştirme [6]**

Pul daha sonra pozlandırılır. Pozlandırmada iki optik tekniği kullanılır: (1)Yakın basma ve (2) direk pozlandırma (DSW). Her iki yöntemde UV ışık kaynağı kullanılır. Yakın basma tekniğinde, mask ve pul projeksiyon düzenleyici adı verilen cihaza yerleştirilir. Mikroskop ile bakıldığında mask pula 10-20μm kadar yaklaşır. Maske ve pul üzerindeki sıra işaretleri kullanılarak pul ve maske uygun şekilde düzenlenir. UV ışık, direnç kaplı pul üzerine maske üzerinden bir kere gönderilir. Pul daha sonra çıkarılır ve pozlandırılmış bölgeden direncin çıkarılması için seçilen uygun kimyasal bileşiğe yerleştirilir. Bu işlemde kullanılan maske tam pul *1 maskedir. Bu işlemin çözünürlüğü ışık kaynağının dalga boyu ve pul ile maske arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Yakın basma çözünürlüğü 2-4μm dır ve en az 2μm hat genişliği gerektiren işlemlerde geçerlidir.

DSW tekniğinde maske *10 veya *5 kat büyütülür. Fotodirenç boyalı pul üzerine optik olarak aktarılır. Bu metotta maske pula çok yakın olmayıp bir kaç cm uzunluğundadır. Bu maske görüntüsü bir sonraki kırmık yerleşimine adımlandırılır ve tekrar pul üzerine aktarılır. Bu işlem bütün pul boyunca bir çok kere tekrarlanır. Şu anki sistemlerle yaklaşık olarak 0.7-1.0μm çözünürlüğe ulaşılabilir. Bununla birlikte, bu çözünürlüğün maliyeti çok fazladır. Pul bir çok kere pozlandırıldığından, projeksiyon düzenleyici daha hassastır. [6]

Optik teknikle gelecekte 0.5 μm hat genişliğine düşmek mümkün olabilecektir.

Yeni geliştirilen DSW tekniği ile çok hassas maske seviyeleri elde etmek için daha az hassas maske ve 1:1 baskı tekniği içeren karışım ve uyuşum litografi kullanılmaktadır. Gerçekte mikron altı VLSI litografide DSW tekniği, tarayıcı 1:1 tekniği (yakın basmalı) ve elektron huzme tekniği kullanılır. Örneğin; üretimi hızlandırmak veya kolaylaştırmak için maske seviye adımlarının bölündüğü birkaç DSW cihazı kullanmak. Çözünürlük makinelerin tümüne bağlıdır. [3]

#### 1.3.2.1.4.2 Elektron Huzme Litografi

0.5μm altındaki hat genişliği sağlayan ikinci litografi tekniği elektron huzme litografidir. Bu işlemde mask üretilmez. Bununla birlikte, şekil direnç boyalı pul üzerine direk olarak yazılır

(Direct Writing System:DWS). Bu teknikte kullanılan cihazlar yavaştır. Buna rağmen, gelecekte istenilen seviyede olabilirler. [6]

İki tür E-huzme (Elektron huzme) sistemi vardır: (1)Tarayıcı E-huzme model üreteci ve (2) E-huzme projeksiyon cihazı. Tarayıcı E-huzme model üretecinde elektron huzmesi optik elektron sütunundan elde edilir ve hedef üzerindeki noktaya odaklanır. Hedef bir maske veya pul olabilir. Huzme manyetik alan ile saptırılır ve pozisyonu bilgisayar ile çok hassas şekilde ayarlanabilir.

E-huzme ve X-ışınlı litografi benzer dirençler kullanır. E-huzmede pozlandırma sonrası istenilen kimyasal değişikliği gerçekleştirmek için gereken enerji elektronlar tarafından dağıtılır. Buna rağmen X-ışınlarında, X-ışınları fotonları tarafından üretilen foto elektronlar kimyasal reaksiyona sebep olur. E-huzme ve aynı şekilde X-ışınlı litografide genelde kullanılan pozitif direnç PMMA' dır ( PolyMetal MetAcrylate: PMMA). Bu direnç çok iyi kontrasta sahiptir ve mikron altı özellikteki elemanların elde edilmesinde kullanılabilir. E-huzmede kullanılan negatif direnç PMMA' dan daha düşük kontrasta sahip olduğundan küçük boyutlarda uygun değildir.

E-huzme pozlandırmada çözünürlük dirence giren yüksek enerjili elektronların dağılımı ile sınırlandırılır. Bu elektronlar dirençte görüntüyü oluştururlar. E-huzmeli projeksiyon sisteminde, UV ışık maske boyunca foto katot üzerinde görünmez olur. Bu ışık, foto katottan elektronların emisyonuna sebep olur. Bu elektronlar maske ve yarıiletken pul arasındaki elektrik alanı ile hızlandırılır ve direnç üzerine odaklanırlar. Yüksek görüntü çözünürlüğü ve bir çok cihazın paralel işlenmesi bu sistemin avantajlarındandır. [2]

E-huzme sistemi ile 0.2μm hat genişliği elde edilebilir. [3] E-huzme litografi optik litografiden daha iyi çözünürlüğe sahiptir, fakat pul üzerine birden fazla görüntü çıkarılmasında diğer metotlara göre daha düşük verime sahiptir. Yine de düşük verimin kabul edildiği durumlar vardır. Bunlardan biri VLSI pilot üretimidir. Örneğin; ASIC. E-huzme litografi ile tek bir pulun üretilmesi yüzlerce kırmık gerektirir. Yeterli kalitede ilk üretim için gerekli maliyet diğer litografi tekniklerine göre daha düşüktür. [3]

#### 1.3.2.1.4.3 X-ışınlı Litografi

X-ışınlı litografi, UV ışığı yerine kullanılan kısa dalga boylu X-ışınları haricinde optik litografiye benzer. Bundan da öte, pul üzerine direncin pozlandırılması "**yakın basma**" ile gerçekleştirilir. Bu işlemde pul ile maske arasında 25-40μm bir boşluk bırakılır. Kısa dalga boylu X-ışınları, keskin kenarları ile yüksek görüntü kalitesini sağlayan ayrışma etkisini azaltır. X-ışınlı litografi maskesi, X-ışınlarının geçtiği milor (mylor) veya Si ince bir zardan oluşur. Altın, bu tabaka üzerine maskeleme yapmak için kullanılır. Altın zar üzerinden buharlaştırılır ve elektron huzmeli pozlandırma işlemi maske bölgesini tanımlamak için kullanılır. [2]

X-ışınlı litografi optik litografiye göre daha ekonomiktir. X-ışınlı litografi daha ekonomik hale geldiğinde UV litografiye göre mikron altı yapıların oluşturulmasına daha yakın görünmektedir.

### 1.3.2.1.5 Ara bağlantılar

Ara bağlantılar aşağıdaki amaçlar için gerçekleştirilir:

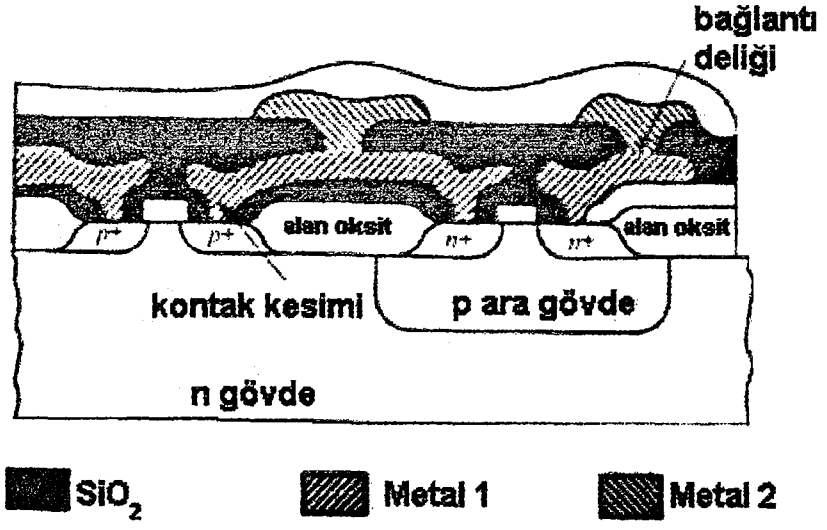
- 1. tabaka metal gövde elektrotu arasındaki bağlantı,
- Kapı bağlantıları,
- Metal tabakalarının birleştirilmesi,
- Çok seviyeli metaller arasında bağlantı kurma.

Fiziksel buhardan oluşturma (Physical Vapour Deposition: PVD) tercih edilen yöntemdir ve ara bağlantı aşındırma ile gerçekleştirilir.

PVD tekniği ikiye ayrılır: (1)Buharlaşma ve (2)saçılma. Buharlaşma vakum içinde gerçekleştirilir. Buharlaştırılan kaynak pul üzerine düşer ve soğuk yüzeyde yoğunlaşır. Vakum odasının basıncı yaklaşık olarak ($10^{-6}$-$10^{-7}$)torr seviyelerindedir. Saçılma oluşturmada hedef enerjili iyonlar (genellikle Ar) ile bombardıman edilir. Pul üzerinde bombardıman edilen bölgeler buharlaşmada olduğu gibi düz değildir. Pul, ikinci elektronların uzaklaştırılması için bir işleme tabi tutulur. Saçılma, buharlaşmada olduğu gibi bir vakumda, fakat daha yüksek basınçta (5-50mtorr) gerçekleşir. [3]

Kanal uzunluğu 2μm indirildiğinde ve dilim büyüklüğü 250 mili aştığında, zaman gecikmesi kısa bağlantılarda kapı hızıyla aynı iken uzun bağlantılarda kapı gecikmesinden daha fazladır. Bundan dolayı, polisilisit (PtSi, TiSi, TaSi) hem transistor kapısı hem de birinci derece bağlantı olarak kullanılmıştır. Pt, Ti veya Ta gibi metaller direnci polisilisyum direncinin yaklaşık olarak 1/10 u olan polisilit oluşturmak için kullanırlar.

İkinci seviye metal fazla işlem gerektirmesine rağmen, en az bağlantı gecikmesi gösteren bir metottur. Şekil 1.30' da kesit görünüşünde görüldüğü gibi birinci seviye metal polisilisyum kapılardan sonra kırmık üzerine yerleştirilir. $SiO_2$ ile alttaki poli kapıdan ve üstteki ikinci seviye metalden izole edilir. Birinci seviye metal ile polisilisyum veya difüzyon arasındaki bağlantıya "**kontak kesim**" denir. Seviye 1 ve Seviye 2 (metal) arasındaki bağlantı, 2. Seviye metalin oluşturulmasından önce 1. Seviye metal üzerindeki $SiO_2$ üzerinden aşındırılan "**bağlantı boşlukları**" denilen açıklıkların gerçekleştirilmesi ile sağlanır. [6]




**Şekil 1. 30. İki-seviye metal yapısı [6]**

Bağlantıların malzeme ve karakteristikleri, gereken elektrik değerlerine göre değişir. İletken uzunluğundan kaynaklanan düşük omik direnç en önemli kriterdir. Bu uzunluk çok büyük olabilir. Bitişik bağlantı, toplamın küçük bir oranı ile sınırlıdır. VLSI için ortalama tel uzunluğu tipik olarak kırmık kenarının 5%dır. Tel direnci, kayıpların etkisini ortadan kaldırmak ve elde edilebilecek en yüksek performans için telin birim uzunluğu başına düşen RC zaman sabitesinin en aza indirilmesi için mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bu nedenle Al, yaklaşık 3μohm-cm direnci ile en iyi metallerden birisidir. Düşük kaynama noktası (660°C) ardışıl işlemlerin sıcaklığını 500°C' den az oluşturma ile sınırlar. Bundan dolayı, yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen işlemlerden sonra sadece Al oluşturulur.

Metal gövde jonksiyonunun kontak direnci omik ve düşük değerlerde olmalıdır. Bu nedenle, Al p-tipi Si jonksiyon $10^{16}$ atom/$cm^{-3}$ veya daha yüksek değerli katkı yoğunluğu için istenilen seviyede düşük dirençli omik kontaktır. Al n-tipi Si jonksiyon için aynı şeyi söyleyemeyiz. n-tipi Si katkılılarda diyot etkisi kontaklar arasına uygulanan yeteri kadar küçük voltaj ile sınırlandırılır. [3]

**Tablo 1. 3. MOS ara bağlantı malzeme direnci [6]**

| Malzeme | Direnç(Ω/□) |
|---|---|
| Polisilikon | 30-100 |
| Polisilisid(polisilicide) | 3-10 |
| Metal | 0.03 |

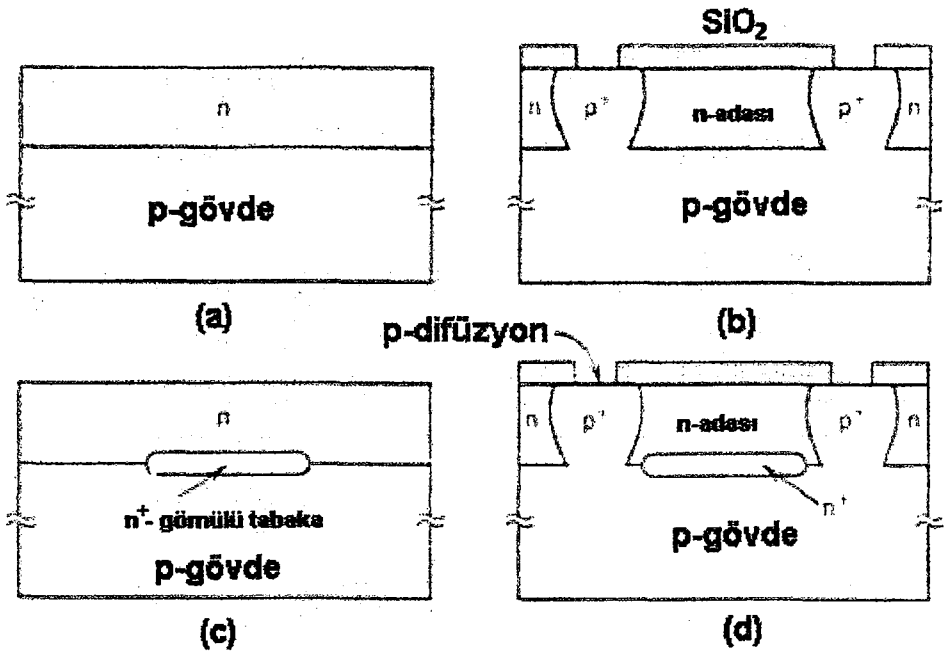
Ara bağlantılarda kullanılan üst malzemenin direnci Tablo 1.3' de görüldüğü gibi değişir. Bu malzemelerin direnci, ohm /kare (ohm/□) olarak tanımlanır. [6]

#### 1.3.2.1.6 İzolasyon

Bipolar tümdevre fabrikasyonunda başlangıç malzemesi n-tipi Si tabakadır ve 10ohm-cm dirençli p-tipi gövde üzerine epitaksiyel ile oluşturulur. n- tabakasının kalınlığı ve direnci uygulamalara bağlıdır ve 0.5-12μm ve sırası ile 0.2-0.5ohm-cm arasında değişir. Üretim aşamasında önemli bir adım, elemanlar arasındaki elektriksel izolasyondur. İzolasyon, (1)ters ön gerilimlenmiş p-n jonksiyonu, (2)izole dielektrik malzeme ve (3)izoplanar işlem teknikleri ile gerçekleştirilir.

##### 1.3.2.1.6.1 p-n Jonksiyon İzolasyonu

p-n jonksiyon izolasyon tekniği, her biri birbirinden izole edilmiş n-tipi adalar elde etmek için p-tipi maddenin n-tipi epitaksiyel tabakası içerisinde yayılmasıdır. Şekil 1.31.a başlangıç pulunu gösterir. Bu pul önce oksitlenir. Pencereler n-tipi tarafta fotolitografi ve oksit aşındırma kullanılarak oluşturulur. Sonra, B difüzyonu pencere içerisine doğru gerçekleşir. Bundan dolayı, B atomları epitaksiyel tabaka üzerinden yayılır ve p-tipi gövdeye katılırlar. Oluşan n-tipi ada Şekil 1.31.b' de görülmektedir ve içinde eleman üretilmeye hazırdır. Bütün bu adacıklarda, gövdeye negatif potansiyel uygulandığında p-n jonksiyonu ters polarize olur ve elektriksel olarak birbirinden izole edilirler.



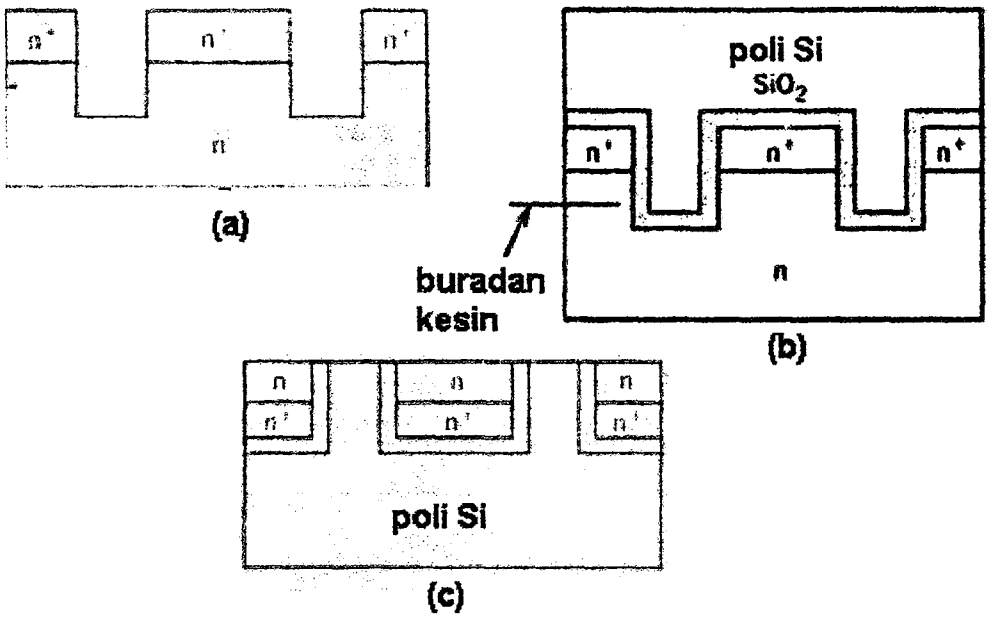

**Şekil 1. 31. p-n jonksiyon izolasyonu (a)n-epitaksiyel tabakalı p- gövde (b)p-tipi izolasyon difüzyon (c)$n^+$- gömülü tabakalı gövde ve (d)gömülü $n^+$- tabaka içeren p-tipi izolasyon difüzyonu [2]**

Bipolar n-p-n transistorun emiter difüzyonu ve oksit içindeki pencerede p-tipi difüzyonun gerçekleşmesi ile Şekil 1.31.b' deki n-tipi ada üretilebilir. Bu transistorun ana dezavantajı, n-tipi epitaksiyel tabakasının az katkılı olmasından dolayı yüksek seri dirence sahip olmasıdır. Seri kollektör direnci, $n^+$ difüzyonun epitaksiyel tabakası oluşturulmadan önce p-tipi gövde üzerinde gerçekleştirilmesi ile önemli miktarda azaltılır. Oluşturulan $n^+$ tabakası "**gömülü tabaka**" olarak bilinir (Şekil 1.31.c) . Bu gömülü tabaka, transistorun aktif bölgesinden kollektör omik kontağına doğru akan elektronlara düşük dirençli bir yol sağlar. Şekil 1.31.d $n^+$ gömülü tabakalı izole bölge görülmektedir.

p-n jonksiyon izolasyon metodunun dezavantajı, p-n jonksiyonundaki iç kapasitedir. Aynı zamanda, jonksiyonu ters polarize etmek için gövde negatif potansiyelde tutulur. Bu kısıtlamalar dielektrik izolasyonda ortadan kaldırılmıştır.

### 1.3.2.1.6.2 Dielektrik İzolasyon

Oksit izolasyonunun işlem sırası Şekil 1.32' de görülmektedir. Burada başlangıç malzemesi n-tipi Si gövdedir. İşlem, gövde üzerine $n^+$ difüzyonu ile başlar. Daha sonra pul oksitlenir ve pencereler fotolitografi ve aşındırma kullanılarak oksit içinde oluşturulur. $SiO_2$'in oluşturulmasını pencere içindeki Si oluşturma izler. Böylece Şekil 1.32.a' da görüldüğü gibi kanallar oluşturulur. Pulu kaplamak için gerekli $SiO_2$ tabakası termal olarak polisilisyum oksit tabakası üzerine oluşturulur(Şekil 1.32.b).Yapı ters çevrilir ve n-tipi Si Şekil 1.32.c' de görüldüğü gibi izole bölgeyi oluşturmak için katlanır. İstenilen elemanların oluşturulması için ada içerisinde gerekli ek difüzyonlar gerçekleştirilir. Bu tip izolasyon, gövde ön gerilimini önlemekle birlikte düşük parazitik kapasiteye sahiptir. Buna rağmen, ek işlemler gerektirdiğinden pahalı bir yoldur.

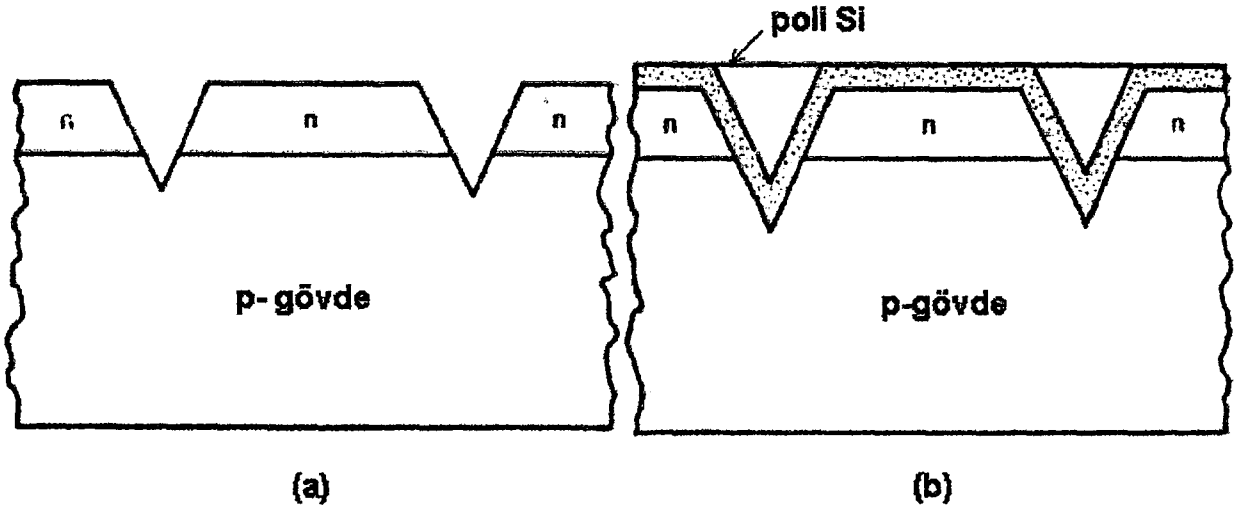



**Şekil 1. 32. Oksit izolasyonu (a)kanalların aşındırılması (b)poli Si' un oluşturulması (c)adaların oluşturulması için gövdenin örtüşmesi [2]**

### 1.3.2.1.6.3 V-oluk İzolasyonu

İzolasyonda kullanılan diğer bir metot ise V-oluk (V-groove) işlemidir(Şekil 1.33). Bu metot dielektrik ve p-n jonksiyon izolasyonun birleşimidir.

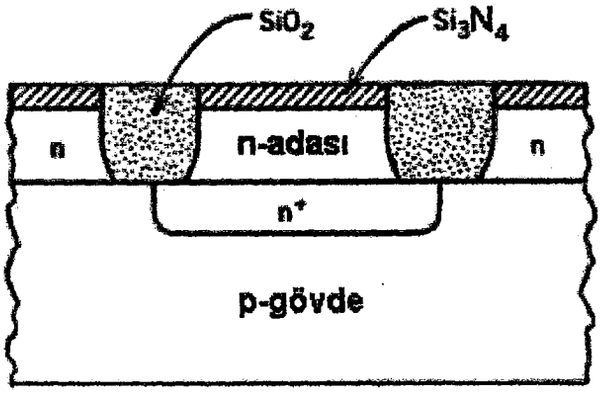
Kimyasal yolla Si oluşturulduğunda, düzlem boyunca oluşma oranı düzlem boyundan daha yüksektir. Si pul yüzeyi oryantasyonu anizotropik yöntemle gerçekleştirilir. Oluşturulan yüzey Şekil 1.33.a da görüldüğü gibi yan duvarlarla birlikte bir oluk oluşturur. Oluğun derinliği oksit penceresinin genişliği ile belirlenir. Pul $SiO_2$ ile kaplamak için termal olarak oksitlenir ve polisilisyum oluğu doldurmak için oluşturulur. Oluşan izole cepler Şekil 1.33.b de görülmektedir. Bu cepler istenilen elemanların oluşturulması için kullanılabilir.




**Şekil 1. 33. V-oluk izolasyon işlemi (a)gövdenin V-oluk aşındırma (b) termal oksidasyon [2]**

### 1.3.2.1.6.4 İzoplanar İzolasyon

İzoplanar izolasyon tekniği Fairchild Semiconductor tarafından geliştirilmiştir. p-n jonksiyon ve oksit izolasyonunu birleştiren bir yöntemdir. $Si_3N_4$ tabakası n-tipi epitaksiyel tabaka yüzeyinin üzerine oluşturulur. Pencere, fotodirenç tekniği kullanılarak $Si_3N_4$ tabakası ile n-tipi epitaksiyel Si tabakası arasında oluşturulur. Pul termal oksidasyona tabi tutulur. Oksit $Si_3N_4$ kaplı bölgelerde oluşturulamadığından, Şekil 1.34' de görüldüğü gibi sadece oluşturulan pencereleri doldurur. Bu işlemin dezavantajı, sadece ince epitaksiyel tabakalarında kullanılabilir olması ve uzun oksidasyon zamanına gereksinim duymasıdır. [2]

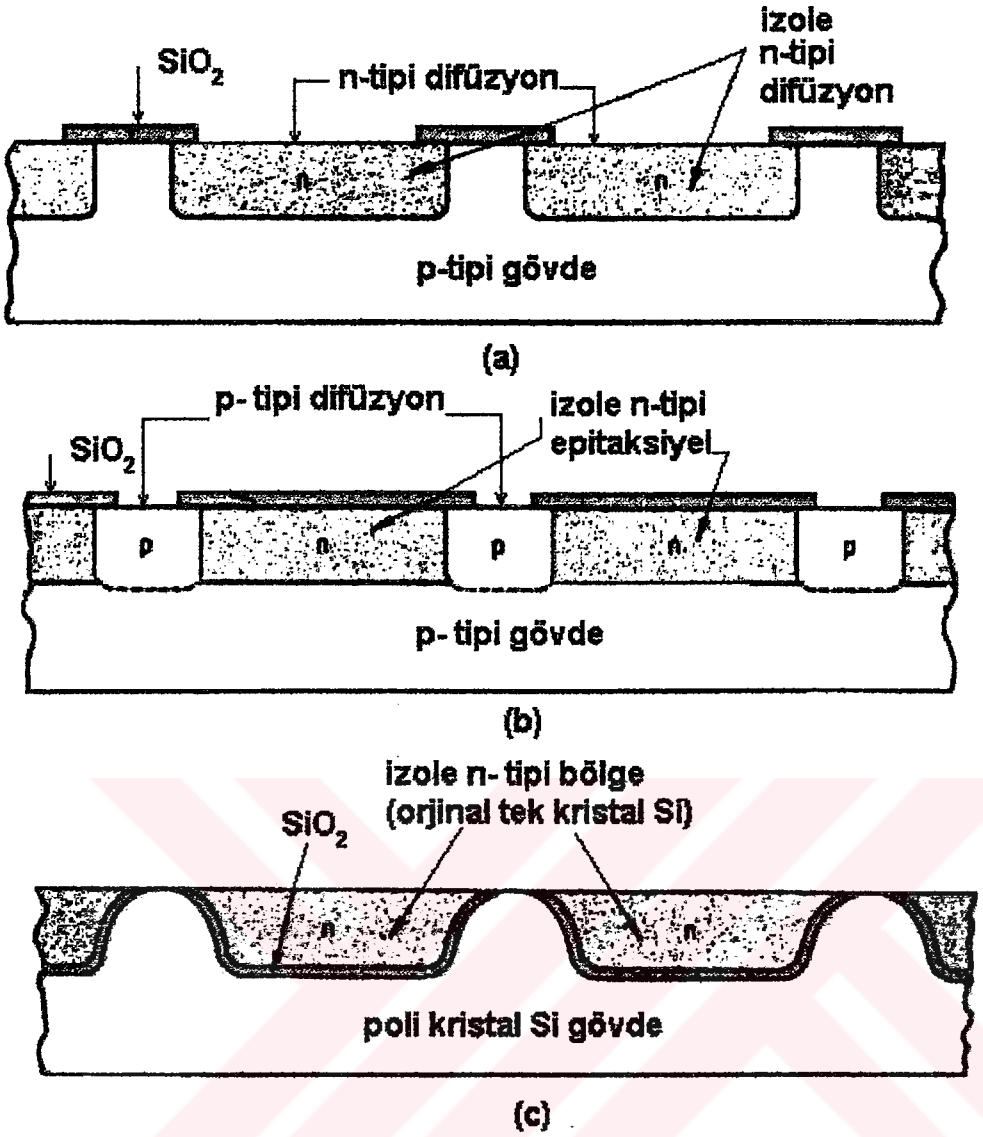



**Şekil 1. 34. İzoplanar izolasyon [2]**

### 1.3.2.1.6.5 $SiO_2$ İzolasyon

Bir diğer izolasyon metodu ise Şekil 1.35.c' de görüldüğü gibi her bir elemanı çevreleyen $SiO_2$ tabakasının kullanılmasıdır. n-tipi tek Si kristal dilimi üzerindeki her bir elemanı oluşturan yüzeylere küçük platolar (mesas) oluşturulur. Si diliminin üst yüzeyi küçük platolar dahil $SiO_2$ tabakasının oluşturulması için oksitlenir.

Reaktör içinde, oksit üzerine polikristal Si epitaksiyel tabakası oluşturulur. Dilim ters çevrilir ve n-tipi tek kristal plato bölgesine yapıştırılır. Böylece tek kristal platoların sadece üst bölgesi kalır. Her biri $SiO_2$ ile izole edilir ve polikristal Si gövde üzerine oturtulur. [1]




**Şekil 1. 35. Tümdevre eleman izolasyonu (a)difüzyonlu jonksiyon izolasyon (b)epitaksiyel jonksiyon izolasyon (c)$SiO_2$ izolasyon [1]**

### 1.3.2.1.7 Metalizasyon

Bir eleman yarıiletken bir gövde üzerine inşa edildikten sonra elemanın değişik bölgelerine metal oluşturma ile omik kontaklar yapılır. Tümdevrelerde, devreyi oluşturan elemanlar istenilen devreyi gerçekleştirmek için metal ile birbirlerine bağlanırlar.

Tümdevrelerdeki eleman ve ara bağlantıların gerçekleştirilmesini sağlayan omik metal kontak aynı zamanda bir çok gerekliliği de karşılamalıdır. Örneğin; seçilen metal yüksek elektrik iletkenliğe sahip olmalı ve yarıiletkene çok iyi omik kontak kurmalıdır. Bundan da öte, alttaki yüzeye çok iyi yapışmalı ve normal işletim şartlarında aşınmamalıdır. Bütün bu gereklilikleri karşılayan bir metal yoktur. Buna rağmen, Si yarıiletkenlerde Al gereklilikleri yeterli derecede

karşılar. Al eleman ara bağlantılarında ve omik kontaklarda genişçe kullanılır. Saf Al, Si ile reaksiyona girebilir. Bunu önlemek için Si, Al metalizasyonuna eklenir.

Bazı durumlarda Al bütün gereklilikleri sağlayamaz. Bundan dolayı, çok tabakalı yapılar sık olarak kullanılmaktadır. Böyle yapılara tipik bir örnek ise (Si için kullanılan) Au tabakalı PtSi-Ti-Pt-Au sistemidir. Burada Au temel iletkendir ve diğer her bir tabaka yukarıda anlatılan gereklilikleri karşılamak için kullanılmıştır.

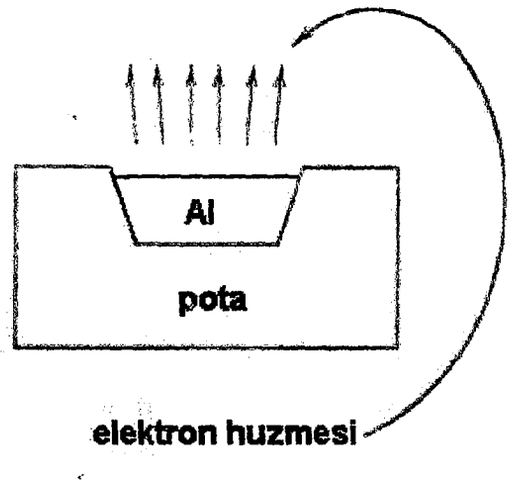
Kullanılan metalleme teknikleri; (1)plakalama, (2)saçılma, (3)elektron huzmesi veya (4)direnç ısıtma kullanan vakum oluşturmadır. Plakalama Si teknolojisinde nadir olarak kullanılır. Plakalama elektronlu plakalama veya elektronsuz plakalama olarak ikiye ayrılır. Elektronsuz Ni- plakalama bazen ağırlıklı katkılı Si' lerde omik kontak elde etmek için kullanılır.

Direnç ısıtma ile gerçekleştirilen metal oluşturma, bir vakum oluşturma sisteminde gerçekleşir. Gövde ve kaynak yağ difüzyon pompası kullanılarak boşaltılan bir odaya yerleştirilir. Bir flaman dirençle ısıtılan bot, metalin buharlaşmasını sağlar. Bu metot basit olup bir çok sayıda malzeme bu teknik kullanılarak oluşturulabilir. Al normalde Tungsten flaman kullanılarak oluşturulur. Bu metodun bir dezavantajı, oluşturulan malzemenin kirlilik seviyesi elemanının çalışmasını etkileyecek kadar yüksek olabilir. Kirlilik vakum oda içerisindeki kuşatıcı veya flamandan kaynaklanabilir. Farklı malzemelerin tabakaları oluşturulmak istenirse her bir oluşturma için ayrı bir flaman kullanılmalıdır.

Şekil 1.36' da tipik bir elektron huzme buhar sistemi görülmektedir. Buharlaştırılacak malzeme, vakum bir odada tutulan potaya yerleştirilir. Yüksek yoğunluklu elektron huzmesi elektron tabancasında üretildikten sonra buharlaştırılacak malzeme üzerine odaklanır. Huzme malzemeyi eriterek buharlaşmasına neden olur. Elektron huzmede sadece metal ile kontak kurulduğundan kirlilik önemli oranda azalır. Buna rağmen, elektron tabanca buharlaştırma sık olarak gövde üzerine radyasyon yoluyla zarar verir. Bu yan etki uygun tekniklerle azaltılabilir.

Saçılma, düşük basınçta gaz deşarjı (genellikle Ar) ile gerçekleştirilir. Saçılacak malzeme katot, gövde anot olup gövde genellikle şaselenir. DC veya rf voltajı uygulanmasına rağmen, rf saçılma geneldir. Saçılmanın avantajı, bileşimsel değişiklikler yapılmadan alaşımların oluşturulabilmesidir.

Bu işlemin dezavantajları; düşük oluşturma oranının gövdeye zarar vermesi ve saçılma sırasında gövde sıcaklığının yükselmesidir.




**Şekil 1. 36. Elektron huzme sisteminin kesiti [2]**

Metal oluşturmadan sonra, bir fırında yarıiletken ile metal alaşımlanarak yarıiletken pulda iyi elektrik kontağı elde edilir. Daha sonra her bir pul bir veya daha fazla yarıiletken içeren ayrı parçalara dilimlenirler. Her bir kırmık paketlenir ve uçları yarıiletken üzerindeki metale bağlanır. Son olarak, paket seramik veya metal ile kaplanır. [2]

#### 1.3.2.1.8 Paketleme ve Montaj

Tümdevre kapsüllenir ve paketlenir. Elektronik cihazlarda paketleme ayrı bir mühendislik konusudur.

Tümdevrelerin bir özelliği diğer elektronik cihazlara oranla daha güvenilir olmalarıdır. Tümdevre güvenirliği ile paket güvenirliği mümkün olduğu kadar yakın olmalı ve bu özellik uygun bir maliyette olmalıdır. Paketleme maliyeti, toplam üretim maliyetinin %(20-40) dır. Paketleme; kırmıktaki fonksiyon ağırlığına, giriş-çıkış ucu sayısına ve performansa bağlıdır. Sistemin hızı daha çok iletken empedansına özellikle tel kapasitesine bağlıdır. Tümdevre özelliğinin azaltılması, paketteki tel mesafesinin ve bundan dolayı, kapasite ve endüktansın azaltılması demektir.

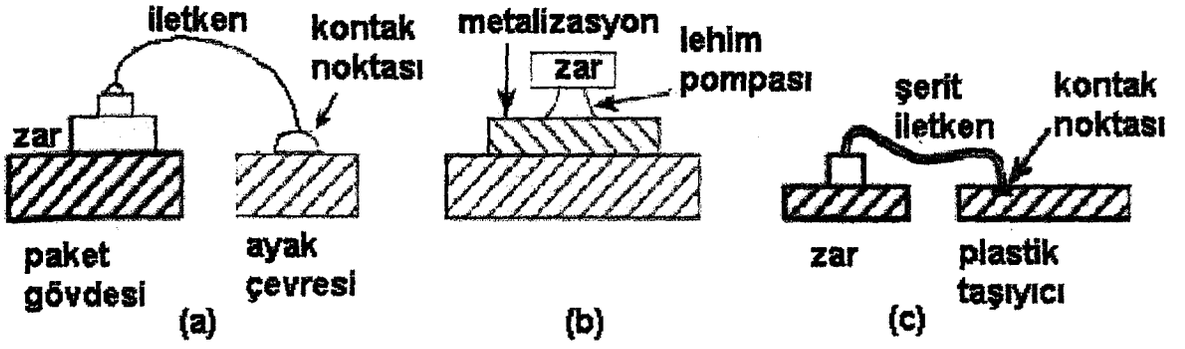
##### 1.3.2.1.8.1 Paketleme ve Montaj Teknolojisi

Paketleme fabrikasyonu, pul kenarlarında zar formasyonunun oluşturulması işlemi ile başlar. Zarların gerçekleştireceği fonksiyonlar prob testi ile kontrol edilir. Prob testi zarın DC özelliklerini ölçer. Hatalı olanlar daha sonra çıkarılmak için mürekkeple işaretlenir. Zar (IC), elmas kullanan bir cihaz veya lazer tekniği ile kesilen pul dilimleridir. Zarlar arası kullanılmayan bölgedeki Si buharlaştırılarak çentik haline getirilir. Lazer ile hassas kesme yapıldığından pul başına daha küçük boyutta ve daha büyük sayıda dilim düşer. Genel olarak elmas ile kesme tavsiye edilen yöntemdir, lazer tekniğinde pahalı cihazlar kullanılmasına rağmen, birinci derecede konuma sahip olabilirler.

Paket içerisindeki zarın montaj şekli tek tabaka veya çok tabaka olmak üzere ikiye ayrılır. Tek tabaka tekniğinde zar ayağa veya gömülü ayak tabanına mekanik olarak bağlanır. Teller zardan alınan çıkışlar ile ayak arasına bağlanır. Paketleme ayak çevresinde oluşturulur. Ayaklar TH (Through Hole) veya SM (Surface Mounting) için düzenlenir ve şekillenirler.

Çok tabakalı teknik, zarın yerleştirildiği gövdedeki paket noktalarına giriş ve çıkış bağlantıları ile ön üretimli paketlemeye dayanır. Zar mekanik olarak paket gövdesine bağlanır. Bağlantılar zar çıkışları ile gövde kontakları arasında yapılır.

İç paket bağlantıları Şekil 1.37' de görüldüğü gibi üç şekilde yapılır: (a) iletken bağlama, (b)flip-kırmık lehim bağlama veya kontrollü çökme bağlama(Cotrolled Collapse Bonding:CCB) ve (c)şerit kontrollü bağlama(Tape Automated Bonding:TAB).

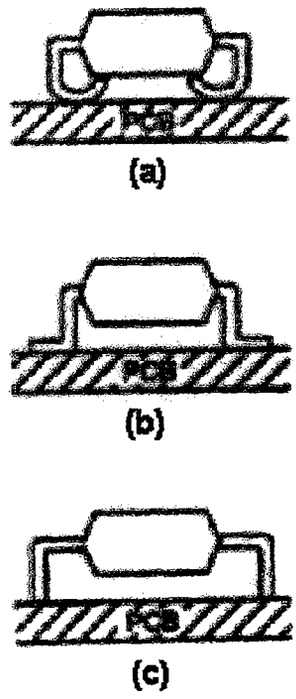



**Şekil 1. 37. Zar ara bağlantı (a)iletken bağlama (b)flip-kırmık (c)TAB [3]**

Paket kapsüllemede genellikle seramik veya plastik kullanılır. Seramik paketleme daha pahalı olmasına rağmen, hava geçirmezdir. Seramik kapsüllemenin iki çeşidi de kullanımdadır:(1)Cam kaplamalı ısıya dayanıklı seramik paketleme (CERDIP ve CERQUAD) ve (2)ince tabakalı seramik paketleme(Gelecekte çok güvenilir bir teknoloji olacaktır.).

Birinci oluşturma tipi daha ucuz olup bir çok uygulama için yeterli güvenilirliğe sahiptir.Plastik kapsüllemede çok az da olsa kir geçişi olur. Bu olay cam veya oksit ile önlenebilir. Plastik paketleme bir çok uygulamada kabul edilebilir güvenirliğe sahiptir.

SM paketleme yaklaşık 2mm uzunluğunda ve çok kısa ayaklara sahiptir. SM lehim pompası kontağı ile bağlanır. Ayaklar Şekil 1.38' de görüldüğü gibi üç şekilde bağlanır j şekli genel olanıdır. J şekli diğerlerine göre daha büyük ayak kalınlığına sahip olmasına rağmen, test edilmesi daha kolaydır.



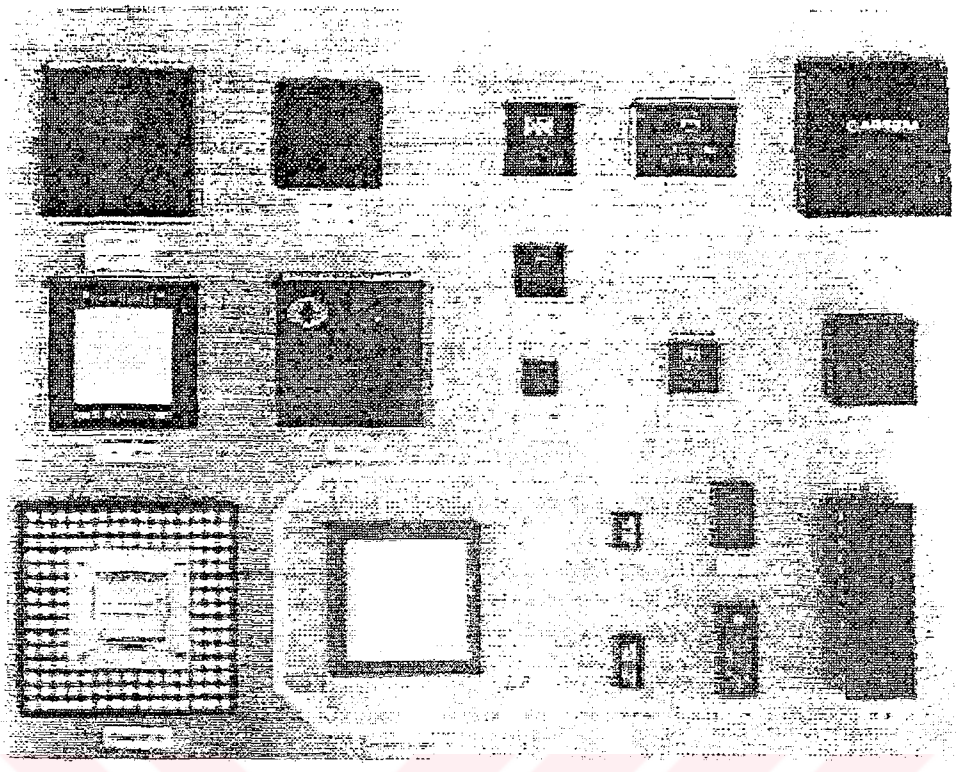

**Şekil 1. 38. SM paketleme ayak geometrisi**

**(a)J ayak (b)Gull-wing (c)Butt ayak [3]**

SM, TH' dan daha avantajlıdır. SM, teknolojinin tercihi olmasına rağmen, avantajlarını belirlemek için özel uzmana ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, anahtar problem montajın doğasından gelir: Lehim noktası tümdevreye elektrik ve mekanik olarak birleşir. Bu açıdan TH montaj çok iyidir. Lehim noktasının mekanik gerilmesi TH' da gerekenden çok büyük iken SM' de TH' den %20 kadar düşük olabilir.

### 1.3.2.1.8.2 Paketleme Çeşitleri

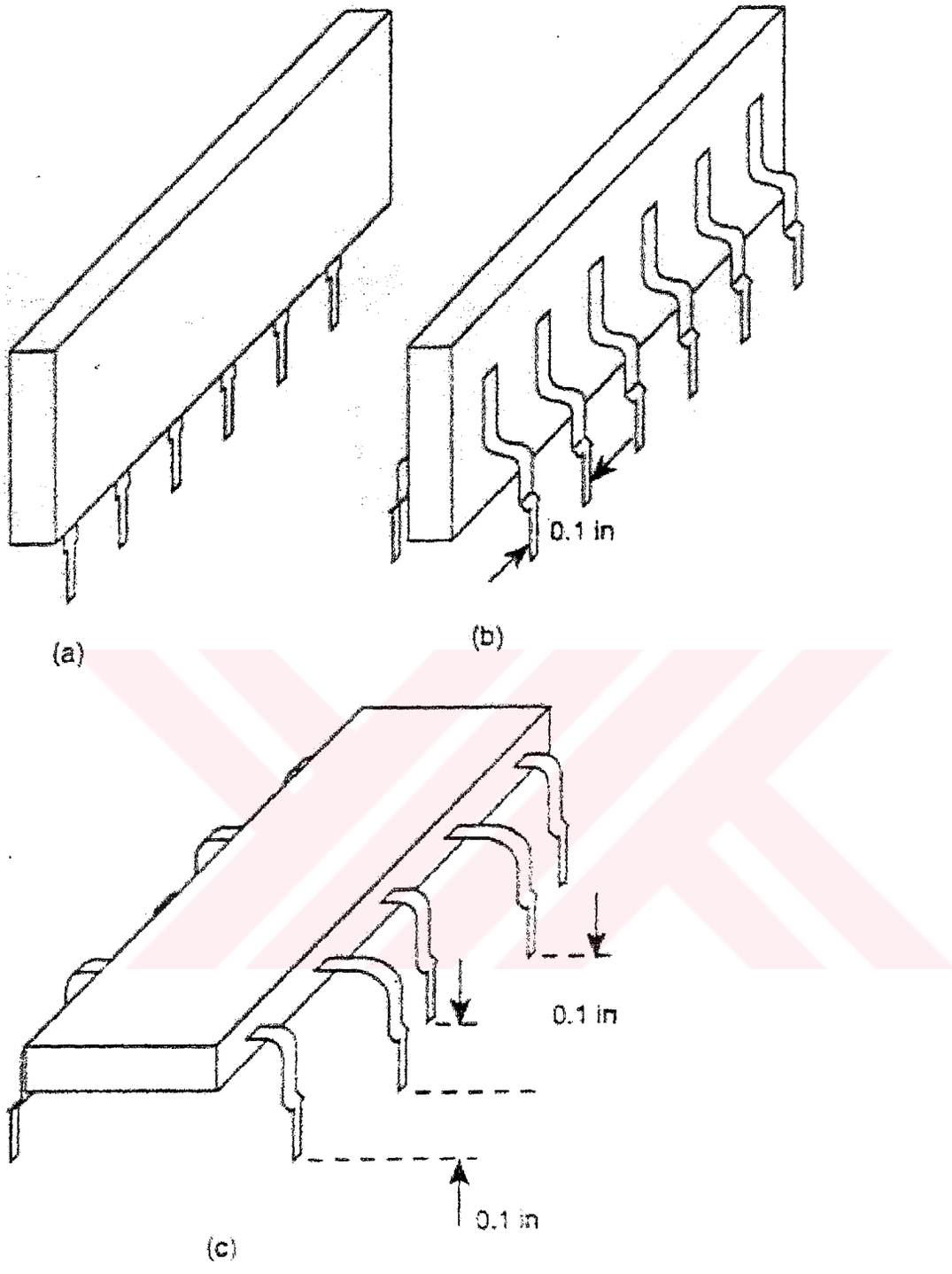
Şekil 1.39' deki fotoğraf paket çeşitlerini göstermektedir. Fotoğrafın bir tarafında DIP (Dual-In-line Package) paketleme diğer tarafında ise PGA (Pin Grid Array) paketleme görülmektedir. Paketlemenin genel özellikleri, ayak sayısı, boyut, ayaklar arası mesafe, montaj şekli(TH ve SM), güç ve sıcaklık dayanıklılığı olarak sıralanabilir. DIP ve PGA sadece TH montajının standartlarıdır. Diğer bütün paketlemeler SM' ye aittir. Yüzey montajı (SM) yeni bir teknoloji olmak ile birlikte, gelecekteki tasarımların tartışmasız olarak standardı olacaktır. DIP ve PGA paketlemede ayaklar arası mesafe 50-100 mil (2540μm) arasında değişmekle beraber 100 mil standart olarak kullanılmaktadırlar.



**Şekil 1. 39. IC paket fotoğrafı [3]**

Bu ayrıntı, montaj için gerekli mesafenin hesaba katılması gereğinden hareketle verilmiştir.

VLSI teknolojisinde paketleme çalışmaları, pin sayısının arttırılması ve daha verimli kare formatlarının geliştirilmesi ile bitmemiştir. Daha öncekilere oranla daha iyi elektrik karakteristiğine, daha küçük ayak kalınlığına sahip ve daha düşük sayıda pinli paketler geliştirilmiştir. Bunlar; küçük taslaklı paketleme (Small Outline IC: SOIC) ve daralmış küçük taslaklı paketleme (Shrunk Small Outline Package:SSOP) dır. Bunların her ikisi de SM tipidir. DIP paketlemenin diğer çeşitleri ise SIP(Single In line Package), ZIP(Zig-zag In line Package) ve QUIP(QUad In line Package) paketlemedir. SIP ve ZIP Şekil 1.40.a ve b de görülmektedir. Ayak kalınlıkları azaltılmıştır. SIP ayakları bir yandadır. ZIP ayakları her iki yanda olup ayak sayısı aynı büyüklükteki SIP paketlemenin iki katıdır. QUIP, DIP formatına benzer. Şekil 1.40.c de görüldüğü gibi her iki yanda dağılmış bir şekilde iki sıra ayaktan oluşur. Her sıra için 100 mil ayak mesafesi ile (50 mil de olabilir.) ayak sayısı aynı büyüklükteki DIP paketleme ayak sayısının iki katıdır.




**Şekil 1. 40. ZIP, SIP ve QUIP görünüşleri (a)SIP (b)ZIP (c)QUIP [3]**

Paketleme çeşitleri ve sahip oldukları ayak sayılarının özeti Tablo 1.4' de verilmiştir. Kapsülleme plastik veya seramik olabilir. Paketleme terminolojisi biraz karışıktır. Örneğin; PLCC ayaklı iken LCC ayaksızdır. Bu sebepten ötürü, PLCC alternatif olarak LCC yerine tercih edilebilir.

**Tablo 1. 4. Paketleme çeşitleri [3]**

| Paketleme | Pin sayısı | Montaj şekli |
|---|---|---|
| DIP, CERDIP | 8-64 | TH |
| SIP | 5-40 | TH |
| ZIP | 14-28 | TH |
| QUIP | 14-64 | TH |
| SO, SOIC, SSOP | 8-32 | SM |
| LCCC, LDCC, LCC, PLCC | 16-200 | SM |
| FP, QFP, CQFP, FQFP PQFP, CERQUAD, TQFP | 10-300 | SM |
| PGA, PPGA, CPGA, | 68-500+ | SM |

Şekil 1.39' dan bazı genel sonuçlar çıkartılabilir: Verilen ayak sayısı için yatay paket kırmık taşıyıcıya göre daha küçük ayak kalınlığına sahiptir. İstisna olarak, TQFP daha düşük kesit ve daha küçük ağırlığa sahiptir. Ayak sayısını artırmak için DIP standardı olan 100 millik ayak kalınlığı küçültülmektedir.

### 1.3.2.1.8.3 Paketleme Seçimi

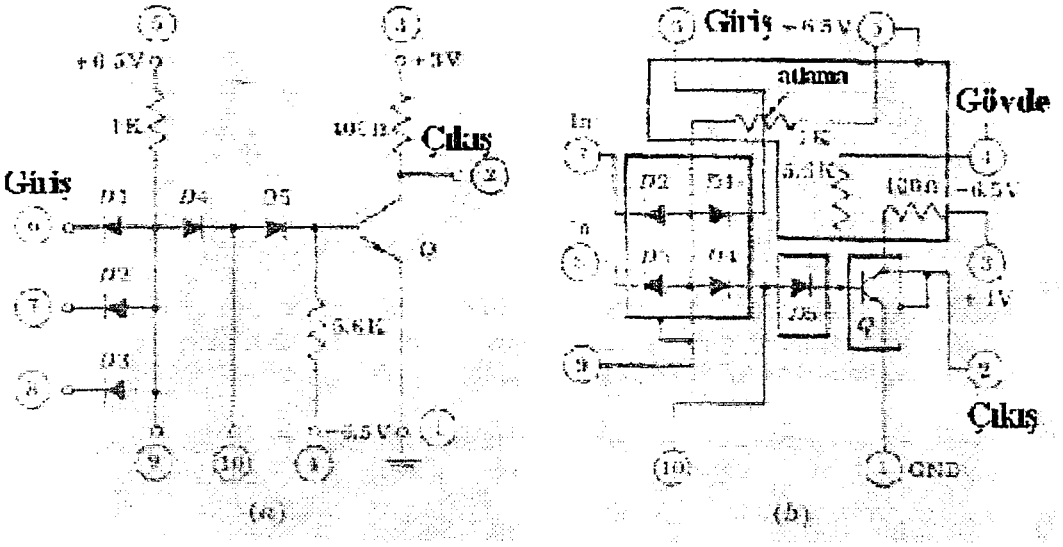
Paketleme seçimi ekonomik faktörlere, entegre üretimine ve paket montajına göre yapılır. VLSI kırmıklarda belirli bir paketleme çeşiti kullanılır. Örneğin; Intel 486SX mikroişlemcide 196 ayaklı QFP veya 168 ayaklı PGA ve TH veya SM montaj kullanılabilir. Plastik veya seramik kapsülleme çalışma şartlarına bağlı olarak seçilebilir.

Yatay paket ve kırmık taşıyıcının ayak sayısı 200dür. Bununla birlikte, yatay paket daha fazla sayıda ayak sayısına sahip olabilir. PGA' nın ayak sayısı ise en fazla 500 dür.

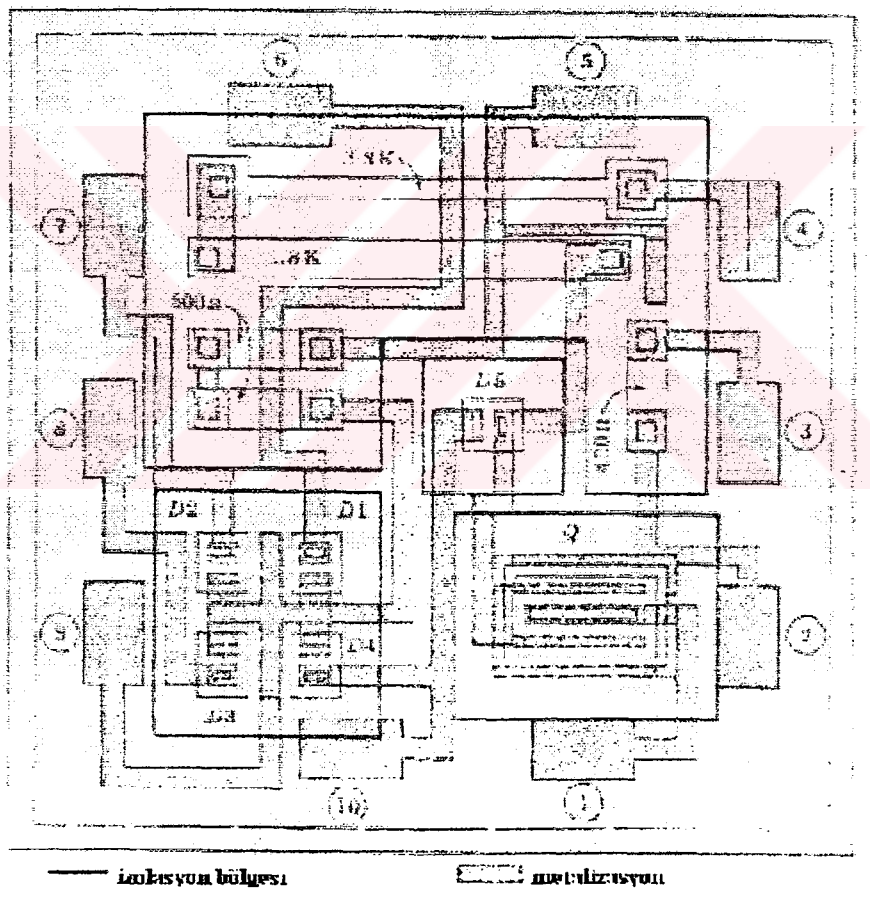
DIP' ten başka yeterli tanımlanmamış standartlar vardır. Ana üreticiler arasındaki işbirliği ile standartlar uyumlu hale getirilmektedir. ABD standardı JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council) ile EIA (Electronic Industries Association) işbirliği yaparak standartlar JEDEC ile tanınmaktadır. Aynı zamanda, EIA ile EIAJ(EIA of Japan) anlaşmaya vararak CQFP, QFP, MQUAD ve MicroCoal QUAD paketlemeler tasarlanmıştır. [3]

### 1.3.2.1.9 Yerleşim

Her bir devrenin yerleşim planı geometrik kısıtlama ve kurallara uymak zorundadır. Bu kurallara "**yerleşim tasarım kuralları**" denir. Bu kurallar genellikle difüzyon bölgesinin veya metal ve poli Si gibi bağlantıların en küçük hat genişliğini, en küçük boyut özelliklerini ve bu özellikteki iki eleman arası en küçük mesafeyi tanımlar. Eğer bir metal hattı çok küçük olursa, fabrikasyon aşamasında veya daha sonra açık devre olabilir.




**Şekil 1. 41. (a)DTL kapısı. (b) 10 ayaklı yeniden çizilmiş şeması [4]**



**Şekil 1. 42.Şekil 1.41 deki devrenin monolitik tasarım yerleşimi [4]**

Eğer iki hat birbirine çok yakın olarak yerleştirilirse fabrikasyonda veya daha sonra kısa devre olabilirler. Tasarım kurallarındaki temel amaç, en küçük Si bölgesi kullanmak, güvenirlik ve yüksek verimdir.

Genel olarak yerleşim tasarım kuralları uygulanarak yüksek verimde ürün üretme olasılığı önemli bir oranda artırılmıştır.

Tasarım kuralları genellikle iki şekilde tanımlanır:

- Mikron kuralları, en küçük büyüklük ve en küçük ayrılık mesafesi gibi yerleşim sınırlamaları, kesin olarak ve mikrometre cinsinden ifade edilir.
- Lamda kuralları, yerleşim sınırlamaları tek parametre ($\lambda$) ile tanımlanır. [7]

Şekil 1.41.a deki lojik devrenin monolitik devre yerleşimi Şekil 1.42 de gösterilmiştir.

Monolitik Yerleşim Tasarım Kuralları:
Aşağıdaki 10 kural Philips tarafından ifade edilmiştir.

a. En az atlama sayısı ve pin bağlantılarını belirlemek için şemayı tekrar çizin.
b. Kollektör potansiyeline göre izolasyon adacıkları sayısını belirleyin ve mümkün olduğu kadar alanı küçültün.
c. Aynı izolasyon adasındaki bir noktadan sabit potansiyelde tüm dirençleri yerleştirin ve bu izolasyon adasını devrede en pozitif potansiyele çevirin.
d. Devrenin en negatif potansiyelini gövdeye bağlayın.
e. Alt difüzyonu sağlamak için epitaksiyel kalınlığının iki katı kalınlığında izolasyon sınırı ayırın.
f. Difüzyonlu emiter bölgesi için 1-mil, baz ve kollektör kontağı için ½ mil genişlik kullanın.
g. Dilim büyüklüğü ile sınırlı direnç için mümkün olan en geniş tasarımı geliştirin. Dirençler aynı genişliğe sahip olmalı ve yakın olarak yerleştirilmelidirler.
h. Mümkün olan en küçük zar büyüklüğünü elde etmek için daima yerleşim düzenini optimize edin.
i. Devrenin performans gerekliliğine bağlı olarak eleman geometrilerini belirleyin.
j. Metalizasyonu kısa ve geniş tutun (özellikle emiter ve kollektör bağlantılarında).

Pin Bağlantıları: Şekil 1.41.a' deki devre Şekil 1.41.b' deki gibi yeniden çizilir. Çıkış ayakları 1,2,3,...10 olarak tanımlanır. Diyagramdan görüldüğü gibi güç kaynağı pinleri birbirine bağlanır ve bu girişler birleştirilirler. Genel olarak dış bağlantılar devrenin kullanıldığı sistem tarafından belirlenir.

Atlamalar: Monolitik devre yerleşimi sık olarak birbirini kesen iki iletim yolu gerektirir (Şekil 1.41.b deki 5 ve 6 numaralı bacaklar gibi). Bu atlamalar direk olarak yapılmaz. Çünkü elektrik kontağına neden olur. Bütün dirençler $SiO_2$ tabakası tarafından korunduğunda her bir direnç atlama bölgesi olarak kullanılabilir. Diğer bir ifade ile eğer Al metalleme direnç boyunca yapılırsa direnç ile Al arasında elektrik bir kontak olmayacaktır.

Bazı yerleşimler çok karışıktır. Ek atlamalar gerekli olabilir. Difüzyonlu yapılar atlama için kullanılabilir.

İzolasyon Adaları: İzolasyon adalarının sayısı belirlenir. Transistorun kollektörü bir izolasyon bölgesine ihtiyaç duyduğundan, Şekil 1.41.b de çizildiği gibi dikdörtgen çizilir. Çıkış pini 2' ye bağlanır ve bu izolasyon adası transistorun kollektörünü oluşturur. Sonra, tüm dirençler aynı izolasyon adasına yerleştirilir ve adalar daha sonra devredeki en pozitif voltaja bağlanır.

Diyot için gerekli izolasyon bölgelerinin sayısını belirlemek için önce hangi çeşit diyodun üretileceğine karar verilir. Kollektörün baza bağlanmasında ve E-B tipi genel anod diyodu için tek bir izolasyon adasına ihtiyaç vardır. Son olarak kalan diyot E-B diyodu olarak üretilir. Kollektör açık devre olup ayrı bir izolasyon adası gerektirir.

Fabrikasyon Aşamaları: Son monolitik yerleşim, en küçük dilim büyüklüğünü amaçlayan deneme yanılma işlemi ile belirlenir. Bu yerleşim Şekil 1.42' de görülmektedir. 4 izolasyon adası, 3 direnç, 5 diyot ve transistor belirlenmelidir. 5.6 K direncin 2 mil genişliğindeki 1.8K direnç ile 1 mil genişliğindeki 3.8K direncin seri bağlanması ile elde edilmesi ilginçtir. Yer kazanmak için direnç kendi üzerine katlanır. Ek olarak iki metal atlama bu dirençler üzerinden geçer.

Şekil 1.42' de görülen yerleşim, üretici monolitik tümdevre fabrikasyonu maskesini belirler.[4]

### 1.3.3 Film Devre

Film devreler ince ve kalın film olmak üzere ikiye ayrılır. İnce ve kalın film devreler ayrık elemanların uzantısı olarak düşünülebilir. Elemanlar izole gövde yüzeyi üzerine oluşturulur veya kurulur. Her iki metotta da buharlaştırma ve ipek ekran oluşturma teknikleri kullanılır. İnce ve kalın film devrelerin gelişmesi transistorların mikro minyatür şekilde üretilmesi ve planar pozisyonlu transistor pulların bulunması gibi yarı iletken tekniklerindeki gelişmeler sayesinde olmuştur. Film devreler monolitik devrelere alternatif olarak üretilmişlerdir. Genel olarak monolitik tümdevreler tercih edilen yaklaşımdır.

İnce film devreler 0,001-0,1 mil kalınlığında filmlerin buharlaştırılması veya saçılması ile hazırlanırlar. Gövde büyüklüğü 0,25-1 $inch.^2$ arasındadır. Dirençler, iki yüksek iletken bölgenin arasında şeritler şeklinde NiCr (Nichrome) ve Tantalum' un buharlaştırılması ile oluşturulur. Uzunluk, genişlik ve film kalınlığı değiştirilerek her iki malzeme 10Ω-1MΩarasında direnç üretmek için kullanılabilir. İnce film kondansatörler izole dielektrik ince dielektrik tabaka ile ayrılan iki iletim bölgesinden oluşur. Gerekli kapasite değeri dielektrik malzeme, kalınlığı ve elektrot büyüklüğü ile elde edilir. Tipik dielektrik malzemeler Tantalum oksit, Al oksit ve Si oksittir. Bazı üreticiler tüm direnç ve kondansatörler için tantalum malzemesi kullanır. Tantalum, film gövde üzerine saçılır. Direnç ve kondansatör modeli saçılan film üzerine geçirilir. Film daha sonra kondansatör dielektriğini oluşturmak üzere(Tantalum oksit) oksitlenir. Kondansatörün üst elektrotunu ve elemanların ara bağlantılarını oluşturmak için gerekli iletim modeli altın veya platin kullanılarak oluşturulur. Ayrık aktif yarı iletken elemanlar, devreye lehimlenecek diyod ve transistörler minyatür olarak kapsüllenmekteydiler. İnce film tekniğinde ise Si difüzyonlu planar transistor ve diyod pulları uygun iletim yollarına bağlandıktan sonra kimyasal yolla devreye bağlanırlar.

Kalın film tekniğinde normalde iletim yollarını ve pasif elemanları oluşturmak için ipek-ekran metodu kullanılır. Tipik bir gövde yaklaşık olarak 0.5 $inch^2$ büyüklüğünde ve 60 mil kalınlığındadır. Fabrikasyon işleminde, gövdedeki metal mürekkepli ara bağlantı modeli ekranlandıktan sonra gövde yaklaşık olarak 700°C sıcaklıkta ısıtılır. Dirençler için belirli bir metal cam kullanılır. Gövde direnç modelini oluşturmak için ipek bir ekrandan geçirilir ve birim tekrar yaklaşık olarak 700°C' de ısıtılır. Direnç değerleri kesinlikte %1 toleranslı olarak ayarlanır. Yüksek değerlerli kondansatörler devreye minyatür ayrık eleman olarak, düşük değerlerli kondansatörler film tipi gövde üzerine üretilirler. Önce platin alt elektrotu oluşturulur. Daha sonra cam ve seramik karışımı sulandırılmış katı dielektrik ısıtılır. Son olarak platin üst elektrot oluşturulur. Ara bağlantı modeli 2-3 mil kalınlığındaki lehim ile kaplanır.

Aktif elemanlar, diyod pulu ve tek yanlı planar transistor formundadır. Bazen yarı iletken pul küçük bir seramiğe monte edilir. Gövde üzerindeki iletken modeli, metal tasarım alanı ile belirlenir. Bu teknik sık olarak "**flip kırmık**" işlemi olarak adlandırılır. [1]

### 1.3.4 Multi-Kırmık Modülleri

Çok tabakalı tümdevre, çok tabakalı metalizasyona benzemekle beraber bağlantıya yardım eder. Modern çok tabakalı tümdevreler 4-10 devre tabakasına sahiptir. Özel ve çok pahalı tümdevreler 60 tabakalı olabilir. Genel olarak 4 tabakalılar popülerdir. 1μm lik yapılarda ayaklar arası mesafe 4μm dir. Paketlemenin diğer amacı alanın küçültülmesidir.

Multi-Kırmık Modülü (Multi Chip module:MCM) ilk önce 1980' de (IBM) ve 1984' de (NEC ve Mitshubi) tarafından üretilmiştir. MCM teknolojisi pahalıdır, fakat fonksiyon yoğunluğu ve çalışma hızı fiyatını tolore etmektedir. MCM genel oluşumu kritik fiyat analizine bağlıdır. Si iletkeni ince tabakalı tümdevre veya seramik gövdeden (hibrit IC) daha ucuzdur.

MCM, gövde bileşiğine göre üç sınıfa ayrılır:(1)Seramik(MCM Ceramic:MCM-C), (2) tabakalı PCB (laminated MCM: MCM-L) ve (3)dielektrik (Dielectric MCM: MCM-D). MCM-C tipi ilk üretilen MCM olup hibrit IC adaptasyonudur. MCM-L sınıfı en büyük kırmık yoğunluğuna sahip olup otomatik üretim için tasarlanmıştır. MCM-D ise Si yüzeyli gövdeye sahiptir.

Multi-Kırmık paketleme, paketleme teknolojisinde en hızlı büyüyen paketlemedir. SM' ye oranla PCB (Printed Circuit Board:PCB) ayak kalınlığında 5-10 kat oranında azalma vardır. Daha hızlı işletim hızına ve daha yüksek güvenirliğe sahiptir. MCM' nin fiyatı tek kırmıklı olanlara oranla daha düşüktür. MCM teknolojisi müşteriye ulaşmakla beraber endüstriyel elektronikte genel olarak kullanılmaktadır. [3]

## 1.4 Tümdevre Elemanlarının Elde Edilmesi

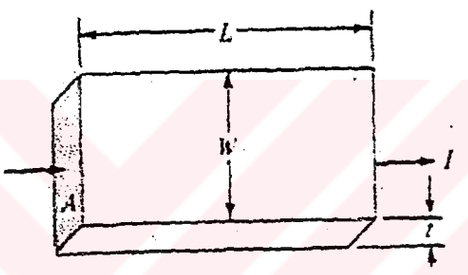
Direnç, kondansatör, bobin, diyot ve transistor tümdevre elemanlarının elde edilme yöntem ve teknikleri birbirinden farklı olmakla birlikte temelde aynıdır.

### 1.4.1 Direnç

Tümdevre direnç elde edilme yöntemine ve yapısına göre farklı isimler alır: çubuk, difüzyonlu, kısma, iyon implantasyonlu, ince film ve MOS direnç.

#### 1.4.1.1 Çubuk direnç

Direnç elde etmede kullanılan yarıiletken tabakalar çok incedir. Bundan dolayı "**çubuk direnci**" veya "**tabaka direnci**" Rs olarak adlandırılan niceliği kullanmak yerinde olur.




**Şekil 1. 43. Tabaka direncinin gösterimi [4]**

Şekil 1.43' de genişlik w, uzunluk L' dır. Öz direnci ρ, kalınlığı t,kesit alanı A=Lt dır. Bu iletkenin direnci (Ω/□,ohm/kare);

$$Rs=\rho L/Lt=\rho/t \quad (1.21)$$

Formülü ile hesaplanır. Rs, karenin büyüklüğünden bağımsızdır. Tipik olarak baz çubuk direnci 200Ω/□ ve emiter çubuk direnci 5Ω/□ dır. [4]

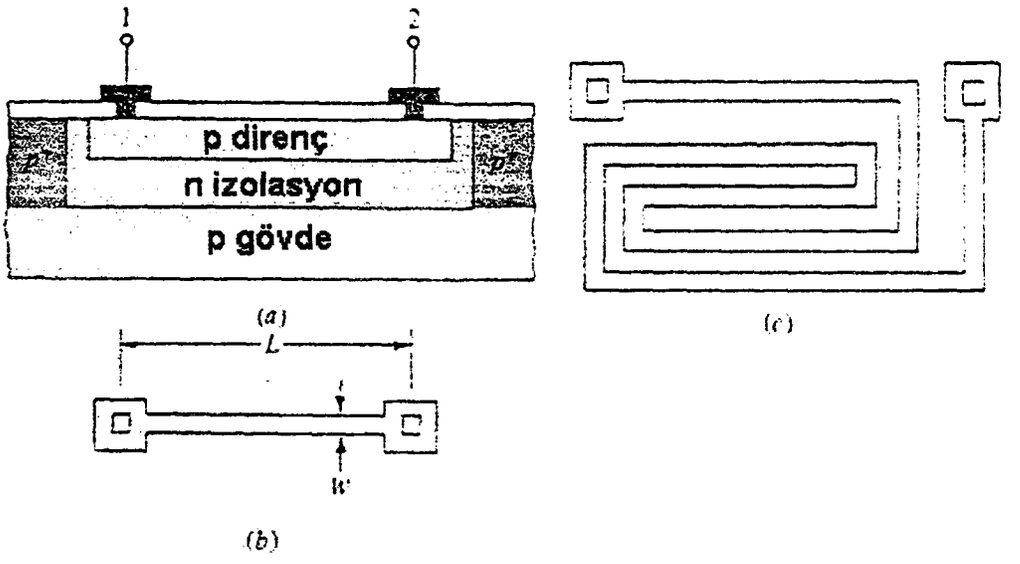
#### 1.4.1.2 Difüzyonlu direnç

Si, direnç gösteren bir elemandır. Si' un direnci, akım taşıyıcıları olan elektron ve boşlukların yoğunluğuna bağlıdır. Yani, Si pulda bir direnç belirlenen bölgeye belirlenen katkının difüze edilmesi ile oluşturulur. Direnç değeri bölgenin büyüklüğüne, difüzyon maddesinin yoğunluğuna ve difüzyonlu bölgenin derinliğine bağlıdır. Bir çok direnç p-tipi baz difüzyonlu transistorun difüzyonu sırasında oluşturulur. [1]

Baz difüzyonlu direnç yapısı Şekil 1.44.a' da görülmektedir. Bu direncin üst görünüşü ise Şekil 1.44.b' de verilmiştir. Direnç değeri aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$R=\rho L/tW=RsL/W \quad \text{.....(1.22)}$$

L: difüzyonlu bölgenin uzunluğu(μm)
W: difüzyonlu bölgenin genişliği(μm)




**Şekil 1. 44. p-tipi difüzyon direncin (a)yapısı(kesiti) (b)üst görünüşü (c)direnci artırma yöntemi [4]**

Örneğin; difüzyonlu baz genişliği 25μm ve uzunluğu 250μm ise bölge 10(25*25μm) kare içerir ve direnç değeri 10*200=2000Ω dur.

Şekil 1.44.a.'daki n-tipi epitaksiyel tabakası (kollektör bölgesi), p-tipi direnci diğer kırmık elemanlarından izole eder.

$n^+$-tipi emiter difüzyonlu dirençlerin yapısı baz difüzyonlu dirence benzer. p-tipi baz tabakasındaki $n^+$ difüzyonu, BJT' in emiter difüzyonu ile aynı zamanda gerçekleştirilir. Baz bölgesi, direnci diğer elemanlardan izole eder.

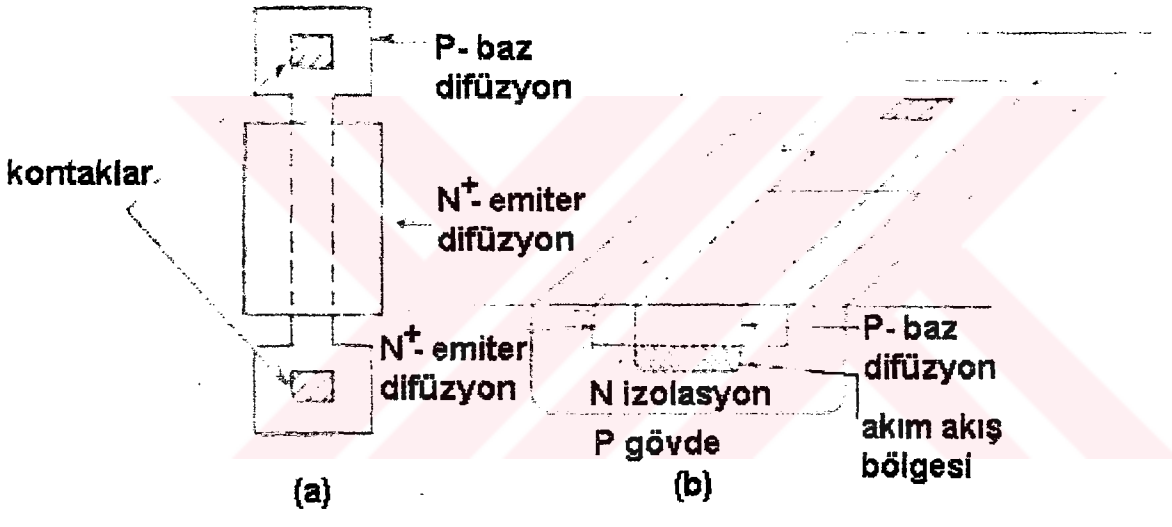
Baz ve emiter bölgesinin tabaka direnci üretim aşamasında oluştuğundan direnci kontrol edecek tek değişken çubuk uzunluğu ve genişliğidir. Çubuk genişliğinin 5μm den küçük olması çok nadirdir. Maskeleme ve fotolitografi direnç değerlerinin önemli bir şekilde değişmesine neden olur. Direnç uzunluğunu dolayısıyla direnç değerini büyütmenin bir yolu Şekil 1.44.c' de gösterilmiştir. Yollar katlanarak fazla alan kullanılmadan uzunluk arttırılabilir.

Difüzyonlu dirençlerin aralığı direnç alanının büyüklüğü ile sınırlıdır. Baz difüzyonlu dirençlerin aralığı 20Ω-30KΩ, emiter difüzyonlu dirençlerin aralığı ise 10Ω-1KΩ dur. Yüzey geometrisinden ve değişikliklerden dolayı toleransı ±20% (nominal değerin) ve en küçük genişlikteki geometride olan toleransı ±2% dır. 50μm mertebesindeki direnç genişliği için uyum toleransı yaklaşık olarak ±0.2% dır. Bu nedenle IC tasarımında kesin değerlerden ziyade direnç oranları kullanılır. Difüzyonlu dirençlerin değeri sıcaklık ile artar. Baz difüzyonlu dirençler için 2000ppm/°C ve emiter difüzyonlu dirençler için 600ppm/°C dır. [4]

Monolitik devrelerde dirençler transistor bölgelerinin direnci kullanılarak elde edilir. En çok kullanılan teknik difüzyonlu veya implantasyonlu p-tipi baz bölgesini kullanmaktır. Dirençler epitaksiyel tabaka ve $n^-$-emiter bölgesinden de üretilebilir. MOS teknolojisinde ise bazen poli Si tabakası kullanılır. CMOS fabrikasyonunda PMOS transistorun n-tipi gövdesi kullanılarak da direnç elde edilebilir. İnce film oluşturma ise çok farklı bir tekniktir.

### 1.4.1.3 Kısma Direnç

10KΩ/□ den büyük değerli dirençler emiter altındaki bazın çubuk direnci kullanılarak üretilebilirler. Bu işlem difüzyonlu direncin oluşturulması ve Şekil 1.45 de görüldüğü gibi $n^-$ difüzyonlu emiter bölgesinin üzerine yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Bu emiter bölgesi kendisini çevreleyen p-difüzyonuna göre pozitif gerilimle ön gerilimlenir. Bu şekilde elde edilen direnç işlemi JFET kanalında olduğu gibi bir kısma akımının akmasına neden olur. Böyle bir kısma direncin V-I karakteristiği FET çıkış eğrisine benzer. Direnç işlemi, E-B kırılma voltajından düşük voltajlar ile sınırlanmıştır. Bu dirençler yüksek toleransa (±50%) ve 100% olabilecek şekilde sıcaklığa duyarlıdırlar.




**Şekil 1. 45. Kısma direnç [8]**

### 1.4.1.4 İyon İmplantasyonlu Direnç

İyon implantasyonlu dirençler 5000Ω/□ çubuk direncine sahip olup ±1% toleransla üretilirler. Küçük alan kullanırlar. Bundan dolayı, küçük güçlü dijital ve lineer mikrodevrelerde kullanılırlar. Bağlantıların yapılacağı iki baz difüzyonu ile oluşturulurlar. Direnç bu iki bağlantı arasına implante edilir. Kontak pencereleri baz difüzyonu ile aynı anda yapılır. Ekili bölgedeki oksit şeritlenir ve yaklaşık olarak 1000°A kalınlığındaki oksit bu bölgede oluşturulur. Ekim bu oksit boyunca yapılır.

### 1.4.1.5 İnce Film Direnç

Bazı hassas devrelerde çok kararlı dirençler gereklidir. Dirençli malzemeler, ince filmlerin vakum buharlaşması ile oluşturulurlar. Metal Si mikrodevre, oksit tabakasının üzerine direk

olarak oluşturulur. [8] Bu dirençler kırmık kapsüllemeden önce lazer ile ayarlanırlar. NiCr ince film dirençler 40-400Ω/□ ve 20Ω/□-50KΩ/□ direnç değerlerine sahiptir. [4]

#### 1.4.1.6 MOS Direnç

Poli Si direnç, MOS transistorun kapı bölgesiyle aynı anda oluşturulur. Poli Si direnç difüzyonlu dirençlerle karşılaştırılabilecek derecede tolerans ve sıcaklık katsayısına sahiptir.

Gövde direnci, CMOS teknolojisinde PMOS transistorun gövdesini oluşturur ve n-tipi difüzyon işlemi ile elde edilir. . Benzer olarak BJT teknolojisindeki gövde direnci epitaksiyel dirençtir. Gövde dirençleri yüksek sıcaklık katsayısına ve zayıf toleransa sahiptirler.

MOS transistorun kendisi de bir dirençtir. Omik bölgede öngerilimlendiğinde MOSFET bir direnç gibi davranır. Artıran (Enhansment) ve azaltan (deplesyon) MOSFET doyum bölgelerinde doğrusal olmayan direnç olarak kullanılırlar.

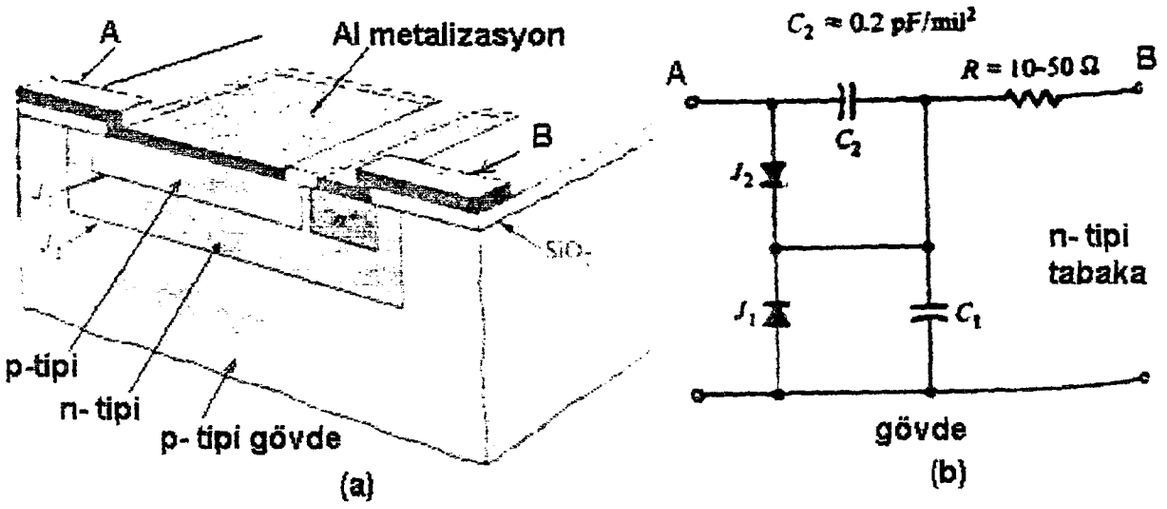
### 1.4.2 Kondansatör

Kondansatörler yüksek kesim frekansına ve uygulanan sinyalin büyüklüğünden bağımsız kapasiteye sahip olmalıdırlar. Bu özellikleri sağlayan tek kondansatör, izole maddenin her iki yanında vakum buharlaştırma ile elde edilen ince iletim filmli kondansatördür. [8]

IC içinde kondansatörler, ters öngerilimli p-n jonksiyonunun deplesyon bölge kapasitesi kullanılarak, MOS transistor veya ince film oluşturma ile elde edilir.

#### 1.4.2.1 Jonksiyon kondansatör

Jonksiyon kondansatörün kesiti Şekil 1.46.a da görülmektedir. Kondansatör, n-tipi epitaksiyel tabakasını üst p-tipi difüzyon bölgesinden ayıran ters öngerilimli jonksiyon (J2) ile oluşturulur. Ek bir jonksiyon (J1) n-tipi epitaksiyel düzlem ve gövde arasında oluşur. Ters öngerilimli jonksiyon parazitik kapasiteye (C1) neden olur. Jonksiyon kondansatörün eş değer devresi Şekil 1.46.b de gösterilmiştir. İstenilen kapasite C2, C1 den mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. C2' in değeri jonksiyon bölgesine ve katkı yoğunluğuna bağlıdır. Jonksiyon dereceli olarak arttırılabilir. Seri direnç (R=10-50Ω) n-tipi tabakanın direncini gösterir.

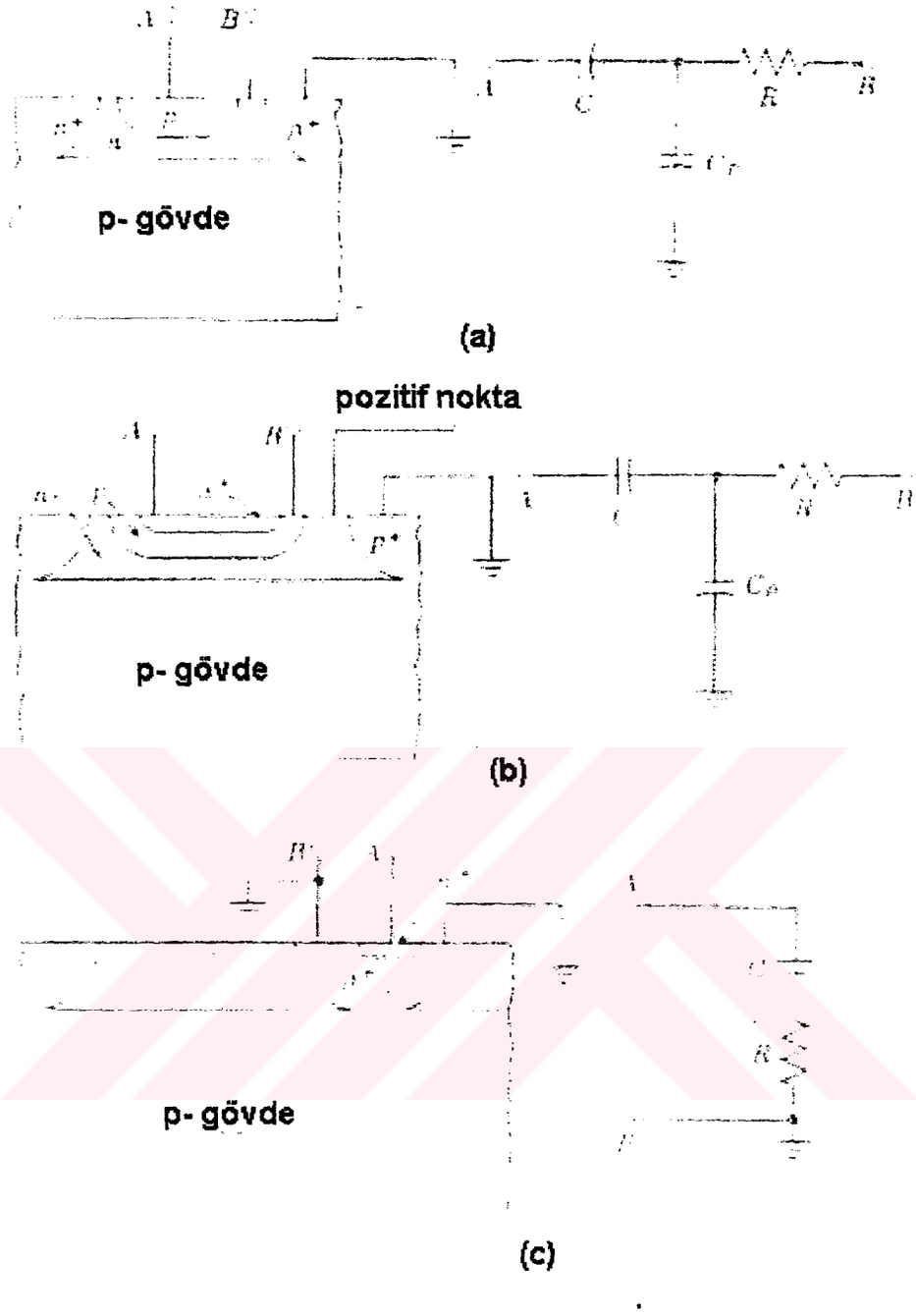



**Şekil 1. 46. (a)Jonksiyon tipi kondansatör (b)eşdeğer devresi [4]**

Gövde en negatif voltaj değerinde olduğunda C1 azalır ve J1 jonksiyonu ters öngerilimli tutularak kondansatör diğer elemanlardan izole edilir. p-n jonksiyonu J2 daima ters öngerilimli olduğundan jonksiyon kondansatörü (C2) polarmalandırılmalıdır. [4]

Şekil 1.47 de ters öngerilimli ve difüzyonlu p-n jonksiyonunun bazı çeşitleri ve eş değer devreleri verilmiştir. Bütün yapılarda kesim frekansını düşüren parazitik direnç olduğu görülmektedir. Yine bazıları parazitik Cp kapasitansına sahiptir.

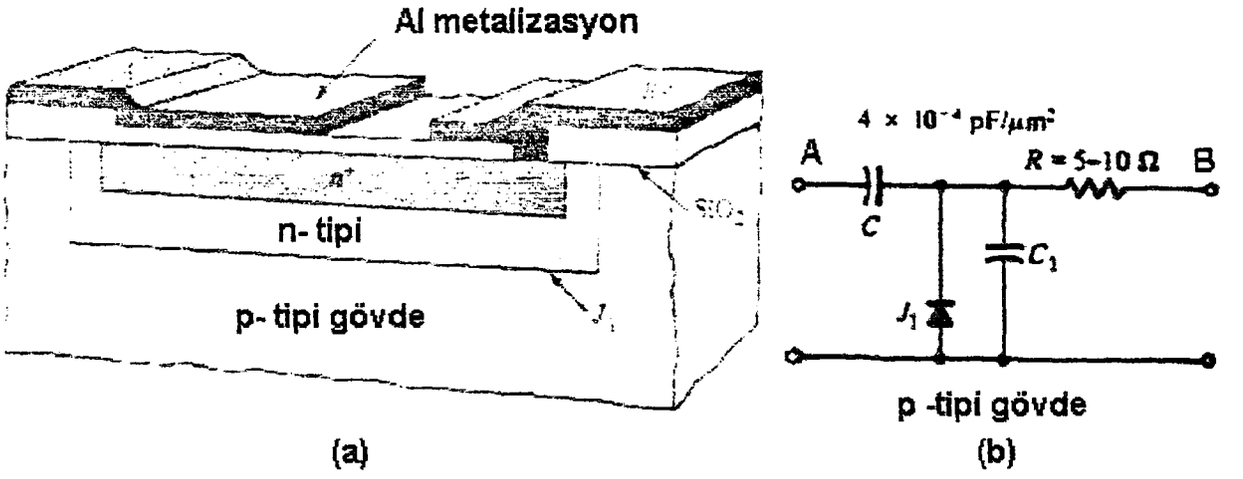
Bu kondansatörlerin tamamı voltaja bağlıdır ve devrelerde distorsiyon oluştururlar. Şekil 1.47.c deki yapıda eğer kondansatörün bir ucu şase ise kapasite değeri şartlar ile sınırlandırılmıştır. Buna rağmen, avantajlı tarafı ise izolasyon bölgesi fazla katkılı olduğundan birim alan başına düşen kapasite en büyük değere sahiptir. Difüzyon jonksiyonlu kondansatörler dijital devrelerde, hızlandırılmış kapasite tetikleme devrelerinde, geçici depolama ünitesi ve geçit kapasitesi olarak kullanılırlar. [8]




**Şekil 1. 47. Difüzyonlı jonksiyon kondansatörler [8]**

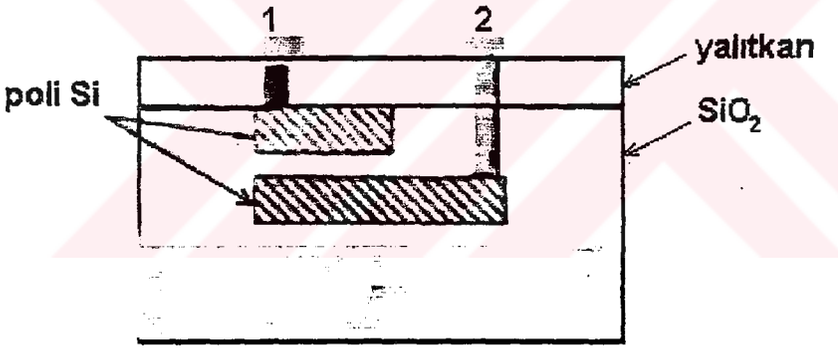
### 1.4.2.2 MOS ve İnce Film Kondansatörler

MOS polarizesiz bir kondansatör Şekil 1.48.a da gösterilmiştir. Bu yapı $SiO_2$ ' in ($SiO_2$ kalınlığı 500°A) dielektrik olduğu paralel plakalı kondansatördür. Metal (A) ince film yüzeyi üst tabakadır. Alt tabaka bipolar işlemde emiter difüzyonu veya MOS işleminde akaç ve kaynak bölgelerinin implantasyonu ile oluşturulan fazla katkılı $n^-$ bölgesidir. MOS kondansatörün eş değer devresi Şekil 1.48.b de gösterilmiştir. C1, C gövde jonksiyonu parazit kapasitesini ve R, $n^-$ bölgesinin küçük seri direncini gösterir. Üst tabaka metal olmayabilir, fakat MOS transistorun kapı bölgesini oluşturmak için poli Si tabakası kullanılır.




**Şekil 1. 48. MOS kondansatörün (a)yapısı (b) eş değer devresi [4]**

Bazı MOS işlemlerinde, elemanlar arası ek ara bağlantı tabakası olarak iki poli Si tabakası kullanılır. İki poli Si tabakası ince $SiO_2$ bölgesi ile ayrılır ve kondansatör oluşturulur(Şekil 1.49). Bu şekilde üretilen kondansatörlere "**poli poli kondansatör** " denir.




**Şekil 1. 49. Poli-poli kondansatör yapısı [4]**

İnce film kondansatörler MOS kondansatöre benzer şekilde üretilirler. $SiO_2$ tabakası (dielektrik) üzerine oluşturulan ince iletken film üst tabakayı oluştururken oksit altındaki fazla katkılı $n^-$ bölgesi alt tabakayı oluşturur.

MOS veya jonksiyon kondansatörlerin değeri çok küçüktür(genellikle $4.10^{-4}$ pF/μm$^2$). Yani 40 pF lık bir kondansatör $10^5$μm$^2$ alana sahiptir veya 1*0,1mm kırmık yüzeyini kaplar. Birçok IC kondansatör değeri tipik olarak 100pF dan daha düşüktür.

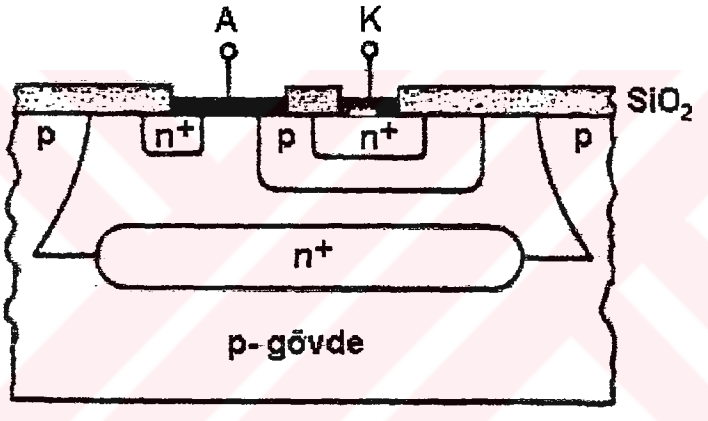
Tantalum filmler ile birim alanı başına düşen kapasite 10 kat artmaktadır. $Ta_2O_5$ oluşumu dielektrik olarak kullanılır ve metal Tantalum üst plaka olarak oluşturulur(Al, $Ta_2O_5$ de çözündüğünden). Arttırılan kapasite ek işlem adımları ile elde edilir.

### 1.4.3 Bobin

1972 ye kadar Si yarıiletken gövde üzerine veya ince film tekniği kullanılarak pratik bobin elde edilememiştir .Bundan dolayı, bobin mümkün olduğu kadar tümdevrelerde kullanılmaz. Bobin kullanmak gerekli olursa ayrık eleman tümdevreye dışarıdan ilave edilir. [4]

### 1.4.4 Diyod

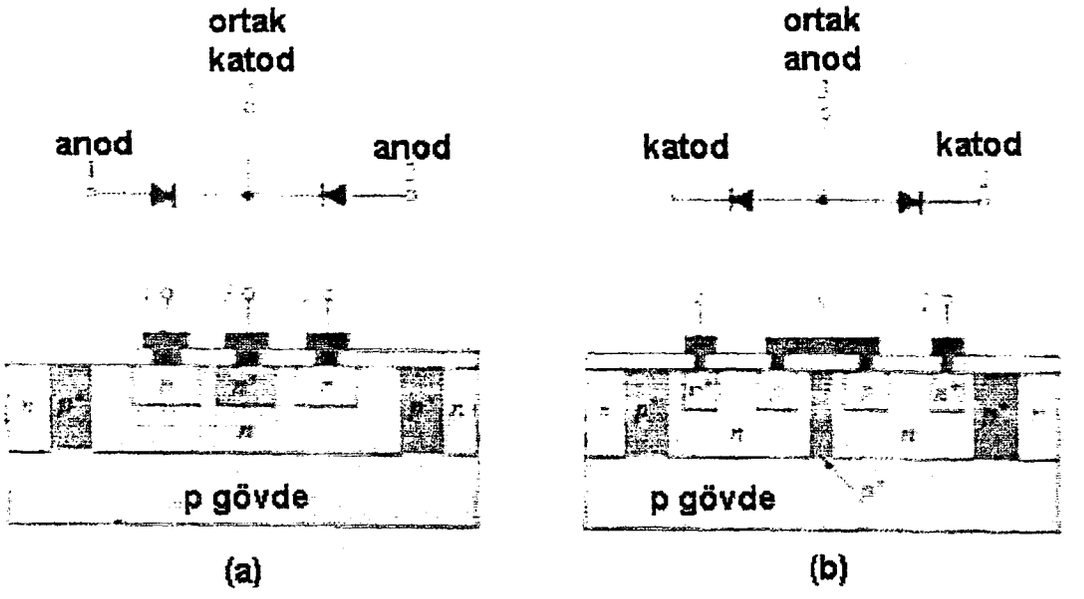
Monolitik IC de p-n jonksiyon diyod elde etmek basit bir işlemdir. Diyod elde etmek için ayrı bir difüzyona gerek yoktur. Transistor yapısı kullanılarak diyod elde edilmesi genel bir uygulamadır. Transistoru diyod olarak kullanmanın 5 yolu vardır: (1)E-B jonksiyon diyodu (C-B e kısa devre edilir.), (2)açık kollektör ile birlikte E-B jonksiyonu, (3)açık kollektör ile birlikte C-B jonksiyonu, (4)açık emiter ile birlikte C-B jonksiyonu ve (5) emiterin kollektöre bağlandığı C-B jonksiyonu. Bu 5 farklı metottan en genel olanı kollektörün baza bağlandığı E-B diyodudur. Şekil 1.50 de bu bağlantının kesiti görünmektedir. Bu konfigürasyon, verilen ileri yön akımında düşük jonksiyon voltajı gerektiren kısa baz diyodudur ve yüksek anahtarlama hızına sahiptir. [2]



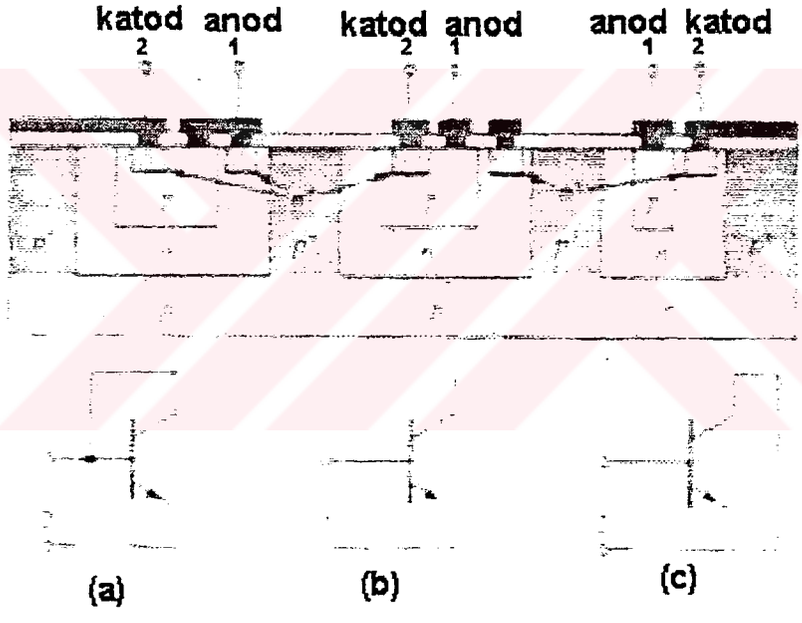

**Şekil 1. 50. C in B e kısa devre edildiği E-B diyodu [2]**

Diyod seçimi, uygulamaya ve istenilen devre performansına bağlıdır. C-B diyodu kollektör jonksiyonunun (en az 12V) yüksek C-B kırılma voltajına sahiptir ve Şekil 1.51.a da görüldüğü gibi ortak katot diyod dizisi için uygundur. Ortak anot dizisi, Şekil 1.51.b de görüldüğü gibi C-B difüzyonu ile yapılır. Her bir diyod için ayrı bir izolasyon gerekir ve anotlar metaller ile bağlanır.

E ve B bölgeleri, devrenin ters geriliminin en düşük B-E kırılma voltajını (7V) aşmaması şartı ile diyod üretilmesinde çok popüler olarak kullanılırlar. Ortak anot dizisi, tek izolasyon bölgesinde multiemiter transistor kullanarak emiter ve baz difüzyonları ile elde edilir. Şekil 1.52.a da görüldüğü gibi C B e bağlanabilir veya Şekil 1.52.b de görüldüğü gibi C açık bırakılabilir.




**Şekil 1. 51. Diyod çifti (a) ortak-katot (b) ortak-anot [4]**



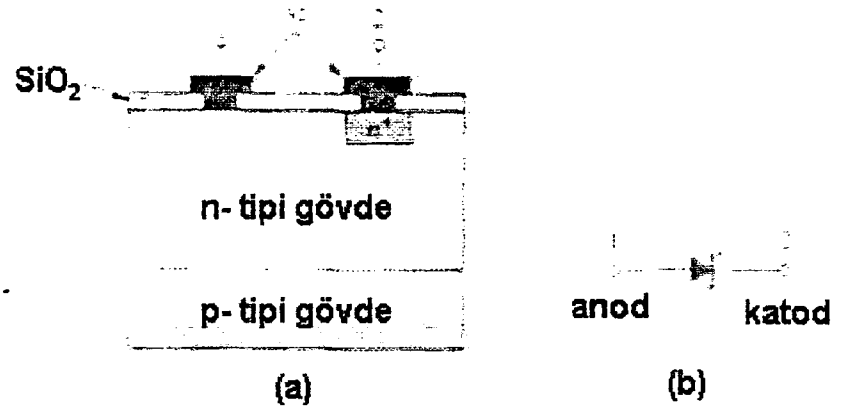

**Şekil 1. 52. IC diyodlar (a)E-B diyodu (C, B ye bağlı) (b)E-B diyodu (C açık) (c)C-B diyodu (emiter difüzyonu veya ekimi yok) [4]**

### 1.4.4.1 Schottky Diyod

İki çeşit metal yarıiletken jonksiyonu vardır: (1)Omik(doğrultucu olmayan) ve (2)doğrultucu. İlki bir ayağın yarıiletkene bağlanmasında kullanılır. Diğer taraftan, doğrultucu kontak Schottky engel denilen metal yarıiletken diyodda kullanılır.

Al, Si ile bağlandığında p-tipi katkı gibi davranır. Al, n-tipi Si ayak olarak bağlanırsa ve omik kontak istenirse p-n jonksiyon oluşumu önlenmelidir. Bu nedenden dolayı, Al' un

oluşturulduğu yüzeyin yanındaki n-bölgesi içine $n^+$ difüzyonu gerçekleştirilir. Diğer taraftan, $n^-$ difüzyonu yapılmazsa ve Al n-tipi Si üzerine direk olarak oluşturulursa oluşan p-n yapısı çok iyi bir metal yariletken diyoddur. Şekil 1.53.a deki Kontak 1 Schottky engelidir. Kontak 2 omik kontaktır. Schottky diyodu Şekil 1.53.b de görüldüğü gibi bu iki terminal arasında oluşur. [4]




**Şekil 1. 53. IC Schottky diyod (a)yapısı (b) sembolü [4]**

Schottky diyodlar BJT-tabanlı mikrodevrelerde de kullanılırlar. Bu uygulamalarda yüksek hız istenir. Transistorun C-B bölgesi arasına konarak transistorların doyuma gitmesini önlerler. Bu yaklaşımın en önemli yararı, kontrol edilmesi çok zor olan altın katkılamanın önlenmesidir. [8]

### 1.4.5 Bipolar Transistör Fabrikasyonu

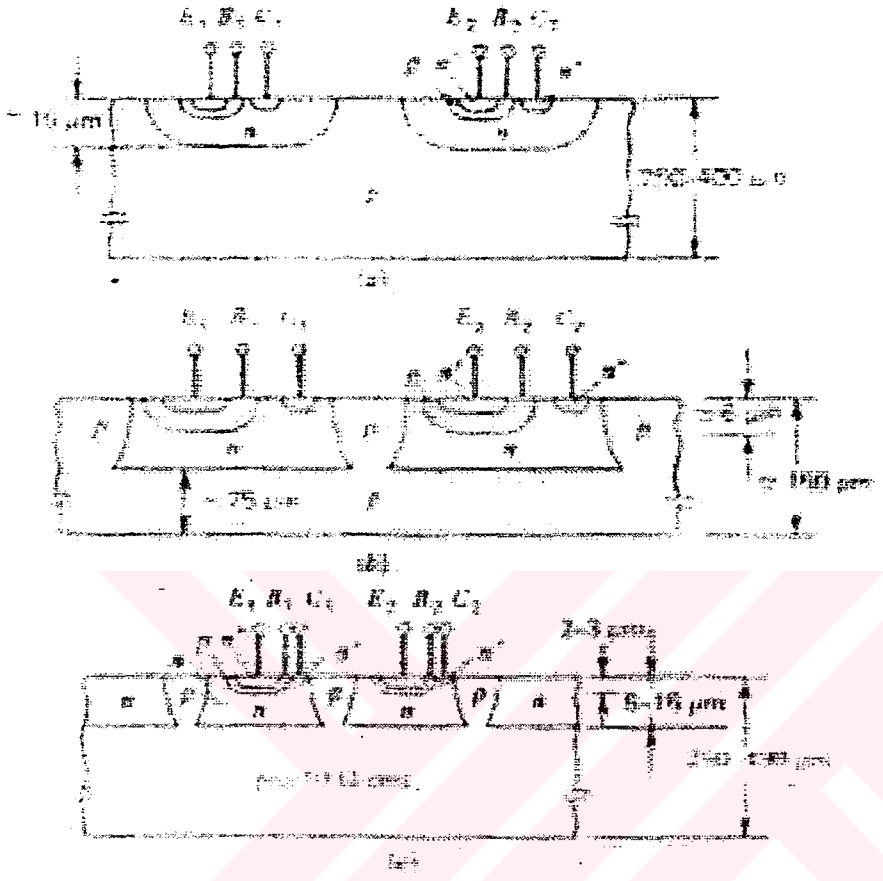
Bipolar jonksiyon transistör(Bipolar Junction Transistor:BJT) dijital ve analog devrelerde aktif eleman olarak kullanılır. MOS' a göre daha büyük olup daha fazla güç harcar. Bundan dolayı, yüksek yoğunluklu dijital tümdevrelerde MOS elemanları kullanılır. Buna rağmen, yüksek hızlı ve tasarım esnekliği olan devrelerde BJT kullanılır.

BJT temelli devrelerde, aktif eleman ve pasif elemanlar birlikte kullanılır. Pasif elemanlar diyod, direnç ve kondansatör çeşitlerinden oluşur. Aktif elemanlar birkaç çeşit n-p-n ve p-n-p transistör, ters küçük β, süper β multiemiter ve 'multikollektör transistör gibi özel amaçlı elemanlar ve sık olarak jonksiyon kapı veya izole kapılı FET' dır.

Geleneksel tüp izoleli BJT geliştirilmiş teknolojilere öncülük ettiği için ayrıntılı olarak incelenecektir. Daha sonra bazı yeni yapılar incelenecektir.

Çift difüzyonlu epitaksiyel işlemde (Double Diffused Epitaxy:DDE) Şekil 1.54.c de görüldüğü gibi elemanlar tüp içerisine yerleştirilerek ayrılırlar. Bu işlemde başlangıç malzemesi hafif katkılı p-tipi Si' dur. Başlangıç direnç aralığı 3-10Ω-cm olarak belirlenir ve bazı durumlarda bu değerlerden büyük değerler kullanılamaz. n-tipi Si tabakası uygun kalınlık ve dirençte bu dilim üzerinde epitaksiyel yolla oluşturulur. İzolasyon, üst yüzeyden (epitaksiyel tabaka yanı) $p^-$ maddesinin difüzyonu ile gerçekleştirilir. Transistor ve diğer elemanlar n-tipi oluşan tüp içinde üretilir.

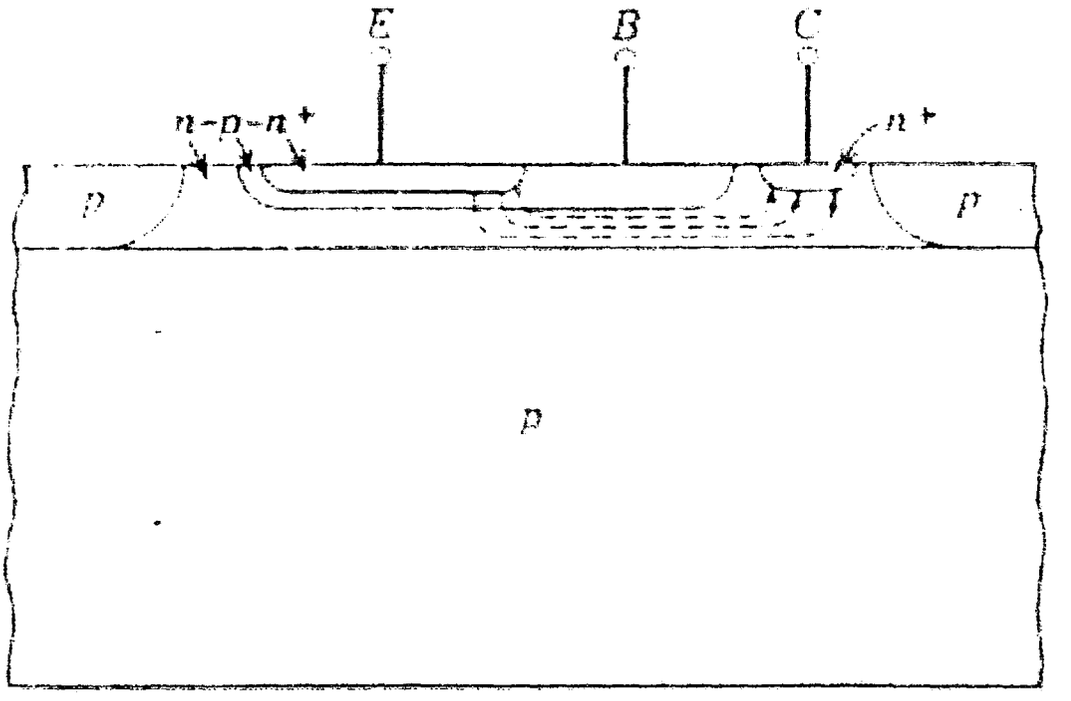
Epitaksiyel tabakası, eleman üretmek için yeterince ince olmalıdır. Diğer taraftan, gövde istenilen kalınlıkta olabilir. Gövde kalınlığı 100mm ve daha büyük dilim çapı için 250-400μm dır. Son olarak izolasyon difüzyonunun yatay olarak gerçekleşmesi Si yüzeyi difüzyonu ile yaklaşık olarak aynıdır. Bundan dolayı, DDE işlemi çok zayıf yapılır. Böylece eleman izolasyonu için kullanılan fazla bölgenin azaltılması sağlanmış olur.



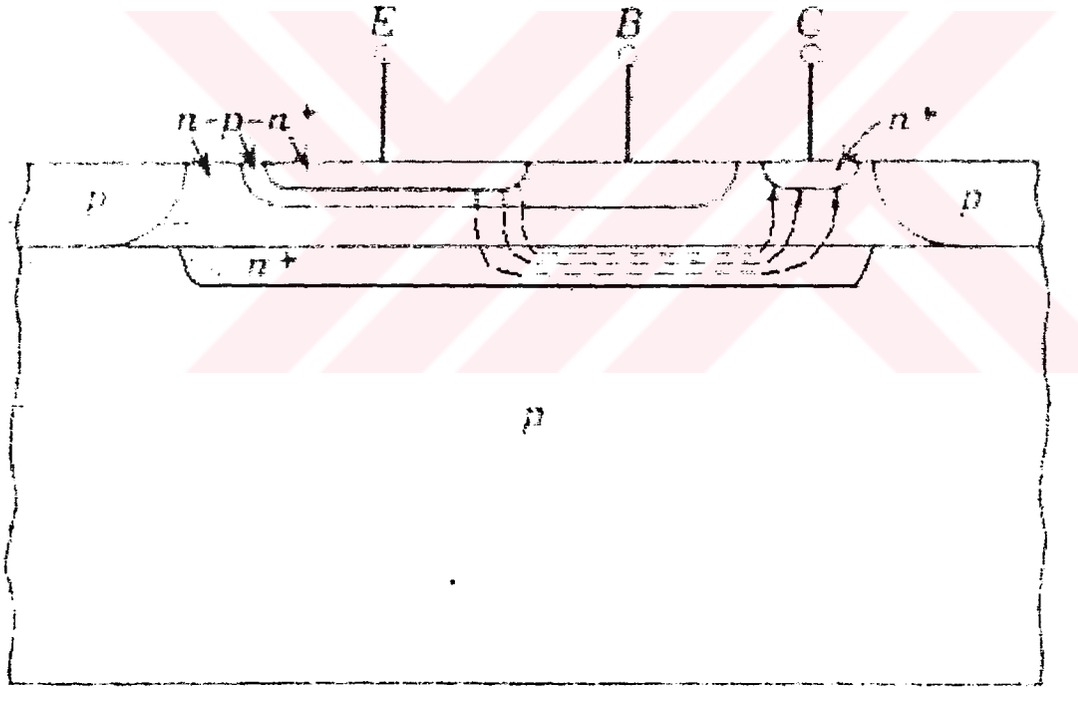
**Şekil 1. 54. Jonksiyon izolasyon (a)üçlü difüzyon (b)iki yanlı işlem**

**(c)çift difüzyon epitaksiyel işlemi [8]**

Bu tarzda yapılan elemanlar Şekil 1.55.a da görüldüğü gibi yüksek parazitik kollektör direncine sahiptirler ve emiterden $n^+$ kollektöre doğru bir akım akar. Şekil 1.55.b de görüldüğü gibi epitaksiyel oluşumdan önce düşük dirençli tabaka (gömülü tabaka) oluşturulmaktadır. Kollektör akımının yönü de gösterilmiştir. Burada gömülü tabaka direnç görevi gördüğünden parazitik kollektör direncinde azalma olur. Yüksek hızlı küçük geometrili transistorlar için gömülü tabakanın kullanılması kollektör direncini yaklaşık olarak 20 kat azaltır ve GBW (Gain Band Width:GBW) artar.



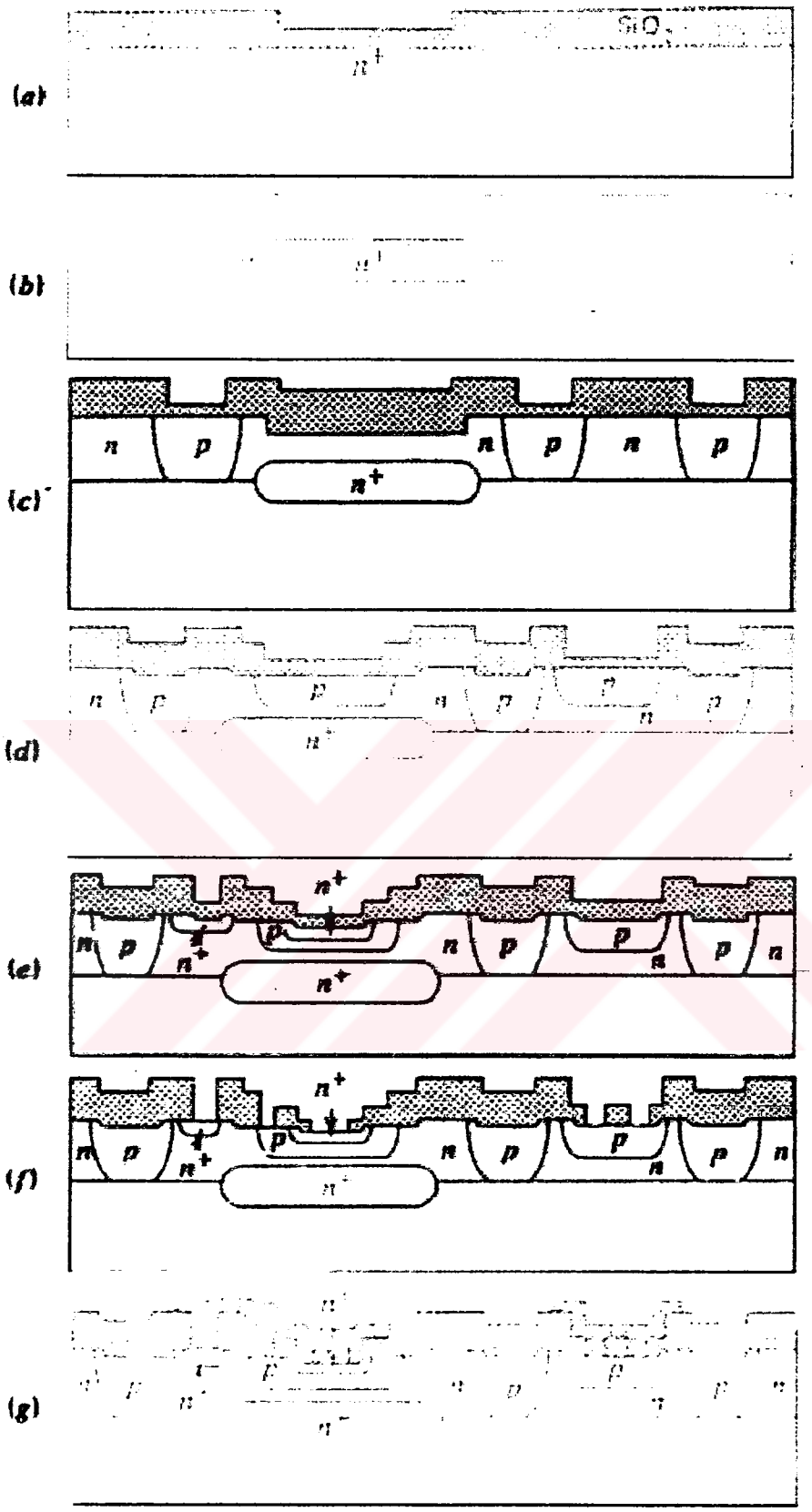

(a)




(b)

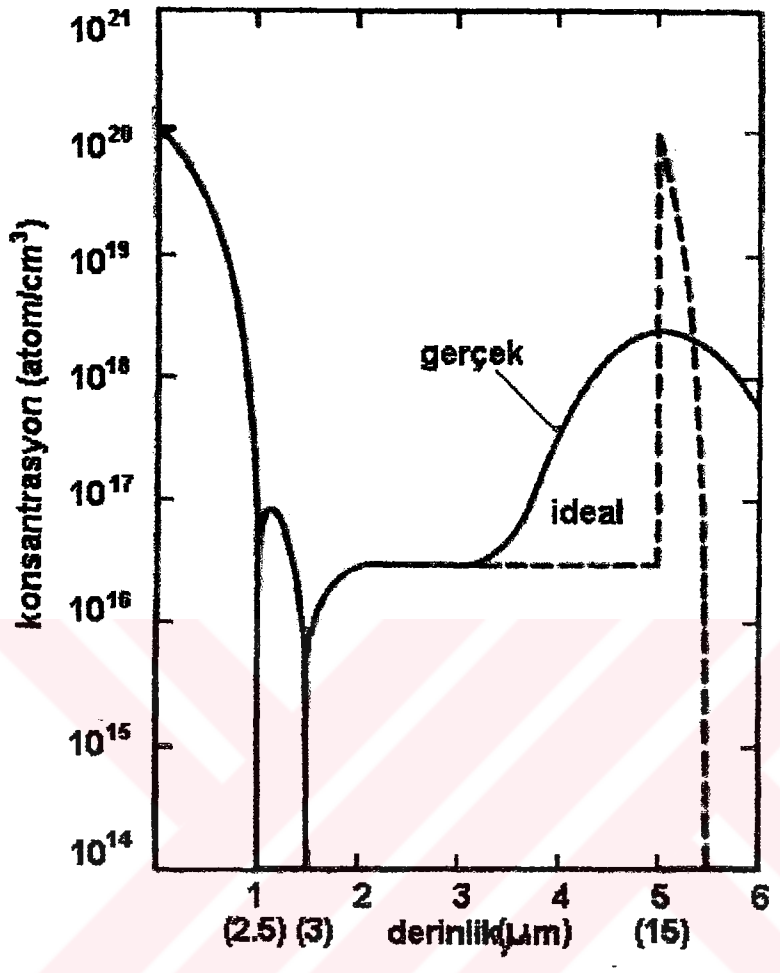
**Şekil 1. 55. Gömülü tabaka [8]**

Böyle elemanların işlem sırası Şekil 1.56 da gösterilmiştir. İkinci izolasyon tüpü difüzyonlu direnç ile elde edilmiştir. İşlem farklılıkları; (a)bir veya daha fazla bölge için implantasyonun kullanılması ve (b)uzun difüzyon kadar yüksek iletkenlik gerektiren gömülü tabaka ve izolasyon duvarı gibi bölgelerin oluşturulması için çift maskeleme ve ön oluşturmanın kullanılmasıdır.




**Şekil 1. 56. Jonksiyon izoleli bipolar tümdevre işlemi [8]**

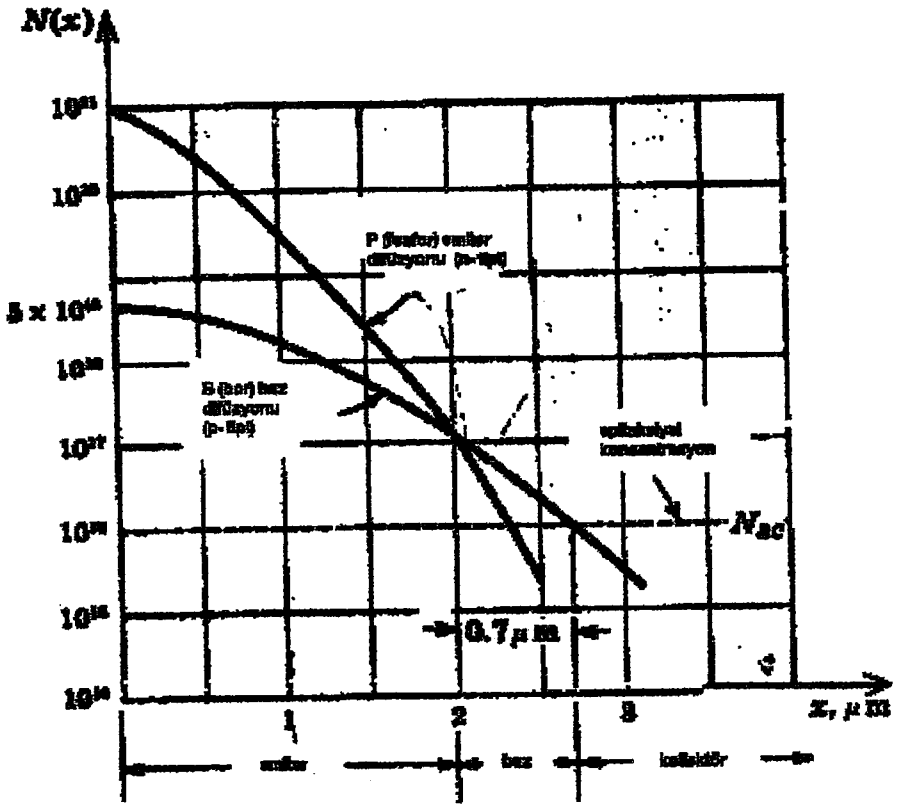
Şekil 1.57, DDE prosesi ile oluşturulan geleneksel transistorun katkı profilini, 5V dijital devrelerde kullanılan elemanlar için katkı yoğunluğunu ve tipik boyutları göstermektedir. Parantez içerisindeki sayılar 15V analog uygulamalarda kullanılan elemanlar içindir. [8]




**Şekil 1. 57. Gömülü tabakada ideal ve gerçek katkı profilleri [8]**

### 1.4.5.1 Katkı Profili

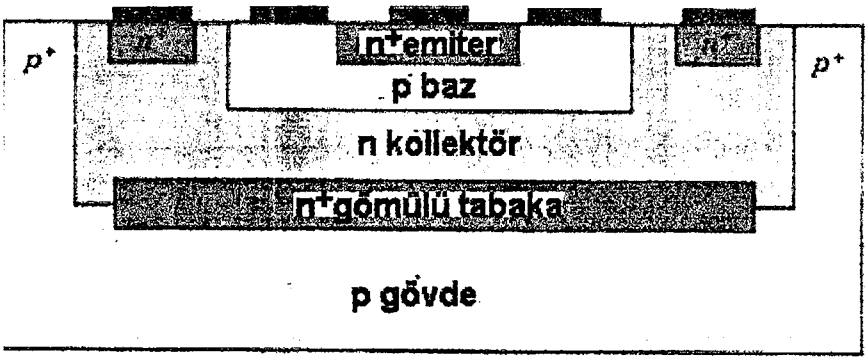
Şekil 1.58, monolitik tümdevre transistor için katkı profilini göstermektedir. Epitaksiyel kollektör veya arka şase konsantrasyonu $N_{BC}$ kesik çizgi ile gösterilmiştir. p- tipi katkının (B) baz difüzyonu yüzey yoğunluğu en az $5.10^{18}$ atom/cm$^3$ ve kollektör jonksiyonu derinliği 2.7µm difüzyona uğratılır. Emiter difüzyonu yüzey konsantrasyonu (P) $10^{21}$atom/cm$^3$ ve emiter jonksiyonu derinliği 2µm olacak şekilde difüzyon işlemine tabi tutulur. Bu jonksiyon B ve E katkı dağılımının kesişimine denk düşer. Böylece B kalınlığı 0.7µm olmaktadır.




**Şekil 1.58 Monolitik entegre transistorda katkı profilleri [4]**

### 1.4.5.2 Gömülü Tabaka

Yukarıda da açıklandığı gibi üst kollektör kontağından dolayı tümdevre transistor ayrık tip transistordan daha büyük seri kollektör direncine sahiptir. Bu seri kollektör direncini azaltmanın bir yolu Şekil 1.59' da görüldüğü gibi n-tipi epitaksiyel kollektör ile p-tipi gövde arasına yüksek katkılı $n^+$ gömülü tabaka yerleştirmektir. Gömülü tabaka yapısı n-tipi epitaksiyel kollektörden önce gövde içine $n^+$ tabakanın difüze edilmesi ile veya seçilen n-tipi tabakanın maskeli epitaksiyel teknikler kullanılarak oluşturulması ile elde edilir.




**Şekil 1. 59. $n^+$ gömülü tabaka kullanımı [4]**

Entegre transistorların genellikle n-p-n tipi olmasının bir nedeni de şudur: Kollektör bölgesi, baz ve emiter difüzyonu sırasında ısıya maruz kalır. Kollektör katkılarının difüzyon katsayısı kollektör jonksiyonunun hareketini önlemek için mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. n-tipi katkıların difüzyon sabiti p-tipi katkıların difüzyon sabitinden daha küçük olduğu için kollektör genellikle n-tipidir. Ek olarak bazı n-tipi katkıların katı çözünürlüğü p-tipi katkıların katı çözünürlüğünden daha yüksek olduğundan, n-tipi katkılar $n^+$ -tipi emiter ve diğer $n^+$ bölgelerin daha yoğun katkılı olmasına izin vermektedir. [4]

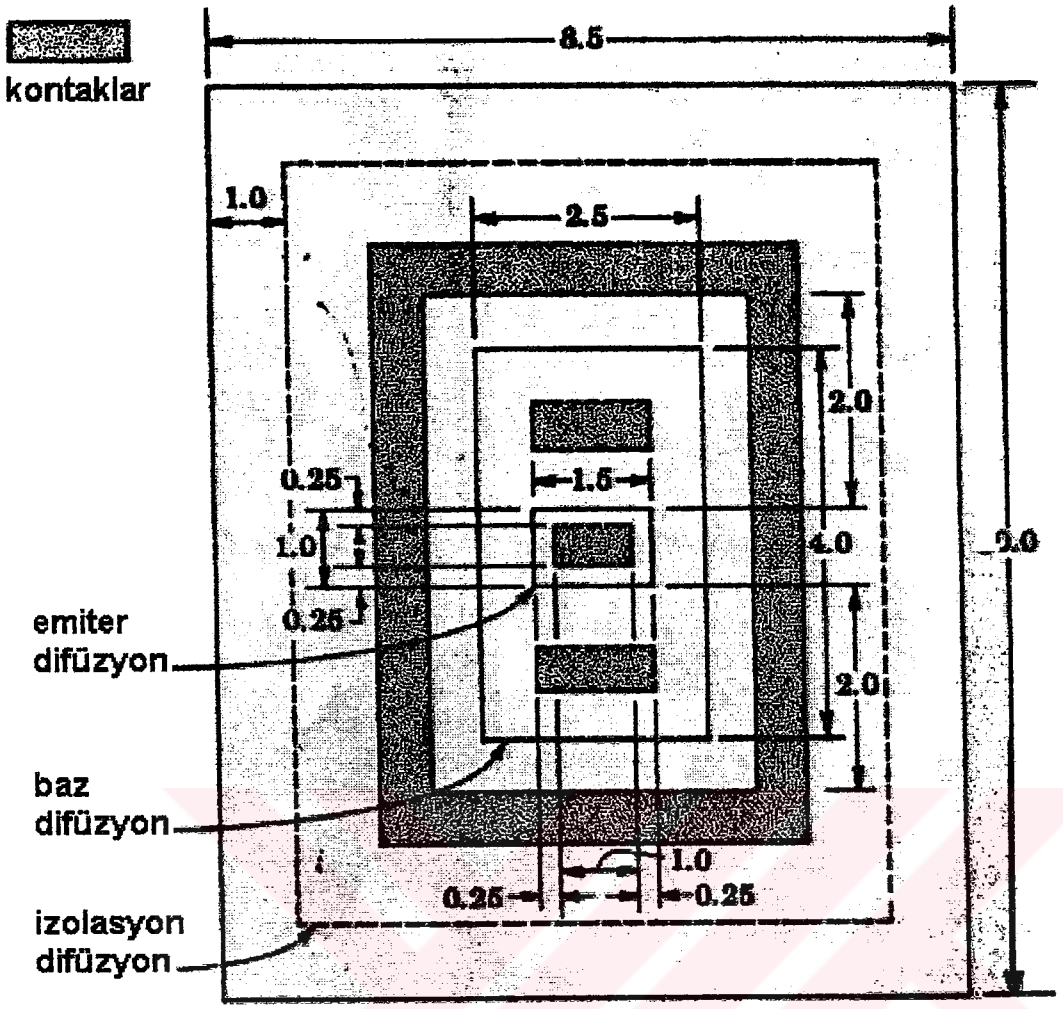
Gömülü tabaka, Si dilimine eklenen ilk bölge olup yüksek sıcaklıklı işlemler sırasındaki hareketlere bağlıdır. Yavaş yayılan(Antimon ve Arsenik) malzemeler bu hareketi azaltmak için kullanılırlar.

Gömülü tabaka, tabaka direncinin azaltılması için yüksek oranda katkılanır. Sonuç olarak, epitaksiyel oluşum ve işlem adımları sırasında difüzyon işlemi yer alır. Bu problemi kısmı olarak azaltmak için bu tabaka uzun süre difüzyon işlemine tabi tutularak yüzey konsantrasyonu azaltılır. Böylece düşük tabaka direnci ortaya çıkar.

Gömülü bölgede bazen At(Antimon) kullanılır. At' in yüksek uyumsuzluk faktörü ($\varepsilon$=0,153) ve düşük katı çözünürlüğü, 15-20Ω/□ dirençli tabakalarda kullanılmasını engeller. As(Arsenik) ile Si yapısının uyumu yapıya zarar vermeden yüksek konsantrasyona imkan verir. 5Ω/□ den küçük dirençli tabakalar bu katkı maddesi ile elde edilebilir. [8]

### 1.4.5.3 Monolitik transistor yerleşimi

Transistorun fiziksel büyüklüğü jonksiyon kapasitesini olduğu kadar parazitik izolasyon kapasitesini de etkiler. Bundan dolayı, yüksek frekans ve yüksek anahtarlama hızında çalıştırılacak entegre transistorlar küçük geometrili olmalıdır. Tipik bir monolitik transistor geometrisi Şekil 1.60' da görülmektedir. Emiter dikdörtgeni 1.0*1.5 mil genişlik ve 2.5*4.0 mil uzunluğundaki baz bölgesine difüze edilir. Baz kontağı, emiterin iki yanındaki iki metal ile sağlanır. Dikdörtgen metal bölge kollektör bölgesine omik kontak oluşturur. Dikdörtgen kollektör kontağı doyum direncini azaltır. Bu yapıdaki gövde yüzeyden 1 mil aşağıya yerleştirilir. Difüzyon işlemi üç boyutlu olduğundan yatay difüzyon aralığı 1 mil olmalıdır. Şekil 1.60' deki kesik çizgiler 6,5*8.0 mil büyüklüğündeki gövde bölgesini gösterir. [4]




**Şekil 1. 60. Monolitik transistor geometrisi (ölçü birimi: mil ) [4]**

### 1.4.5.4 Transistor Tipi Seçimi

n-tipi başlangıç malzemesi seçilirse $p^+$-n-p , p-tipi başlangıç malzemesi seçilirse $n^+$-p-n transistor elde edilir. Genel olarak $n^+$-p-n transistor $p^+$-n-p transistora aşağıdaki sebeplerden dolayı tercih edilir:

i. Transistorun emiter bölgesi etkili işlem için yüksek oranda katkılandırılmalıdır. As ve P, B' a(yani $n^+$-tipi emiter $p^+$-tipine göre) tercih edilir. Çünkü daha küçük uyumsuzluk faktörüne sahiptirler.

ii. Difüzyon işlemi sırasında B' lu bölgelerde katkı azalması olmasına rağmen, P' lu bölgelerde katkı azalması olmaz. $p^+$-n-p transistorda az katkılanan bölge (kollektör) p-tipidir. Çünkü deplesyon etkisi bu bölgede çok ciddi boyutlardadır. $n^+$-p-n transistorda B deplesyonu çok katkılı baz bölgesinde gerçekleştirilir. Böylece problem daha kolay çözülür.

iii. $n^+$-p-n transistorda kollektör omik kontağı emiter ile aynı anda difüze edilen $n^+$-bölgesi ile yapılır. $p^+$-n-p elemanında baz kontağı $n^+$- bölgesi ile gerçekleştirilir. Böyle bir bölge ek maskeleme ve difüzyon adımları gerektirir.

iv. Oluşturulan oksit tabakasının yük durumu, yanındaki yüzey bölgesinde n-tipi kaymaya neden olur. Yani n-tipi yüzey tabakası daha fazla n-tipi olmasına rağmen p-tipi tabaka daha az p-tipidir. Az katkılı p bölgesi kolay etkilenir ve belirli koşullar altında n-tipine çevrilir. $p^+$-n-p transistorun kollektörü elemanda en az katkılı bölge olduğundan bu yüzeyin çevirme etkisi vardır.

$p^+$-n-p transistorlarda yüzey çevrilmesi bitişik baz ve izole bölgeler arasında kısa devrelere sebep olur. Kollektör yüzeyinin ortasından dar $p^+$ koruma halkası oluşturularak bu etki önlenebilir. Bu halka fazla katkılı olduğundan p-tipi olarak kalır ve çevrim tabakasının tüm kollektör yüzeyi boyunca yayılmasını önler. Buna rağmen, onun varlığı büyük kollektör tüplerinin kullanılmasını gerektirir.

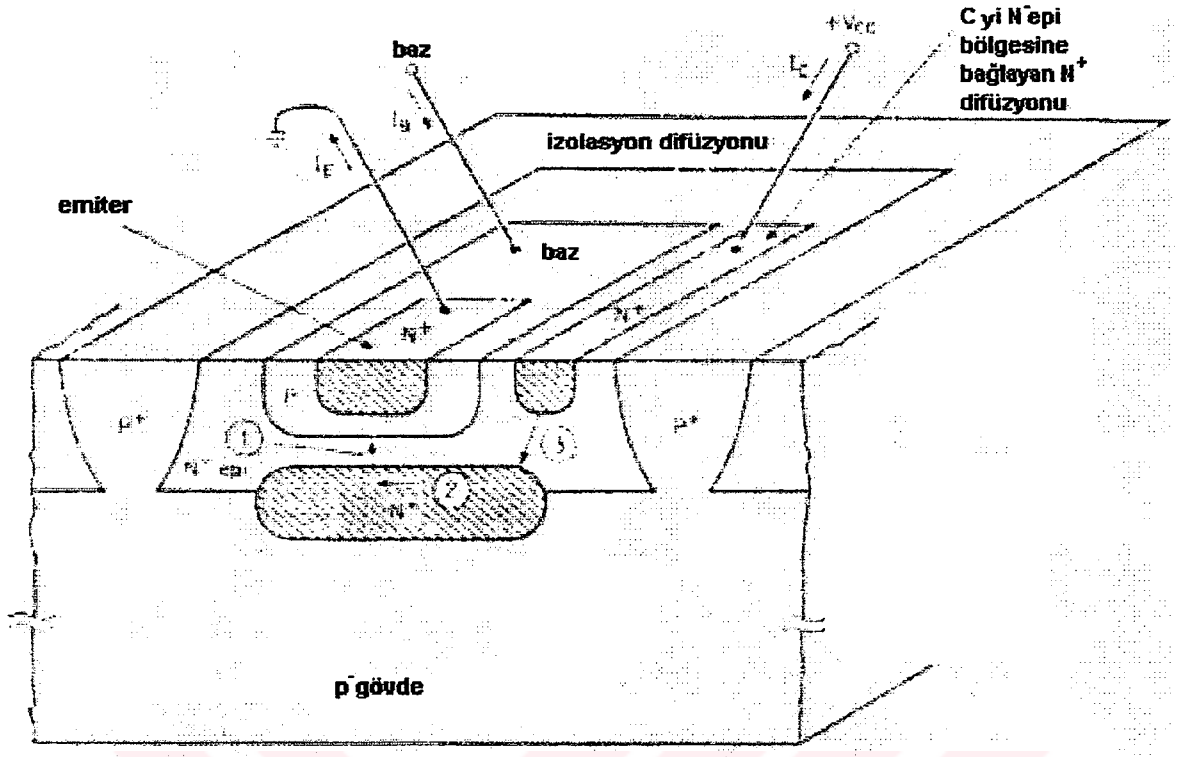
v. $n^+$-p-n tabanlı mikrodevrelerde son difüzyon adımı $n^+$-emiterdir. Bu işlem sık olarak P difüzyonu ile sağlanır ve PSG yüzey boyası ile işlem tamamlanır. Bu tip bir cam, sodyum iyonlarının oksit arasından geçişini önler ve böylece alttaki elemanın uzun bir süre incelmesini önler. Buna karşılık, $p^+$-n-p tabanlı mikrodevreler BSG son tabakasına sahiptir. Bu tabaka çıkartılarak yerine PSG konmalıdır. Böylece iyon göçü kontrol altına alınır. Bu ek işlemler $n^+$-p-n transistorlarda yoktur.

Bütün bu nedenlerden dolayı, hemen hemen tüm bipolar mikrodevreler $n^+$-p-n transistorlarla oluşturulur . [8]

### 1.4.5.5 NPN tipi transistor üretimi

n-p-n transistorlar ayrık transistorlara benzer şekilde yapılır. p-tipi baz difüzyonu izole $n^-$ epitaksiyel tüp içerisine yerleştirilir. Emiter difüzyonu, metal kollektör kontağının yapıldığı bölgeye ve $n^-$-tüpün içine doğru gerçekleştirilir. Bu değişiklik gereklidir. Çünkü $n^+$ gövde kollektör kontağı olarak kullanılmayacaktır. Bundan dolayı, kollektörler yüzeye bağlanırlar.

n- kollektör direncini azaltmak için Şekil 1.61 de görüldüğü gibi $n^+$ gömülü tabaka eklenir. Emiter akımı transistorun dar baz bölgesinden düşük dirençli $n^+$ gömülü tabakaya (bölge 2) girmeden önce yüksek dirençli $n^-$ epitaksiyel bölgesinin (bölge 1) sadece ince bir bölgesinden geçer. Diğer ince $n^-$ epitaksiyel bölgeyi (bölge 3) geçtikten sonra son olarak $n^+$ kollektör kontağı difüzyonu yüzeyine ulaşır. $n^+$ gömülü tabaka seri kollektör direncini binler mertebesinden yüzler mertebesine düşürmesine rağmen, ayrık transistora oranla IC transistorlar büyük kollektör direnci problemine sahiptir. Bu nedenle IC elemanlarının doyum voltajı önemli miktarda artar.




**Şekil 1.61 Tamamlanmış IC NPN transistor yapısı [9]**

p-tipi baz difüzyonu genellikle direnç gereken devrelerde kullanılır. Tipik olarak bu difüzyonlu direnç izole $n^-$ -epitaksiyel tüpe yerleştirilir. Bu tüp, p-n diyodu ters öngerilimli tutmak için daima devrenin en pozitif potansiyeline bağlanır.

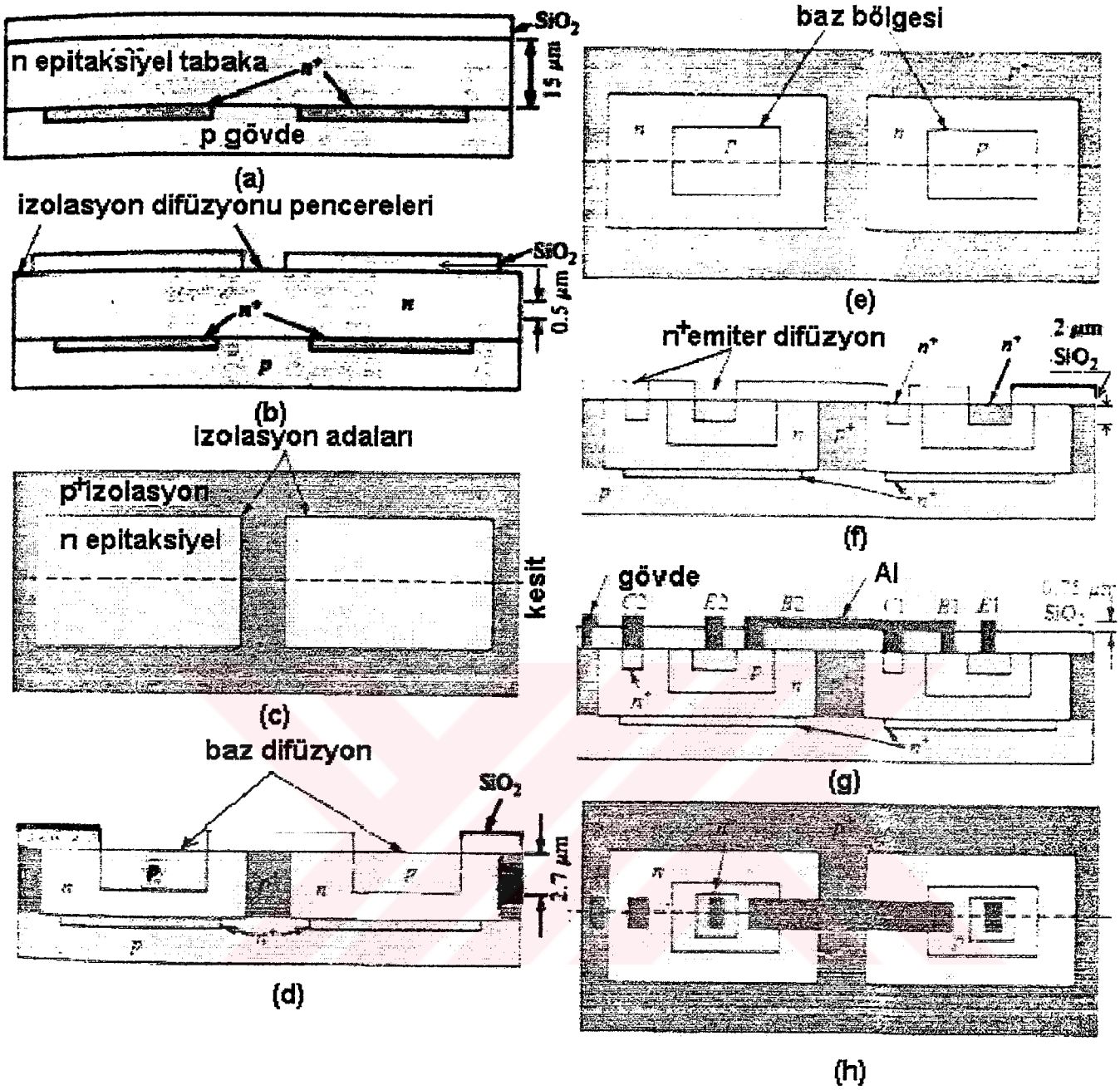
Güçlü IC ve $n^+$ kontak difüzyonlu özel kollektör sık olarak kullanılır. Bu yüzey difüzyonu gerçekte gömülü tabakaya uygulanır. [9]

### 1.4.5.5.1 Planar NPN BJT Fabrikasyonu

p-tipi gövde hazırlandıktan sonra Şekil 1.62.a da görüldüğü gibi n-tipi epitaksiyel tabaka oluşturulur. Bu tabaka transistorun kollektör bölgesidir. Ardından yüzey oksit ile çevrelenir.

Her bir transistor için bölgeler birbirinden izole edilir. Bunu gerçekleştirmek için fotolitografi ve aşındırma ile $SiO_2$ içine üç pencere oluşturulur(Şekil 1.62.b). $p^+$ bölge gövdeye ulaşıncaya kadar epitaksiyel tabaka içine difüze edilir. Bu işlem Şekil 1.62.c de görüldüğü gibi izolasyon adaları oluşturur. Elektriksel izolasyon, gövdenin devredeki en negatif potansiyele bağlanması ile sağlanır. Böylece kollektör ile gövde arası p-n jonksiyonu daima ters öngerilimlenmiş olur.

İzolasyon difüzyonu tamamlandıktan sonra pul yüzeyi tekrar $SiO_2$ tabakası ile kaplanır. p-tipi baz penceresini oluşturmak için ikinci bir maskeleme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem Şekil 1.62.d görülmektedir. Baz bölgesinin üstten görünüşü ise Şekil 1.62.e de verilmiştir.




**Şekil 1.62 n-p-n transistor üretim adımları (a)n-tipi epitaksiyel ve oksidasyon (b)izolasyon difüzyonu (c)p-tipi izolasyon difüzyonun üst görünüşü (d)baz difüzyon (e)baz difüzyonun üst görünüşü (f) $n^+$ emiter difüzyon (g)metalizasyon ve pasivasyon (h)kırmığın üst görünüşü [4]**

Baz difüzyonu $SiO_2$ tabakası ile kaplanır. Üçüncü bir maskeleme ve aşındırma işlemi Şekil 1.62.f de görüldüğü gibi emiter difüzyonunu için $SiO_2$ in çıkarılmasıdır. $n^+$ bölgesinin her bir transistorun kollektör bölgesine difüze edildiğini hatırlayınız. Al kollektör kontakları burada yapılır ve $n^+$ bölgeleri iyi bir omik kontaktır. Diğer $SiO_2$ tabakası ise emiter difüzyonundan sonra yüzey boyunca oluşturulur.

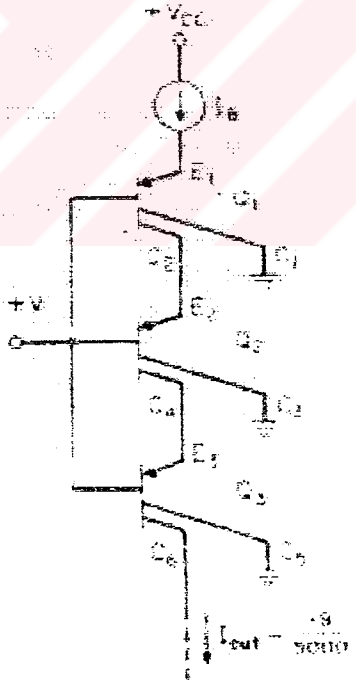
Metalizasyon son işlem adımıdır. Kontak ve pozlandırma işlemi için oksit tabakası oluşturulur. Tüm yüzey Al buharlaştırılarak kaplanır. Arta kalanlar kimyasal olarak çıkartılırlar (6.maskeleme). Metalizasyon işleminin Şekil 1.62.g de kesiti ve Şekil 1.62.h da üst görünüşü verilmiştir.

Şekil 1.62' in boyutları küçük geometrili ticari amaçlı BJT için geçerlidir. Her iki transistor de aynı anda oluşturulduğundan aynı elektrik karakteristiğine sahiptirler. Farklı elektrik karakteristikli transistor üretmek için genellikle elemanın geometrisi değiştirilir. Yüksek akım kapasiteli BJT üretmek için emiter bölgesi arttırılır. Dolayısıyla tüm eleman alanı artmaktadır. Baş parmak kuralı olarak emiter/alan oranı 1/10 olmalıdır.

Ticari IC işlemleri sık olarak iyon implantasyonlu emiter ve baz bölgeleri ile gerçekleştirilirler. Bu bölgeler sığdır ve derinlikleri çok hassas olarak implantasyon ile kontrol edilir. İyon implantasyonu difüzyondan daha küçük sıcaklıklarda gerçekleştiği için baz ve emiter yatay yayılması azalır. [4]

### 1.4.5.6 PNP transistor üretimi

IC bipolar transistorların çoğunluğu n-p-n dır. Buna rağmen, bazı devrelerde p-n-p elemanları gerekir. Örneğin; emiter kuplajlı çiftler, kollektör direncinin akım kaynağı olduğu konfigürasyonlar genellikle p-n-p transistor çifti kullanılarak gerçekleştirilir. p-n-p transistor yatay p-n-p ve dikey veya gövde p-n-p transistor olarak ikiye ayrılır.



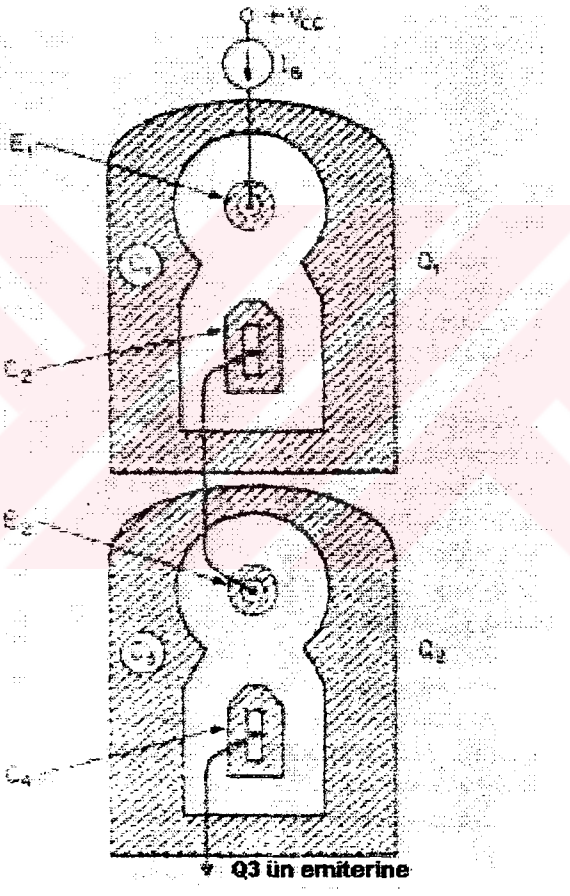
**Şekil 1.63 Sürme akımını azaltan enjektör PNP yapısı [9]**

Şekil 1.63 de görüldüğü gibi baz, kollektör ve izolasyon bölgesi parazitik bir p-n-p transistor oluşturur. Yatay terimi üç elemanın yatay düzlem üzerinde olmasından, buna karşılık dikey terimi üç elemanın dikey düzlem üzerinde olmasından dolayı kullanılır. Benzer olarak parazitik bir p-n-p elemanı; baz, n-p-n transistorun kollektörü ve p-tipi gövdeden oluşur.

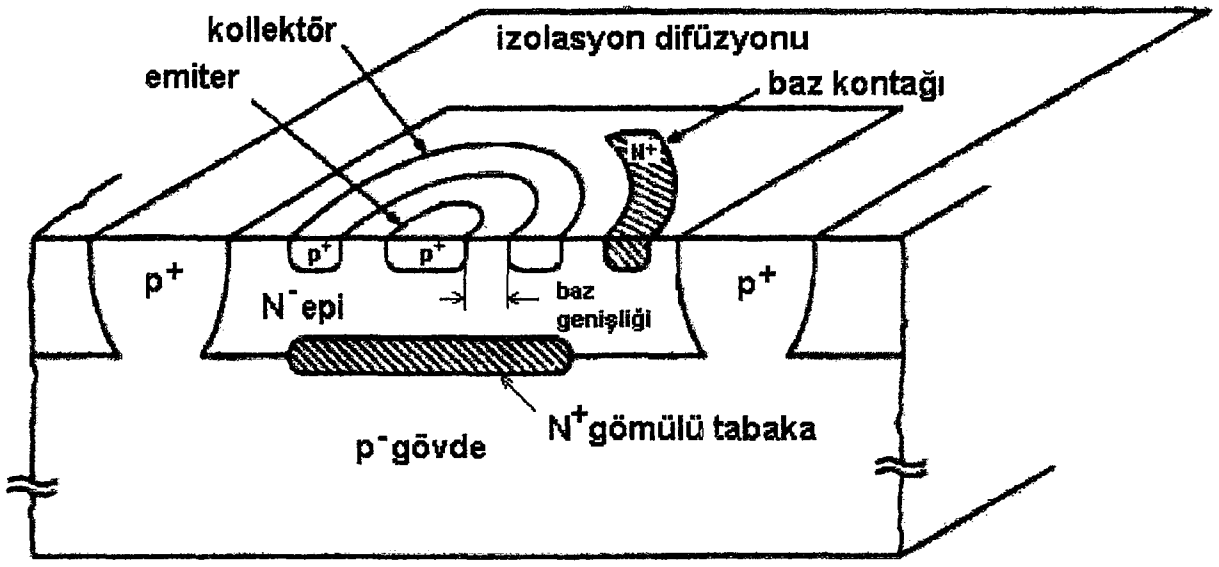
### 1.4.5.6.1 Yatay PNP Transistor

Yatay p-n-p transistor kesiti Şekil 1.64. de görülmektedir. p-tipi emiter ve kollektör bölgesi, n-p-n elemanının baz implantasyonu ile aynı anda gerçekleştirilir. Benzer olarak $n^+$ baz kontağı (p-n-p transistorun) ve n-p-n BJT' in $n^+$ emiteri aynı anda oluşturulur. Yani, n-p-n ve p-n-p transistorlar aynı işlem sırası takip edilerek üretilirler. Yatay p-n-p elemanı için gereken ek işlem maskeleme adımlarındaki ek pencerelerdir. Yatay p-n-p transistor n-p-n transistordan daha küçük $\beta_F$ değerine sahiptir.

Azınlık taşıyıcılarını n-p-n transistorun $n^+$ emiteri p-tipi baza enjekte ettiği verimlilikte p-n-p transistorun p-tipi emiteri n-tipi baza enjekte edememektedir. Bununla birlikte, büyük baz alanı ve bazı enjekte boşluklarının gövdeye göçü ile kollektöre ulaşan boşluk sayısı azalmaktadır. Bundan dolayı, yatay p-n-p transistorlar genellikle düşük kollektör akımlı devrelerde kullanılırlar.




**Şekil 1.64 Enjektör PNP transistorun temel yerleşimi [9]**




**Şekil 1.65 Yatay PNP transistor [9]**

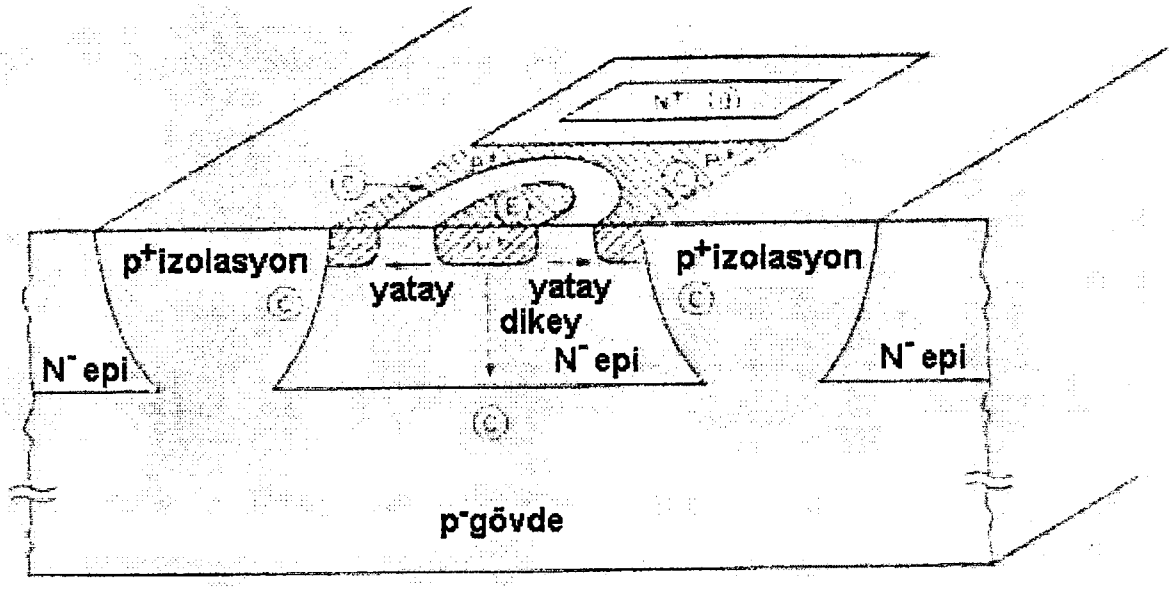
Yatay p-n-p transistorun detaylı bir şekli Şekil 1.65 de görülmektedir. $n^+$ gömülü tabaka β' ı arttırmak için kullanılır. $n^+$ bölgenin azınlık boşluklarını baz bölgesinde topladığı ve böylece β' ı düşürdüğü düşünülebilir. İlginç olan elektrik alanının gömülü tabakanın difüzyonlu bölgesinde oluşmasıdır. Bunun sebebi ise gömülü tabakadaki yüklerin doğrusal olmamasıdır. Elektrik alanı ile hareketli boşluklar atılarak gömülü tabaka bölgesi boşaltılır. Bundan dolayı, β artar.

Yatay p-n-p' in baz genişliği, baz fotodirenç akımı ve $SiO_2$ maskeleme tabakasının altındaki P bölgesinin yatay difüzyonu ile belirlenir. Açıkça görüldüğü gibi baz genişliğinin kontrolü, baz genişliğinin baz ve emiter bölgelerinin difüzyon derinliği farkından elde edildiği n-p-n transistordan daha zordur. Sonuç olarak yatay p-n-p transistor azaltılmış yüksek frekans cevabına (n-p-n' e göre) sahiptir. Bununla birlkte, β küçüktür ve kollektör akımı düşüktür. Yatay p-n-p transistor hala DC öngerilimleme uygulamalarında ve bir çok düşük frekanslı develerde çok kullanılışlıdır. [9]

### 1.4.5.6.2 Dikey PNP transistor

Dikey veya gövde p-n-p transistor yüksek akımlı ve güçlü devrelerde kullanılır. Bu transistorun oluşumu Şekil 1.66 da gösterilmiştir. Bu eleman n-p-n transistorla aynı anda ve aynı işlemlerle üretilebilir. Aynı anda gerçekleştirilen önemli iki işlem; (1)p-n-p transistorun p-emiter bölgesinin ve n-p-n elemanının bazının üretilmesi ve (2)dikey p-n-p' in $n^+$ baz bölgesinin ve n-p-n transistorun emiterinin üretilmesidir.


T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ




**Şekil 1.66 Yatay ve dikey PNP transistor [4]**

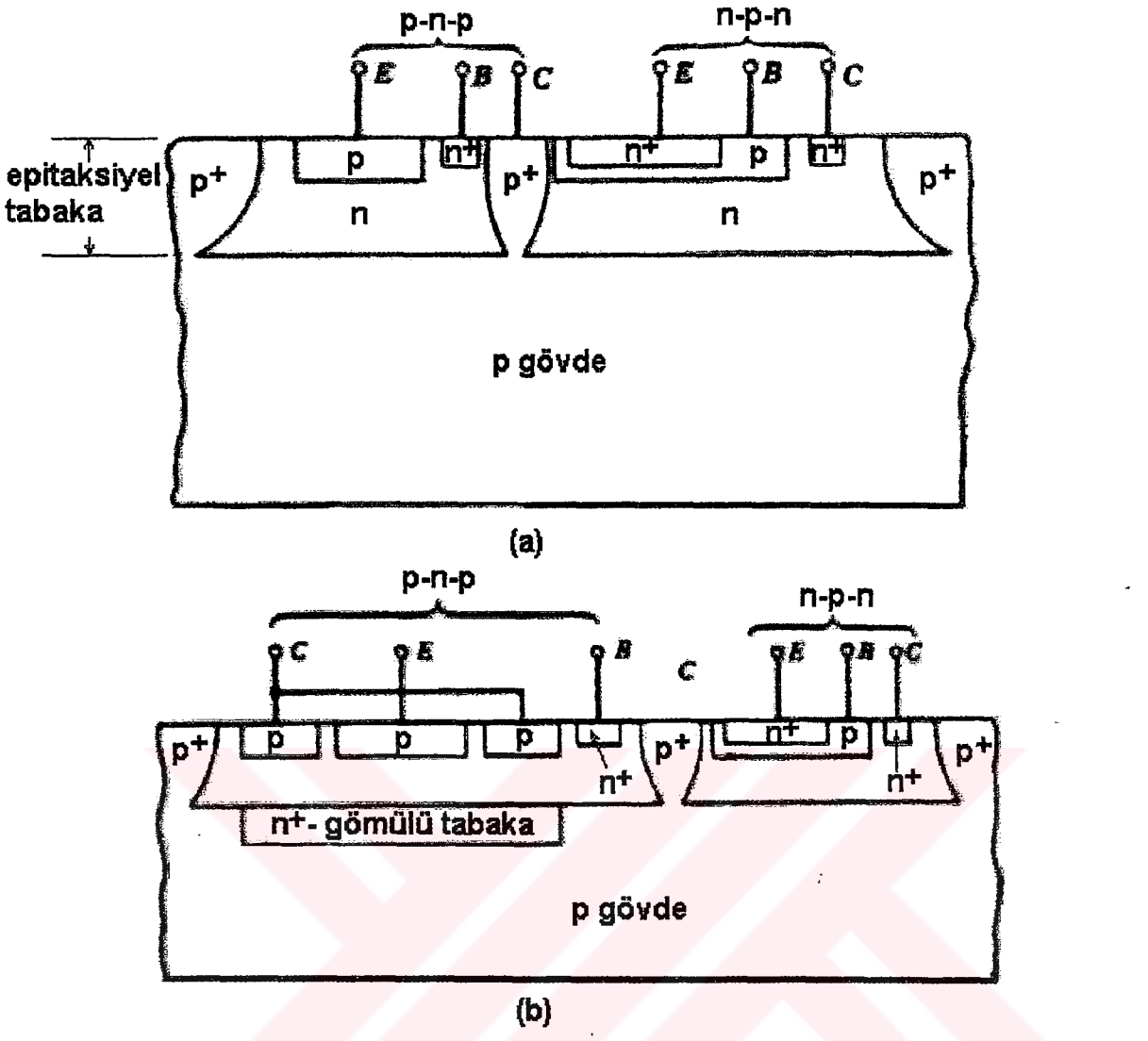
Daha önce belirtildiği gibi gövde devredeki en negatif potansiyele bağlanmalıdır. Bundan dolayı, dikey p-n-p transistor sadece kollektörü sabit negatif potansiyelde olan devrelerde kullanılırlar.

Böyle bir konfigürasyon "**emiter izleyici**"(emitter follower) olarak adlandırılır. [4]

### 1.4.5.7 PNP ve NPN Transistor

Aynı gövde üzerine ek bir işlem gerektirmeden p-n-p ve n-p-n transistorun oluşturulması ilginç bir olaydır. Bu yapı yüksek performansın gerektiği devrelerde kullanılır. Şekil 1.67.a da görüldüğü gibi transistorlar aynı anda n-p-n karşıtı olarak oluşturulabilir. Böylece geniş bazlı ve düşük frekans performanslı yapı oluşur. Bununla birlikte, bu yapının gövdesi kollektör olarak davranır ve sadece bu elektrotun şase potansiyelinde olduğu uygulama devrelerinde kullanılır. Bu çeşit transistorlar işlemsel yükselteçlerin tümleyen çift çıkışında kullanılır.

Şekil 1.67.b de, gövdeden tüp izole ile ayrılmış yatay bir p-n-p transistor görülmektedir. Geleneksel bir n-p-n transistor de ayrıca gösterilmiştir. Burada baz genişliği emiter ve kollektör geometrisi ile belirlenir. Bundan dolayı, eleman oldukça yavaştır. Bununla birlikte, emiter akımı enjeksiyon üst kenarı ile sınırlandırılmıştır. Bundan dolayı, akım taşıma kapasitesi aynı büyüklükteki dikey n-p-n transistordan daha azdır.




**Şekil 1.67 (a)Dikey p-n-p transistor (b)yatay p-n-p transistor [8]**

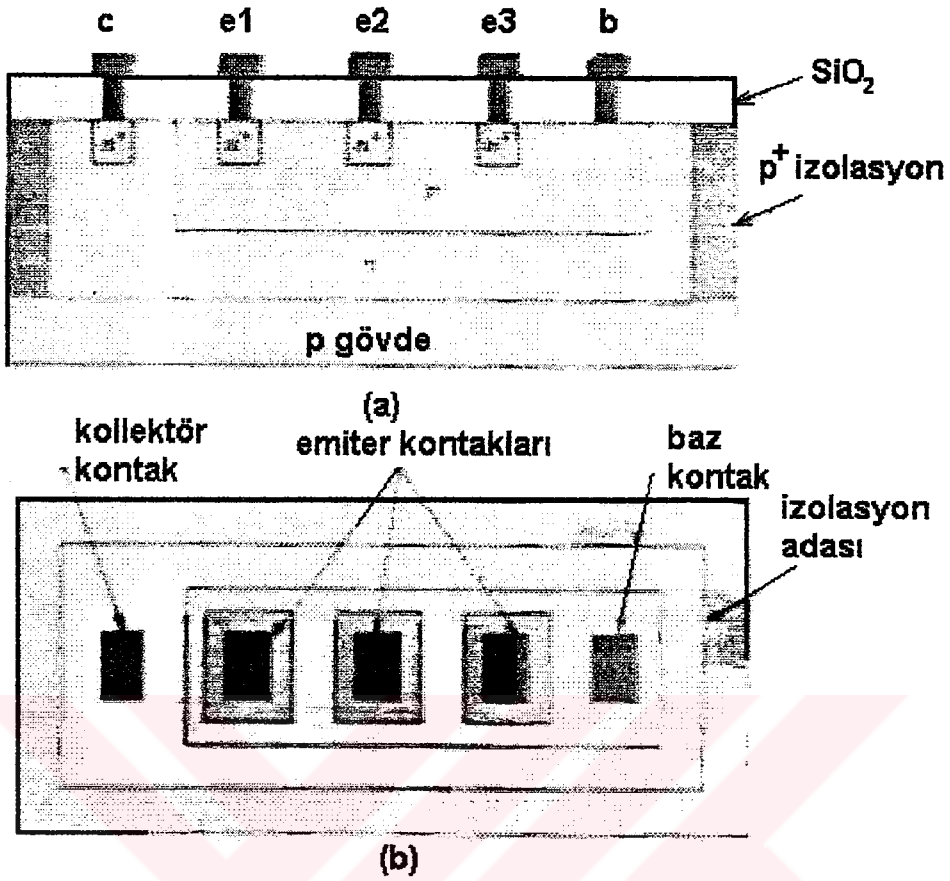
Önemli bir problem ise emiter akımının gövde ve izolasyon duvarının parazitik etkisi ile azalabilmesidir. Bundan dolayı, akım kazancı 5' den küçüktür. Dikey enjeksiyon gömülü tabaka ile önemli miktarda azaltılabilir.

### 1.4.5.8 Özel Amaçlı Bipolar Transistorlar

Multiemiterli transistorlar sık olarak analog-dijital çeviricilerde ve TTL lojik kapıların girişinde kullanılır. Geleneksel elemana göre maskelemede çok az değişik gerektirir. Multikollektörlü transistorlar analog yükselteçlerde akım bölücü olarak kullanılırlar.

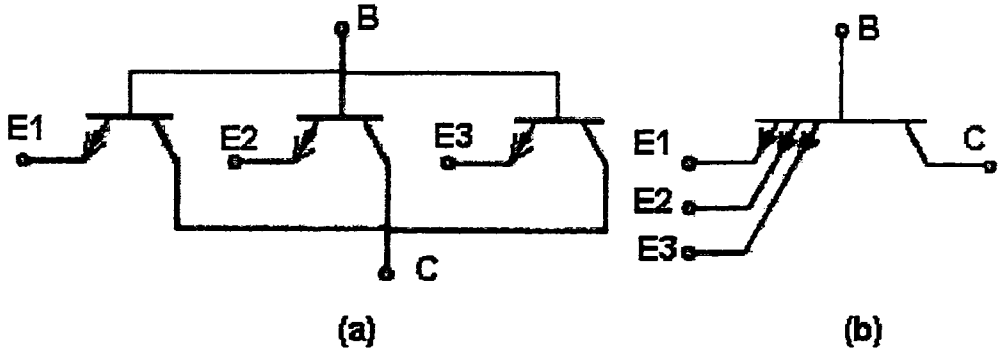
Süperbeta transistorlar bazı işlemsel yükselteçlerin girişlerinde kullanılır. 1000 veya daha fazla akım kazancına sahiptirler ve diğer transistorlardan daha derin emiter bölgesine sahip olmaları için çifte maskeleme ve difüzyon işlemine tabi tutulurlar. [8]

### 1.4.5.8.1 Multiemiter transistor




**Şekil 1.68 Multiemiter transistor (a) yapısı (b) üst görünüşü [4]**

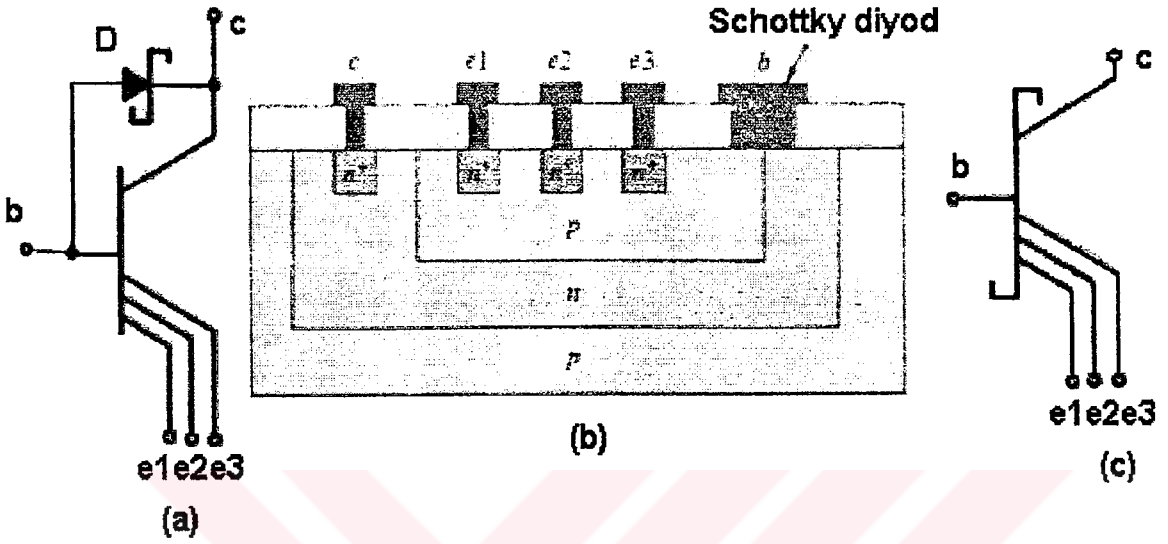
IC' in eleman yoğunluğu, kırmık alanının etkili kullanılması ile arttırılır. Bir veya daha fazla bölgeyi ortak kullanan birleştirilmiş transistorlar yani iki veya daha fazla eleman yapısı kırmık üzerinde yer kazanma metotlarından biridir. En çok kullanılan birleştirilmiş transistor multiemiterli transistordur. Bu düzenleme Şekil 1.68 de gösterilmiştir. Şekil 1.68' deki her bir emiter ayrı transistorların emiteri olarak düşünülmelidir. Bu elemanların her biri ortak baz ve kollektör kullanır. Bu düzenlemenin eş değeri Şekil 1.69 da görülmektedir. Çok emiterli transistor emiter sayısı 80 den fazla olabilir.




**Şekil 1.69 (a) Ortak kollektör ve bazlı üç transistor (b) eşdeğer tek multiemiter transistor [4]**

### 1.4.5.8.2 Schottky transistor

Hızlı devrelerde transistorun doyuma gitmesi önlenmelidir. Şekil 1.70.a da görüldüğü gibi baz ve kollektör arasındaki Schottky diyodu bu amaç için kullanılmıştır. Baz akımı artırılırsa transistor doyuma gitmek ister. Kollektör gerilimi düşer. D iletime geçer ve B-C gerilimi 0,4 V ile sınırlanır. Kollektör jonksiyonu kesim gerilimi (0,5V) ile doğru polarmalandığından transistor doyuma gidemez.




**Şekil 1.70 Schottky (a)transistor (b)yapısı (c)sembolü [4]**

Şekil 1.70.b de görüldüğü gibi baz bölgesi Al metal $n^+$ bölgesine girilmeksizin n-tipi kollektör bölgesine bağlanarak elde edilir. Bu basit prosedür ile B-C arasında metal yarıiletken diyod oluşturulur. Şekil 1.70.b deki elemanın eş değer devresi Şekil 1.70.a da verilmiştir. Bu yapı "**Schottky transistor** " olarak adlandırılır ve Şekil 1.70.c' deki sembol ile gösterilir. Metal yarıiletken jonksiyon, metalizasyon işlemi sırasında oluşturulduğundan Schottky transistor n-p-n transistor ile aynı sayıda üretim işlemine sahiptir.

Schottky transistor dijital devrelerde anahtarlama hızını arttırmak için kullanılır. B-C arasına bağlanan Schottky diyod transistorun doyuma gitmesini depolama zamanını elimine ederek önler (Schottky diyoddaki azınlık taşıyıcı depolaması yaklaşık olarak sıfırdır.).

### 1.4.5.8.3 Süperbeta transistor

n-p-n monolitik transistor için $\beta_F$ değeri ortalama 150 dır. p-tipi baz bölgesinin (Şekil 1.62.f) emiter bölgesi implantasyonu veya difüzyonu ile $\beta_F$ 2000-5000 e kadar yükseltilebilir. Bu tarzda üretilen elemanlara "**süperbeta transistor**" denir. $\beta_F$ in artmasının nedeni, baz tabakasının daha dar olması ve E-B jonksiyonu kesim voltajının azalmasıdır. Bundan dolayı, bu transistorlar sadece E-B jonksiyonunun düşük voltajlı olduğu devrelerde kullanılırlar. [4]

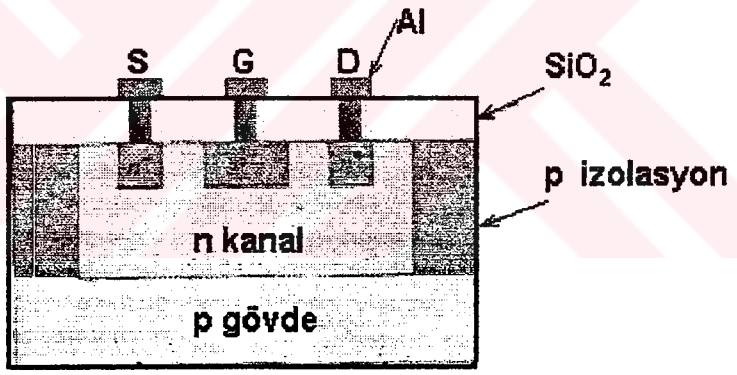
### 1.4.6 JFET Fabrikasyonu

n-kanallı FET, epitaksiyel tabaka içinde epi (epitaksiyel) ve izolasyon difüzyonunun kısılması ile elde edilir. FET yapısında kapı bulunmadığından FET terimi yanlış kullanılabilir. FET kullanışlılığı, öngerilimlemede başlangıç elemanı olmasından gelir. Aynı değerde dirence göre çok küçük alana ve gerekli yüksek kırılma gerilimine sahiptir.

p-kanallı FET genel amaçlı ve çok kullanışlıdır. En önemli sınırlaması ise 5V ile kısıtlanan kırılma gerilimidir. [10]

n-kanallı JFET, BJT fabrikasyonu ile aynı şekilde üretilir. JFET' in n-kanalı BJT' in kollektörü gibi davranan epitaksiyel tabakasıdır. Şekil 1.71 de görüldüğü gibi her bir elemanı ayıran izolasyon adaları epitaksiyel tabakasına difüze edilir. $p^+$ kapı bölgesi, n-kanal içine iyon implantasyonu veya difüzyonu ile oluşturulur ve böylece ince bir oksit tabakası elde edilir. Daha sonra pul $SiO_2$ ile kaplanır. Maskeleme ve aşındırma, eleman terminallerinin kontak yüzeylerini tanımlar. Sık olarak $n^+$ bölgesi iyi omik kontak gereken yerlerde akaç ve kaynak kontak bölgeleri altında oluşturulur. Tüm pul Al tabaka ile kaplanır ve son maskeleme ara bağlantı modeli tanımlanır. Al aşındırma ile işlem tamamlanır. [4]

JFET bazı işlemsel yükselteçlerde olduğu gibi yüksek giriş empedansının gerekli olduğu lineer devrelerde kullanılır. Şekil 1.72 de DDE işlemi ile uyumlu olan bir JFET konfigürasyonu görülmektedir. BJT' in p-bazı, kaynak ve akaç omik kontağı olan kanal bölgesi gibi davranır.

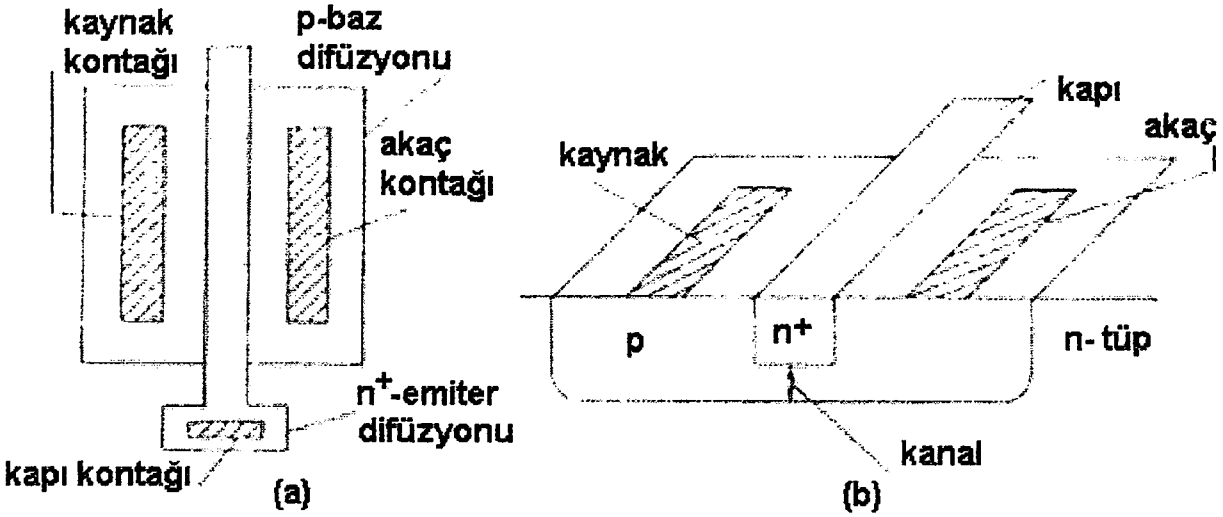



**Şekil 1.71 JFET transistor yapısı [4]**

$n^+$-emiter, oluşan p-kanalın üst kısmındaki kapıyı oluşturur. Aynı zamanda izolasyon tüpü de kapı olarak kullanılabilir. Bu bölge kanala göre sabit ters potansiyelde tutulur.

Bu transistorun önemli bir yerleşim gerekliliği, gizli iletim yolunu engellemek için kaynak bölgesinin akaçtan izole edilmesidir. Bu gerekliliği sağlamak için ortak merkezli yapılar kullanılabilir. Diğer taraftan, Şekil 1.72' in yerleşimi çok az yer kaplar. Bundan dolayı, genellikle bu elemanlarda bu yapı kullanılır.

Benzer işlemlerle aynı kırmık üzerinde CMOS ve BJT geliştirilebilir. [8]




**Şekil 1.72 JFET işlemi (a) planı (b) izometrisi [8]**

### 1.4.7 MOS Transistor

MOS işlemi tek kristal yarıiletken pulun elektriksel özelliklerinin kimyasal yolla değiştirildiği bir tekniktir. Bu değişiklikler; FET oluşumu, dirençler, kondansatörler ve elektrik ara bağlantılardır. Filmlerin yüzeyde oluşturulması, iyonların yüzeye ekilmesi ve kimyasal maddelerin pul üzerinde oluşturulması ile elektriksel özelliklerde istenilen değişiklikler yapılabilir. Işığa duyarlı kenar dirençli kimyasal maddeler kullanılarak fazla filmler ve oluşturulan kimyasal malzemeler çıkartılır ve ekilecek iyonlar kontrol edilir. Model ile yüzeyin istenilen kısımları aşındırılır ve maskeleme işlemine geçilir.

5V n-kanallı ve Si kapılı deplesyon MOS işlemi 1970lerde geliştirildi. İşlem bugün hala kullanımdadır. Yüksek yoğunluklu MOS (High density MOS:HMOS) işleminin öncüsüdür. Küçük geometrik boyutlar elde etmek için teknikte temel değişiklikler yapılmıştır. Modern HMOS ve CMOS işlemleri benzer yerleşim kurallarına sahiptir. [11]

#### 1.4.7.1 Enhansment Mod NMOS Transistor

Enhansment (artıran) mod NMOS transistorda ilk adım p-tipi pulun $Si_3N_4$ ile kaplanmasıdır. $Si_3N_4$, $SiO_2$ den daha iyi yalıtkandır. İlk maskeleme ve aşındırma adımı kaynak, kapı ve akacı içine alacak alanı tanımlar. $Si_3N_4$ kimyasal olarak transistor bölgesinin dış yüzeyinden çıkartılır. Daha sonra $p^+$ tabakası pozlandırılmış p gövdesinin yanına ekilir. $p^+$ iyonları bitişik elemanları izole etmek için kullanılır. İşlem sırasının birinci kısmı Şekil 1.73.a da gösterildiği gibi $p^+$ iyonları bölgesinde "**alan oksidi**" denilen 1μm kalınlığında $SiO_2$ tabakasının oluşturulması ile tamamlanır. $Si_3N_4$ bölgesi oksidasyondan etkilenmez.

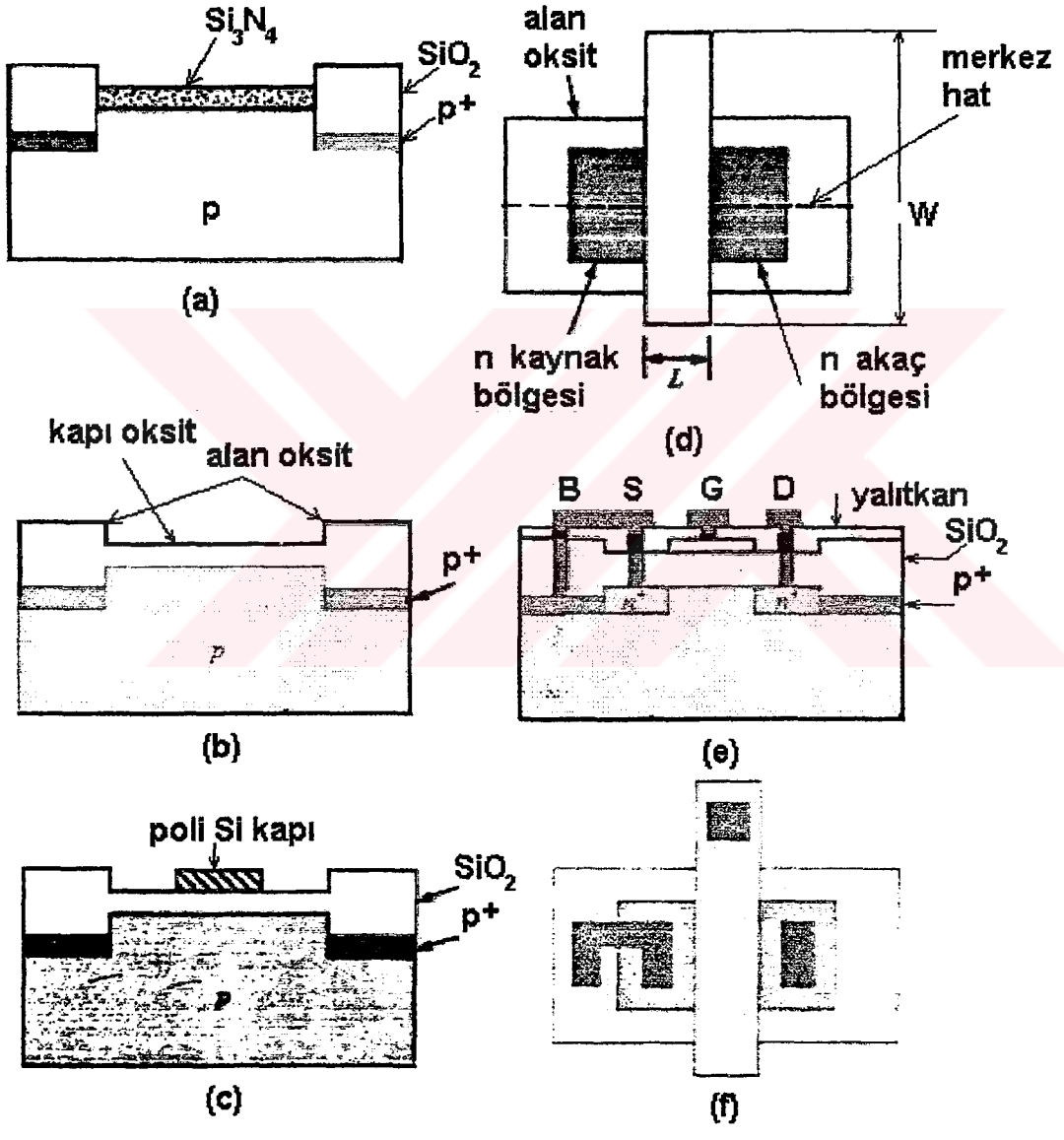
İşlemin ikinci fazında kalan $Si_3N_4$ ($SiO_2$ değil) seçilen aşındırma ile çıkartılır ve transistor bölgesinde (Şekil 1.73.b) (800-1000)° A ince $SiO_2$ tabakası oluşturulur. Bu işlemle transistor kapısının altındaki oksit tabakası elde edilir.

Polikristal Si, poli Si veya kısaca poli olarak adlandırılır. Poli tüm pul boyunca oluşturulur. Kapı bölgesi 2. bir fotolitografi işlemi oluşturulur. Artan poli Si aşındırma ile çıkartılır Kırmığın üst görünüşü ve kesit alanı Şekil 1.73.c ve 1.73.d de görülmektedir. Düşük gerilimli

poli Si kapının kullanılması metal kapı ile elde edilen $V_T$ eşik voltajını düşürür. Bundan dolayı, bir çok ticari MOS IC poli Si kapılı olarak üretilir.

$n^+$ kaynak ve akaç bölgeleri genellikle iyon implantasyonu ile elde edilir. Katkıların bu bölgenin altına geçişini alan oksidi ve poli Si kapı önler. Buna rağmen, katkılar ince oksit tabakasını geçerek akaç-kaynak oluşur. İyon implantasyonu ile kapı-kaynak ve kapı-akaç dizisi oluşturulur. Bu elektrotlar üst üste olmadığından $C_{GS}$ ve $C_{GD}$ kapasiteleri önemli miktarda azalacaktır.

Tüm pul kaynak ve akaç implantasyonundan sonra koruyucu izole tabaka (genellikle $SiO_2$) ile kaplanır. 3. Maske ile elemana yapılacak kontaklar belirlenir. Al buharlaştırılır. 4. Maske ile devre bağlantıları gerçekleştirilir.(Şekil 1.73.e ve Şekil 1.73.f)




**Şekil 1.73 Enhansment MOSFET üretimi (a)$p^+$ ekimi ve kalın oksit (b)$Si_3N_4$ aşındırma ve ince oksit (c) poli Si kapı oluşturma (d) üst görünüş (e) yapısı (f) üst görünüş [4]**

#### 1.4.7.1.1 Öz izolasyon

Şekil 1.73.e ve Şekil 1.73.'f deki $p^+$ iyonları, MOSFET kontak B ile gövde arasında düşük bir direnç gibi davranırlar. Şekil 1.73.e de görüldüğü gibi genellikle gövde ve kaynak birbirine bağlanır. Gövde-kaynak diyodu kesimdedir. NMOS elemanının akaç potansiyelinin polaritesi kaynak ve gövdeye göre pozitiftir. Bundan dolayı, akaç-gövde diyodu da kesimdedir(Şekil 1.73.e). Yani, MOS transistoru için izolasyon adası gerekmez ve akım D-S arası kanaldan akar. BJT' de ise izolasyon difüzyonu transistor alanının büyük bir yüzdesini kaplar. Bundan dolayı, MOSFET paket yoğunluğu BJT' den 20 kat daha fazladır.

### 1.4.7.2 Deplesyon Mod NMOS Transistor

Deplesyon(azaltan) mod MOSFET üretimi Enhansment (artıran) mod MOSFET' e benzerdir. Ek işlem sadece n-kanal implantasyonudur. Bu işlem poli Si kapı tabakasının oluşturulmasından önce gerçekleştirilir ve ek maskeleme ve aşındırma adımı gerektirir.

4 maskeli NMOS işlemi en basit fabrikasyon şeklidir. Verimi arttırmak ve transistorun elektrik özelliklerini etkili bir şekilde kontrol etmek için bir çok ticari işlemde en az 7-maskeleme adımı kullanır.

#### 1.4.7.2.1 Kapı Uzunluğu ve Genişliği

Farklı akım kapasiteli transistor elde etmek için genellikle eleman geometrisi değiştirilir. VLSI' da en küçük boyutlu elemanlar kullanılır (1986 da 2μm).

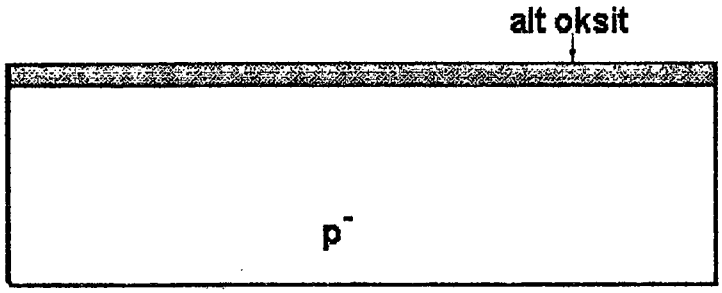
Bu şekilde üretilen elemanların tamamı düşük akımlıdır ((50-300)μA). Örneğin; akım seviyesini 1mA e çıkarmak için MOSFET' in genişlik/uzunluk (Wide/Length: W/L) oranı W/L=4 veya W=8μm ve L=2μm olmalıdır. Teorik olarak W/L oranı istenilen akım seviyesini elde etmek için değiştirilebilir. Buna rağmen, kapı alanının artması eleman kapasitesinin artmasına ve işlem hızının ters yönde etkilenmesine neden olur. Bundan dolayı, W/L oranının 10 dan büyük olduğu MOSFET üretimi nadirdir. [4]

#### 1.4.7.2.2 5V n-kanallı Si kapılı Deplesyon MOS Üretim Adımları

5V n-kanallı ve Si kapılı deplesyon MOS üretimi 9 maskeleme adımından oluşur. Bu 9 maskeleme adımı 7 ayrı işlemden oluşur. Her bir işlem ayrıktır ve işlem sırası önemlidir. Tümdevre tasarımcısı işlem akışındaki her bir maskelemenin fonksiyonunu anlamak zorundadır. Her bir maskeleme işleminin nasıl yapıldığı detaylı olarak anlatılacaktır. İşlem toplam 34 adımdan oluşmaktadır:

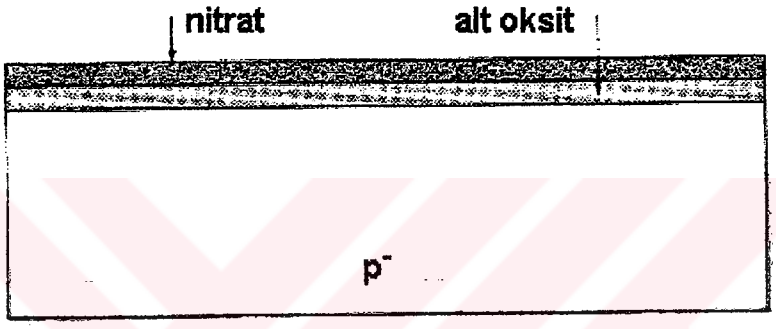
I. 01 Maskeleme İşlemi

01 maskeleme, tümdevrede elektriksel olarak aktif olan bölgeleri tanımlayan modeli oluşturmada kullanılır. 01 işlemindeki adımlar pul temizlendikten sonra başlar. İlk adım yüzey üzerinde ince bir termal oksit filmi oluşturmaktır. Bu film pul ısıtıldıktan sonra oksijene tabi tutularak oluşturulur. Bu tabaka "**alt oksit**" olarak adlandırılır (Şekil 1.74). Gövdeyi nitrattan korumakla birlikte daha sonraki adımlarda ekilecek iyonların kontrolünü sağlar.

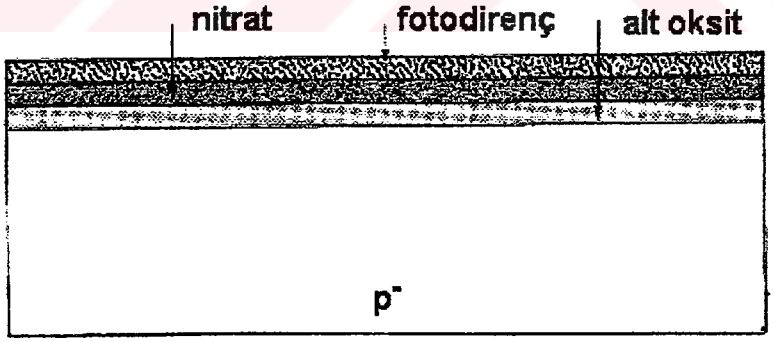



**Şekil 1.74 Alt oksit [11]**

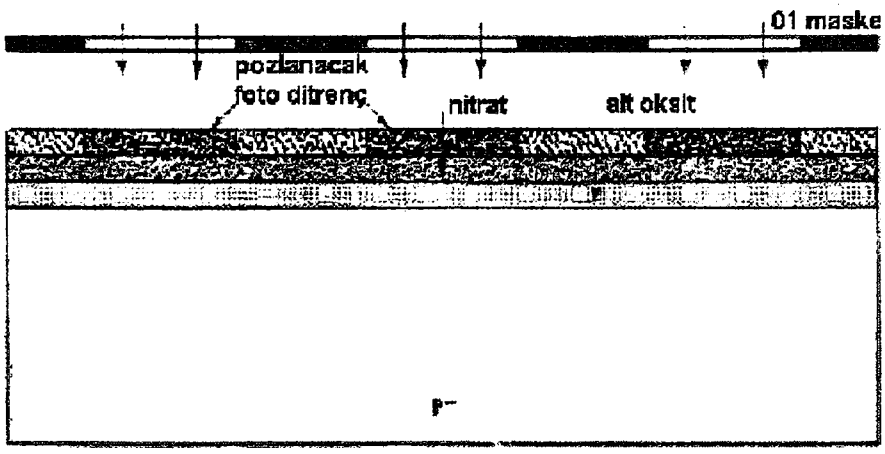
Alt oksidin üstüne ince bir nitrat film oluşturulur (Şekil 1.75). Fotodirenç film nitrat üzerinde döndürülür(Şekil 1.76).Fotodirenç kurutulur ve 01 maske pula yerleştirilir. Daha sonra fotodirenç pozlandırılır(Şekil 1.77 ve 1.78).



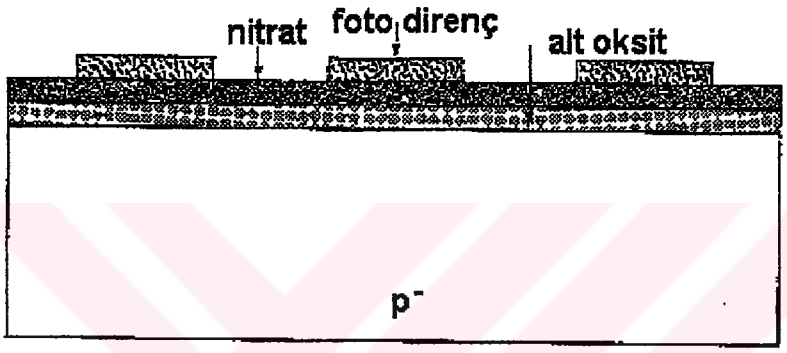

**Şekil 1.75 Nitrat oluşturma [11]**




**Şekil 1.76 Foto direnç işlemi [11]**

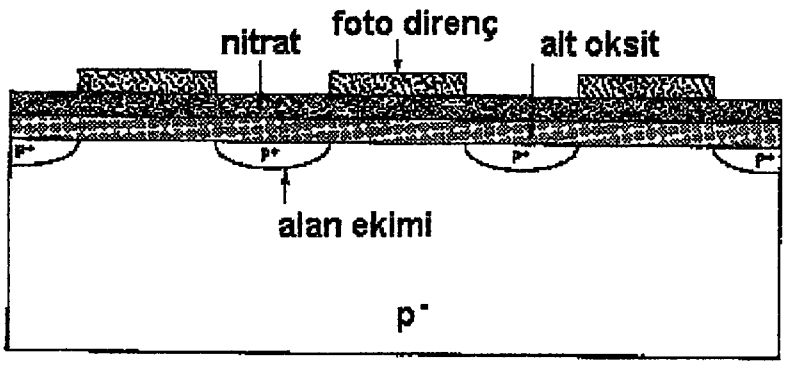



**Şekil 1.77 01 maske ve pozlandırma [11]**



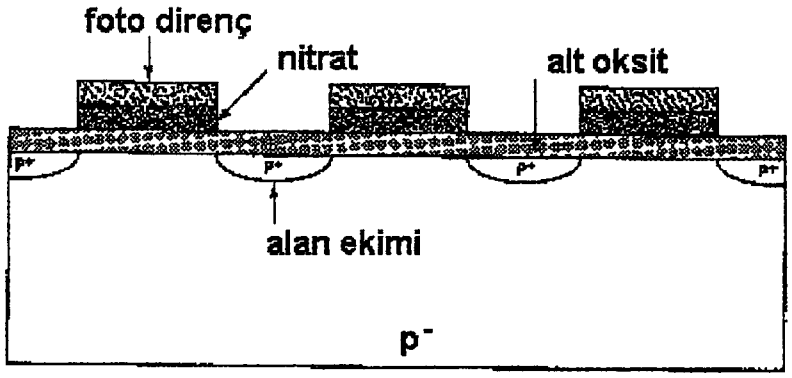

**Şekil 1.78 Geliştirme ve fırınlama [11]**

Pul yüzeyi B ile iyonlanır(Şekil 1.79). Gövdedeki B iyonları gövdenin p-tipi ile fazla katkılanmasına neden olur. Böylece yüzey eşik voltajı kaymasının neden olduğu çevrilme zorlaşır.

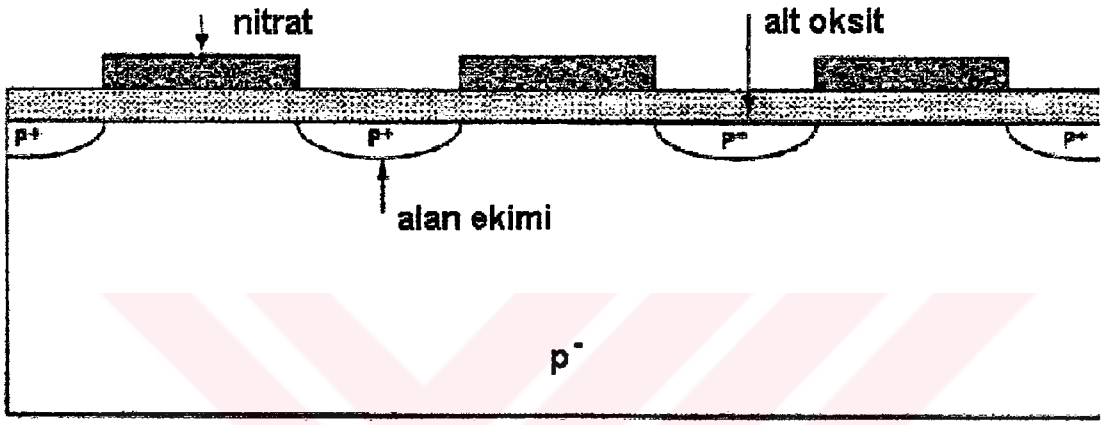



**Şekil 1.79 Bor ekimi [11]**

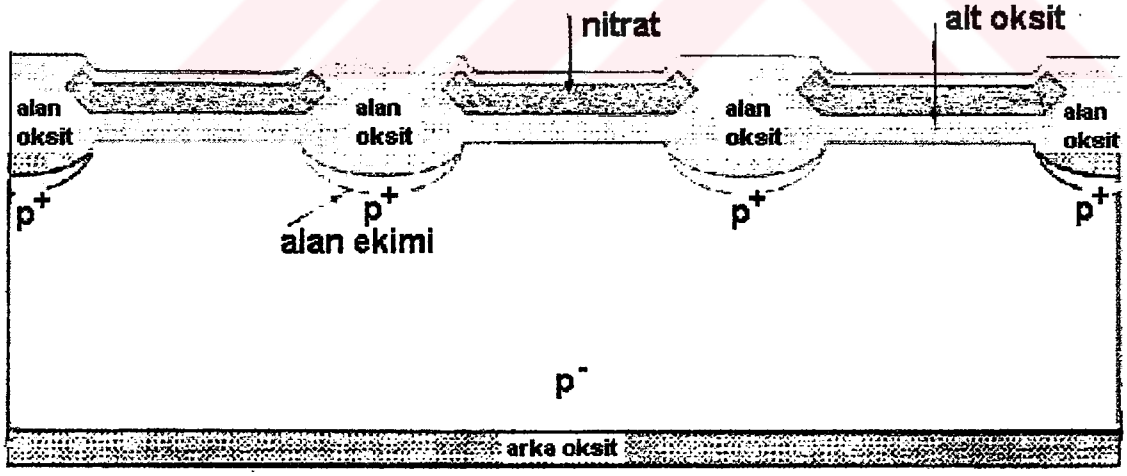
Sonraki adımda nitrat aşındırılır(Şekil 1.80). 01 maske modeli nitrat tabakasına eklendikten sonra fotodirenç işlemine tabi tutulur(Şekil 1.81). Oksijen pozlandırma ile alan oksidi oluşturulur(Şekil 1.82). Oksijen Si ile birleşir ve $SiO_2$ oluşur. Nitrat, pulun kaplandığı yerlerde oksit oluşumunu önler. Bazı B' lu Si, $SiO_2$ ye çevrilir. Nitrat kenarları boyunca $SiO_2$ oluşumu nitratın kalkmasına neden olur. Bu kaldırma "**kuş gagası**"(bird beaking) olarak adlandırılır. $SiO_2$ aynı anda pulun arkasında da oluşturulur. Bu arkadaki tabakaya "**arka oksit**" denir.



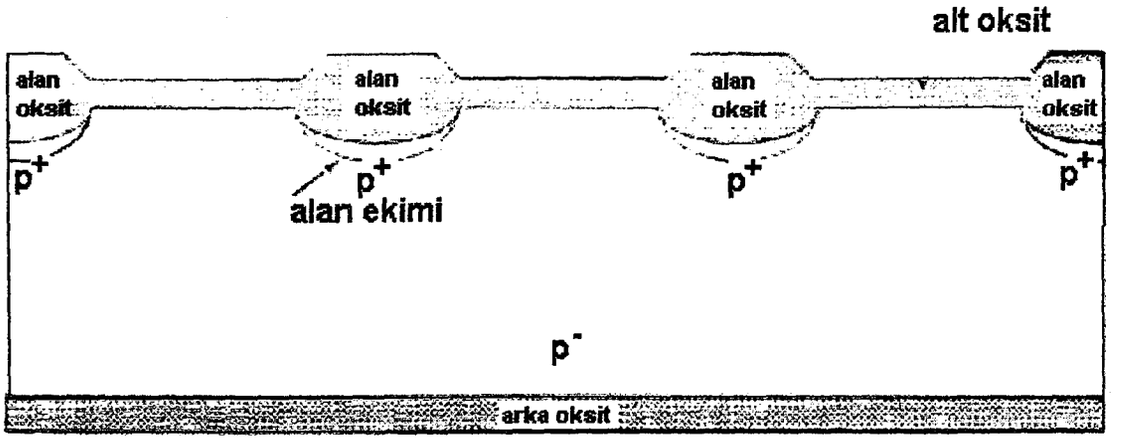

Şekil 1.80 Nitrat aşındırma [11]




Şekil 1.81 Foto direnç çıkarma [11]

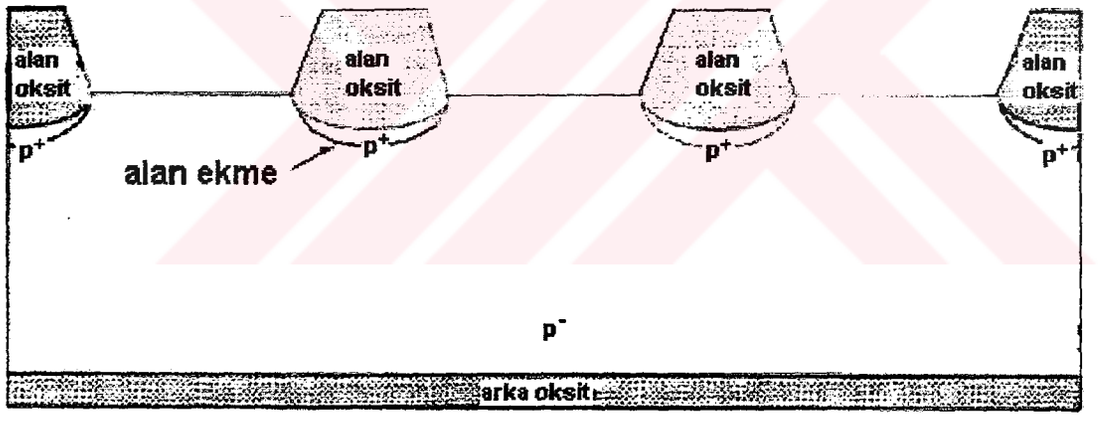



Şekil 1.82 Alan oksidasyonu [11]




**Şekil 1.83 Üst oksit ve nitrat çıkarma [11]**

Nitrat çıkartılır(Şekil 1.83). Nitrat tabakasının çıkartılmasından sonra alt oksit çıkartılır(Şekil 1.84).

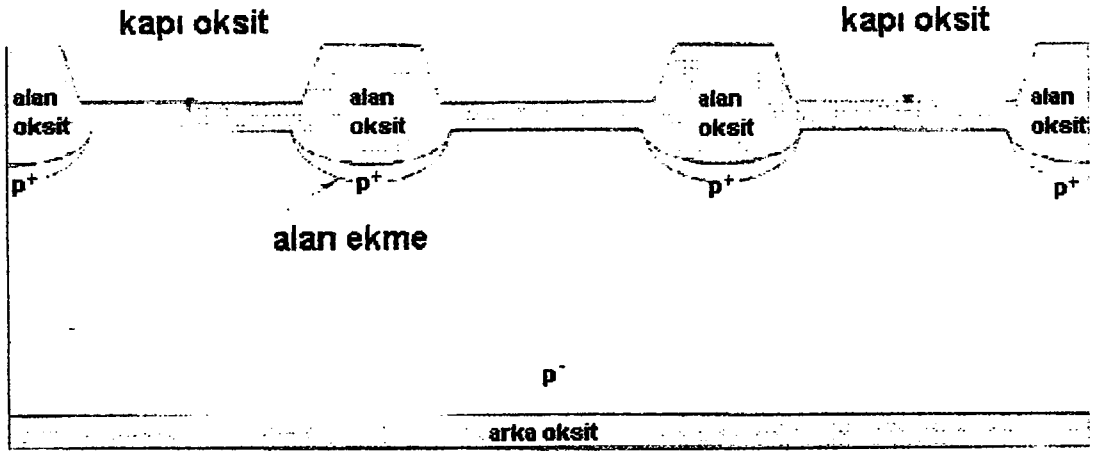



**Şekil 1.84 Alt oksit aşındırma [11]**

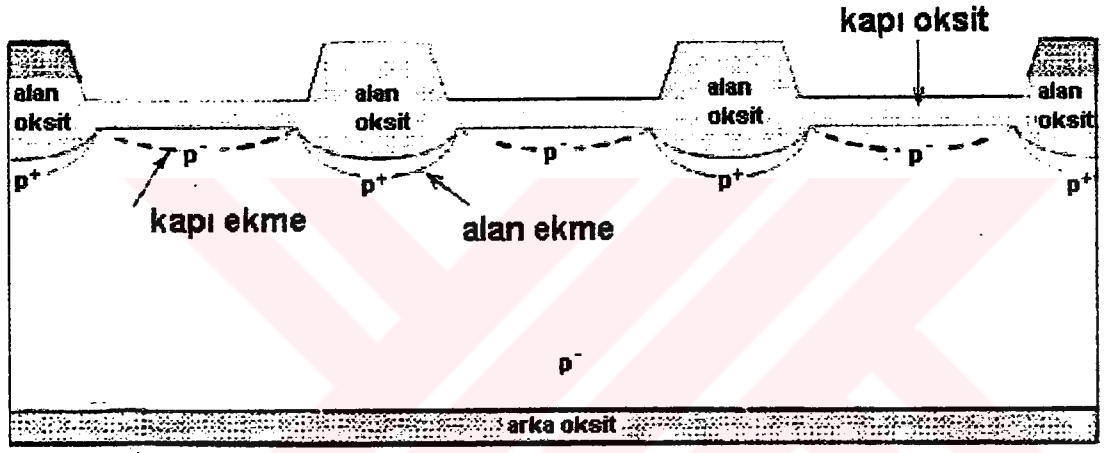
I. 02 Maskeleme İşlemi

02 maskelemenin amacı deplesyon transistorları tanımlamaktır. Bu işlem deplesyon transistorlarının oluşturulacağı bölgeye P iyonlarının implantasyonu ile gerçekleştirilir. Gövdedeki ek iyonlar bu transistorların eşik voltajını değiştirir.

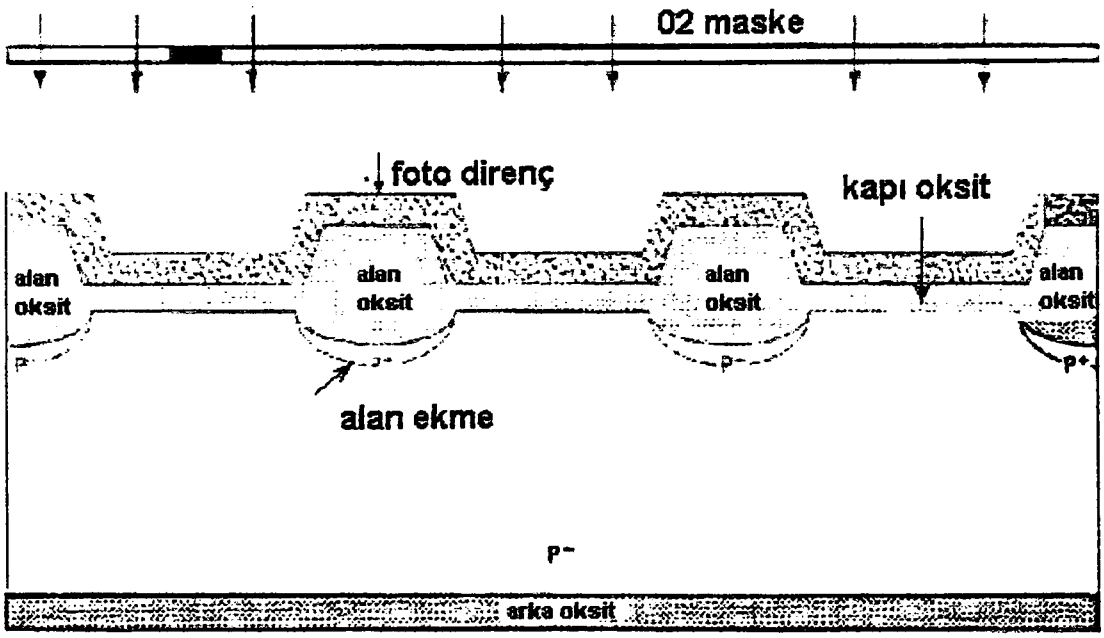
Alt oksit çıkarıldıktan sonra kapı oksidi oluşturulur ve boş kapı iyon implantasyonu gerçekleştirilir(Şekil 1.85 ve 1.86). Bu işlem puldaki bütün transistorların eşik voltajlarını kaydırır. Fotodirenç pul yüzeyine ekildikten sonra kurutulur. 02 maskeleme 01 maskeleme tarafından belirlenen dizilme anahtarını gerçekleştirilir. Fotodirenç pozlandırılır(Şekil 1.87). Pul deplesyon ekimi için pozlandırılır(Şekil 1.88). Deplesyon transistor bölgesinin implantasyonundan sonra fotodirenç çıkartılır(Şekil 1.89).



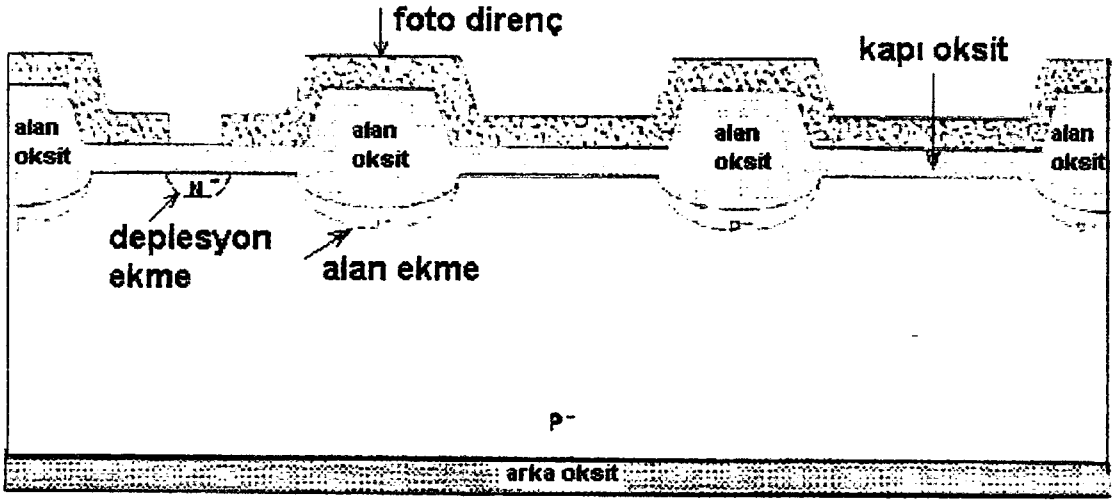

Şekil 1.85 Kapı oksidasyonu [11]




Şekil 1.86 Kapı ekme [11]



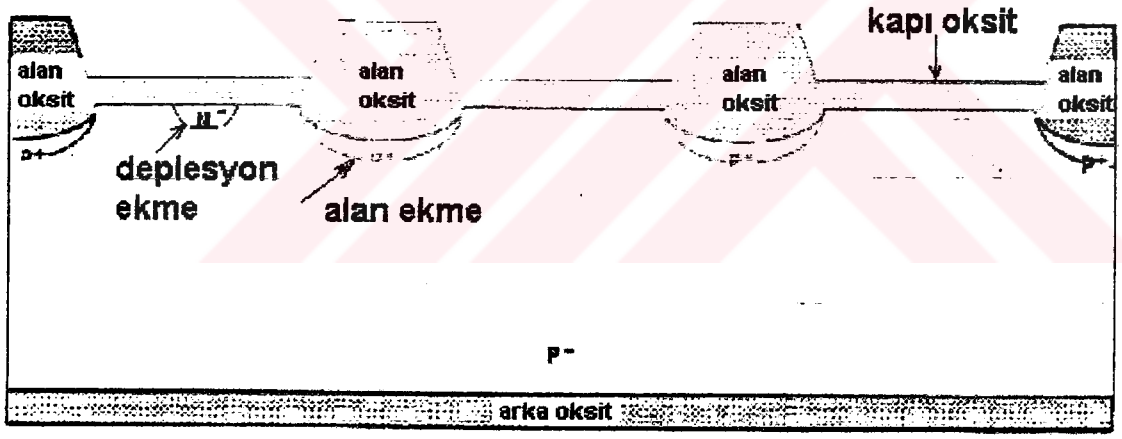

Şekil 1.87 02 maske ve pozlandırma [11]



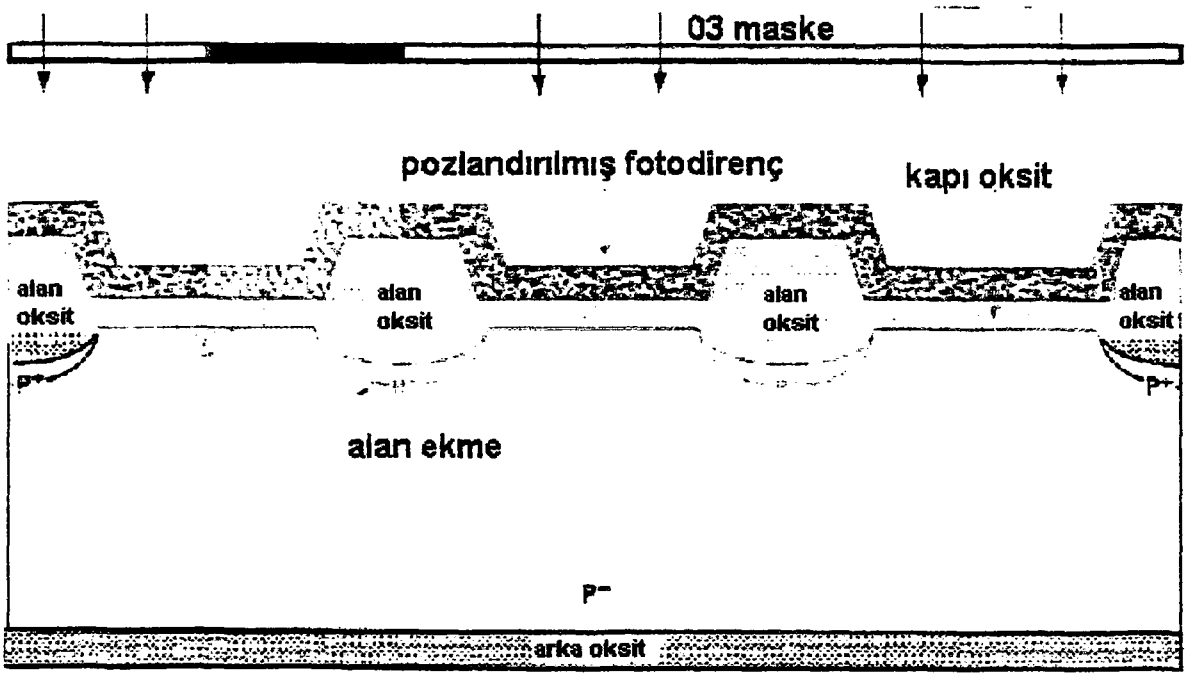

**Şekil 1.88 Deplesyon ekme [11]**

II. 03 Maskeleme İşlemi

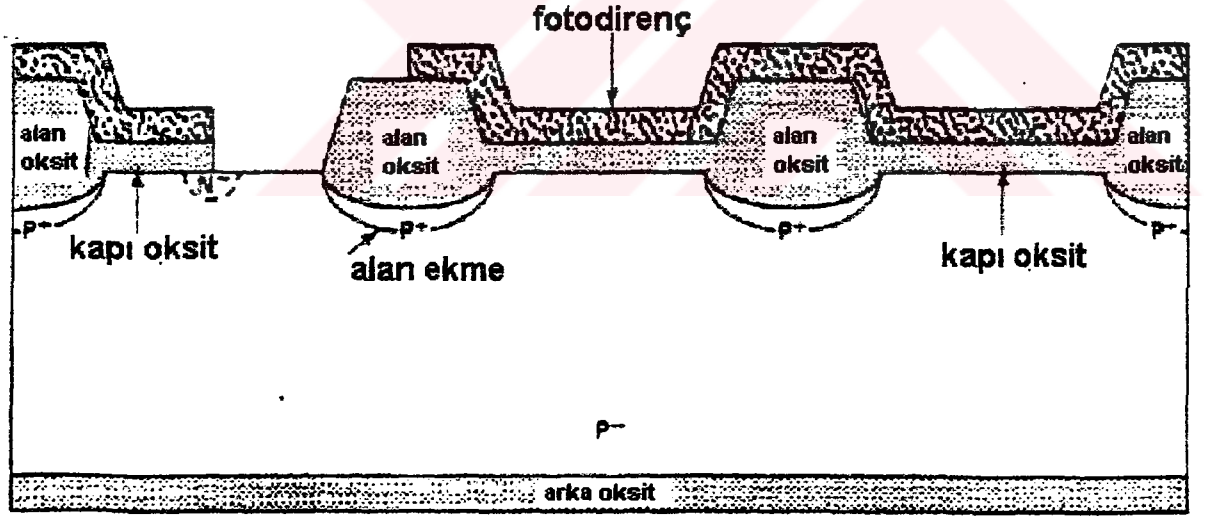
03 maskeleme kapı oksidinin yokluğu(çıkarıldığı bölgeler) ile tanımlanan gömülü kontakları oluşturur. 02 modeli ile fotodirenç çıkarıldıktan sonra yeni fotodirenç ekilir ve kurulanır. 03 maskeleme, 01 maske (Şekil 1.90) ile belirlenen dizilme anahtarını gerçekleştirir. Fotodirenç pozlandırılır ve geliştirilir. Pul bir aşındırma çözeltisine yerleştirilir ve pozlandırılmış kapı oksidi çıkartılır(Şekil 1.91). Daha sonra fotodirenç çıkartılır(Şekil 1.92).



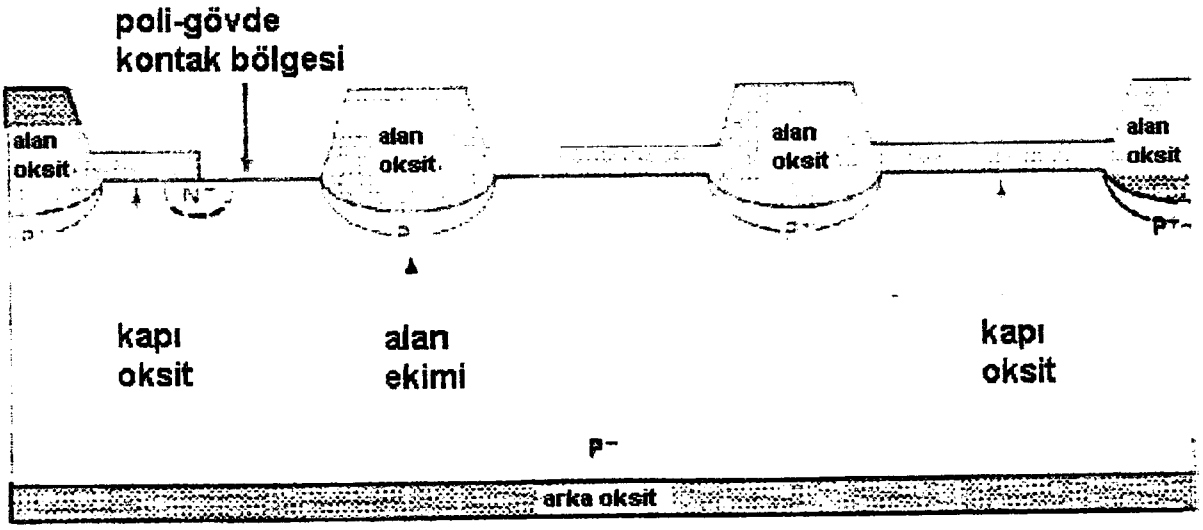

**Şekil 1.89 Foto direnç çıkarma [11]**




Şekil 1.90 03 maske ve pozlandırma [11]




Şekil 1.91 03 kapı aşındırma [11]



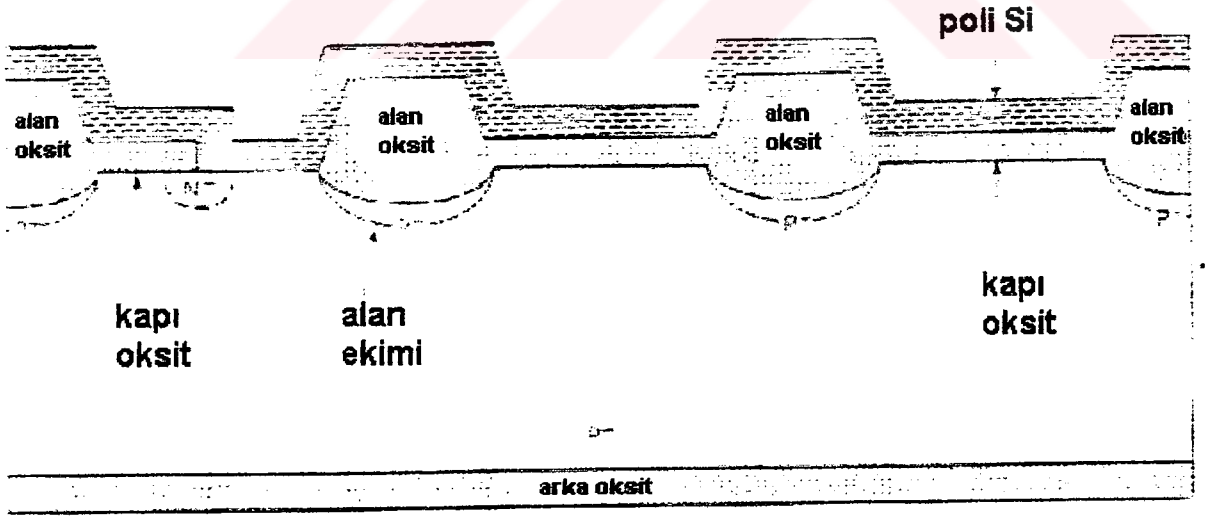

**Şekil 1.92 Foto direnç çıkarma [11]**

III. 04 Maskeleme İşlemi

Eğer gerekli olursa 03 maske ile aynı modeldeki 04 maske kullanılabilir. Bu durumda 03 maskelemedeki işlemler geçilir ve 04 maskeleme gerçekleştirilir. 04 maske ek fotodirenç tabakası içerir. Kapı oksidinin çıkarıldığı yüzeyde oluşturulan poli kristal Si film, gövde ile bağlanır.

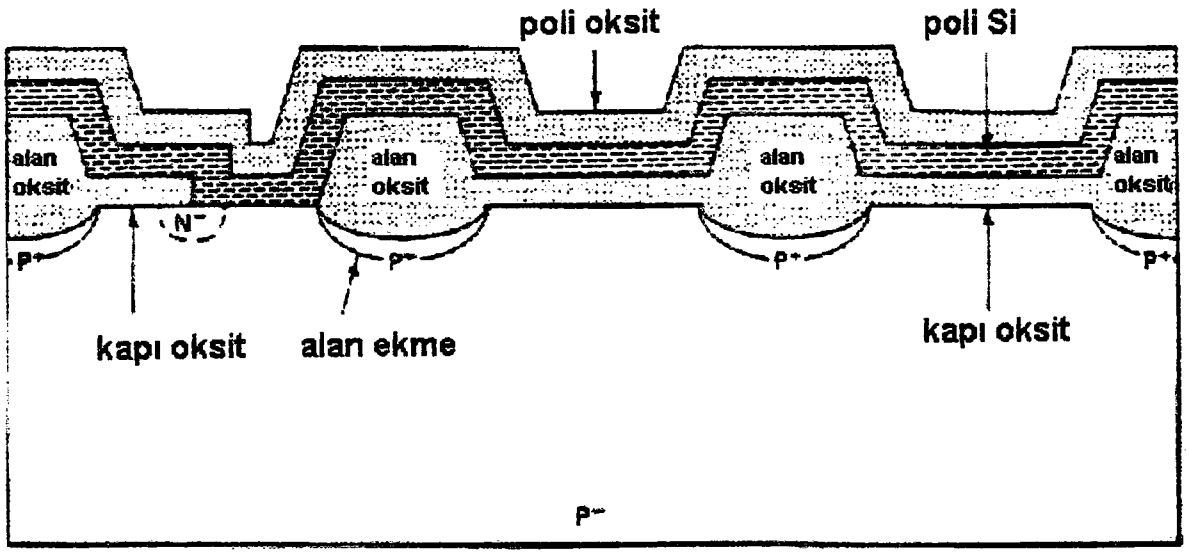
IV. 05 Maskeleme İşlemi

Poli kristal Si film pul yüzeyine oluşturulur (Şekil 1.93) ve film yüzeyi oksitlenir(Şekil 1.94). 05 maskeleme transistorların kapısını, kondansatörleri ve ara bağlantı hatlarını tanımlar. Poli oksidasyondan sonra pul yüzeyi fotodirençlenir. 05 maskeleme 01 maskeleme ile tanımlanan

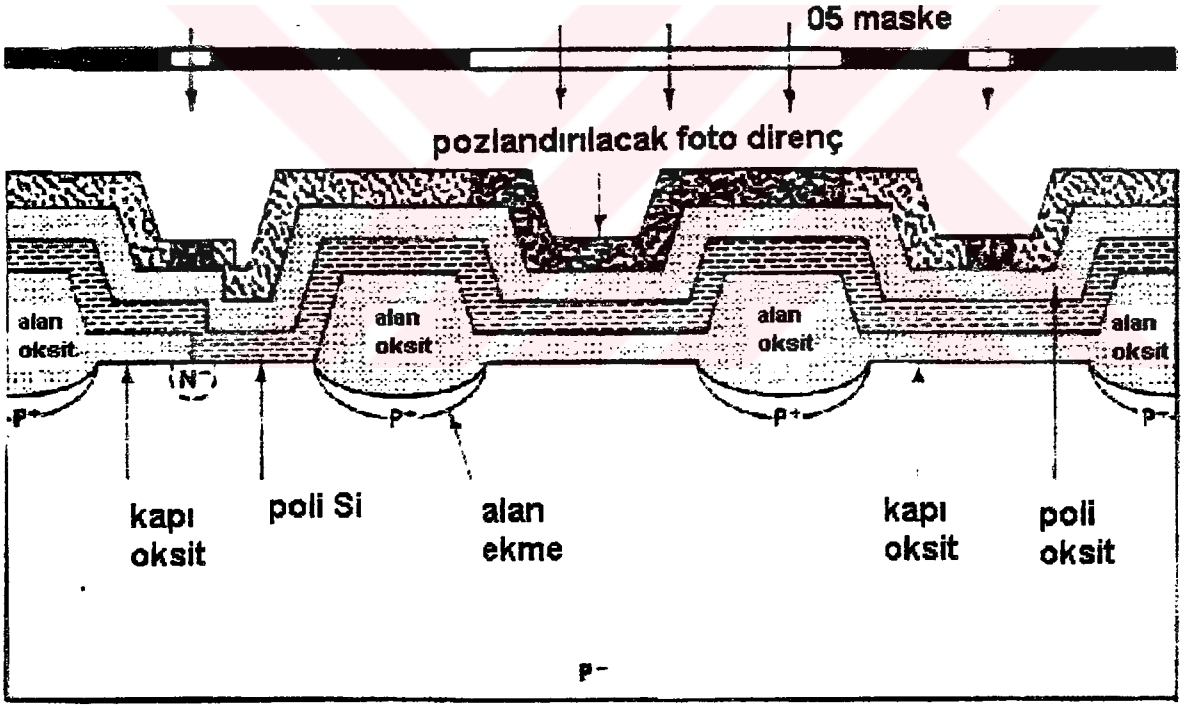



**Şekil 1.93 Poli kristal Si film oluşturma [11]**

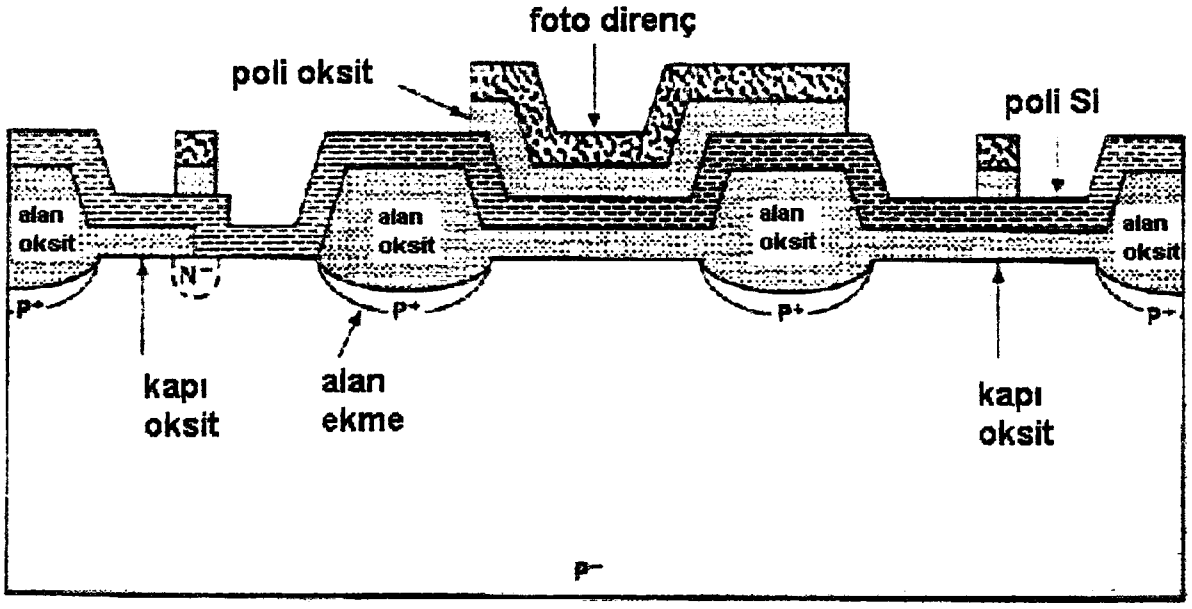
dizilme anahtarını gerçekleştirir. Fotodirenç pozlandırılır ve geliştirilir(Şekil 1.95). 05 modeli poli oksidine yerleştirilir(Şekil 1.96). Fotodirenç daha sonra çıkartılır(Şekil 1.97). Poli oksit maske olarak kullanılarak 05 modeli poliye eklenir(Şekil 1.98). Fazla poli çıkarıldıktan sonra gövde kaynak, akaç ve $n^-$ ara bağlantılar için pozlandırılır(Şekil 1.99).



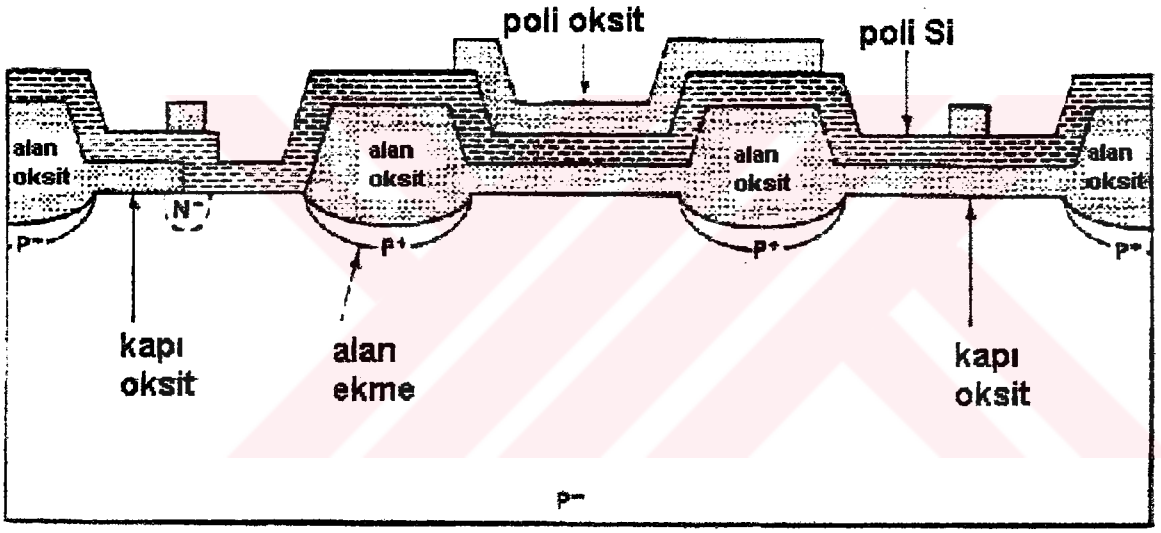

Şekil 1.94 Poli kristal Si oksidasyonu [11]



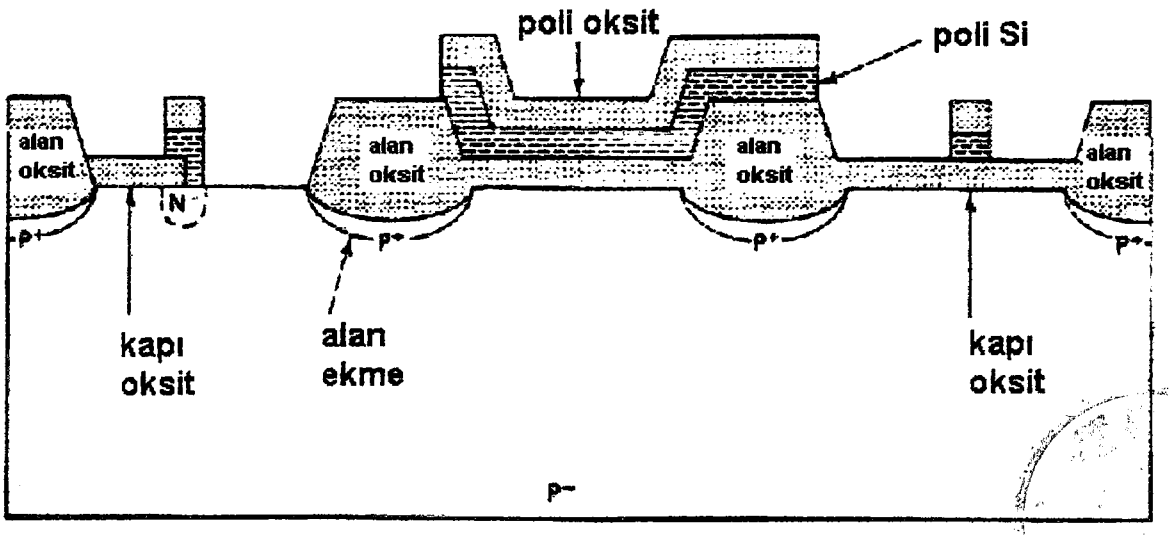

Şekil 1.95 05 maske ve pozlandırma [11]



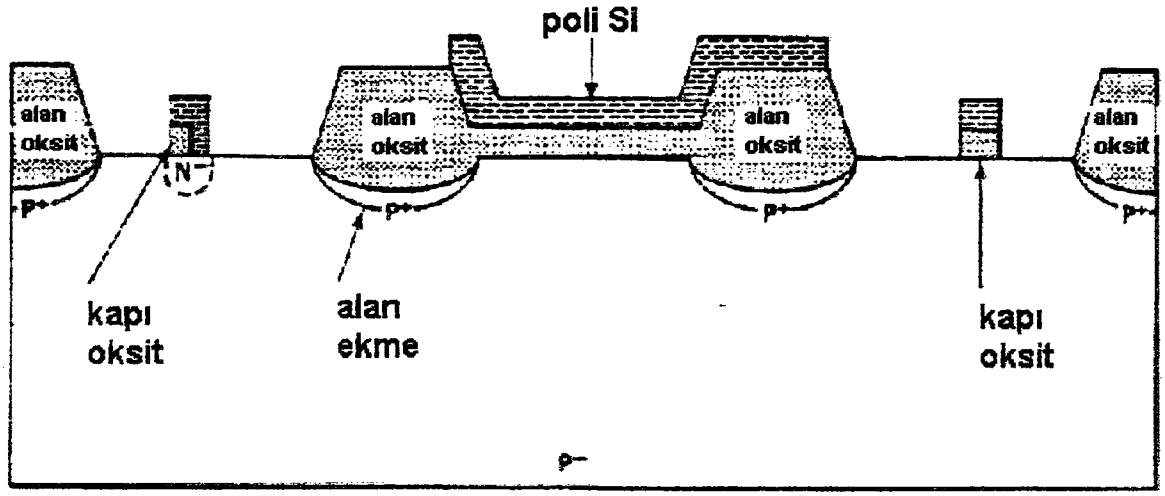

Şekil 1.96 Poli kristal Si oksidasyon aşındırma [11]




Şekil 1.97 Foto direnç çıkarma [11]

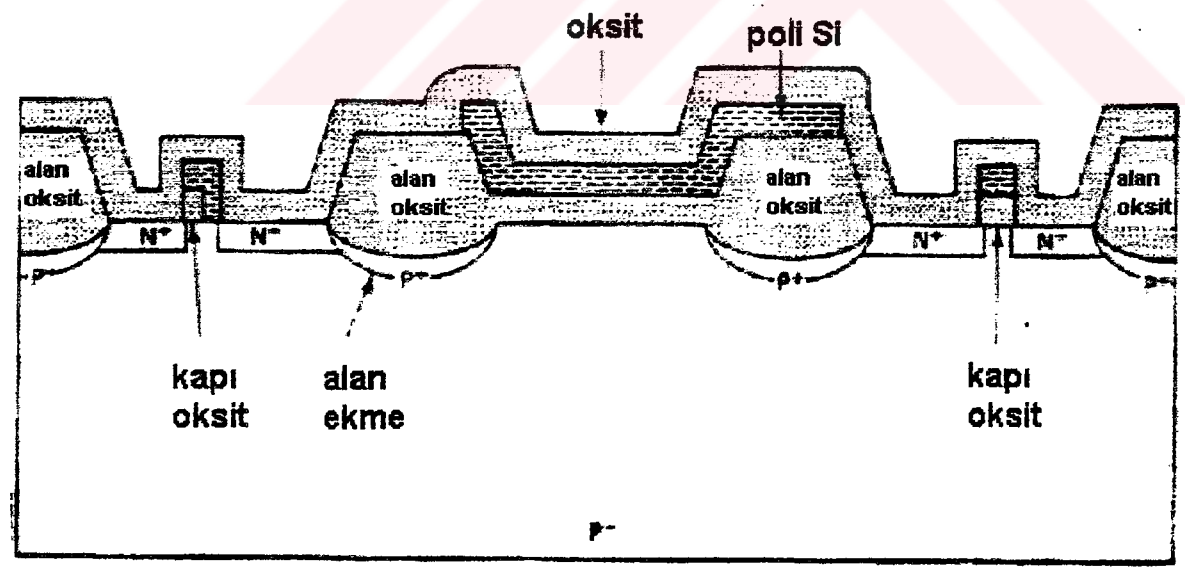



Şekil 1.98 Poli kristal Si aşındırma [11]

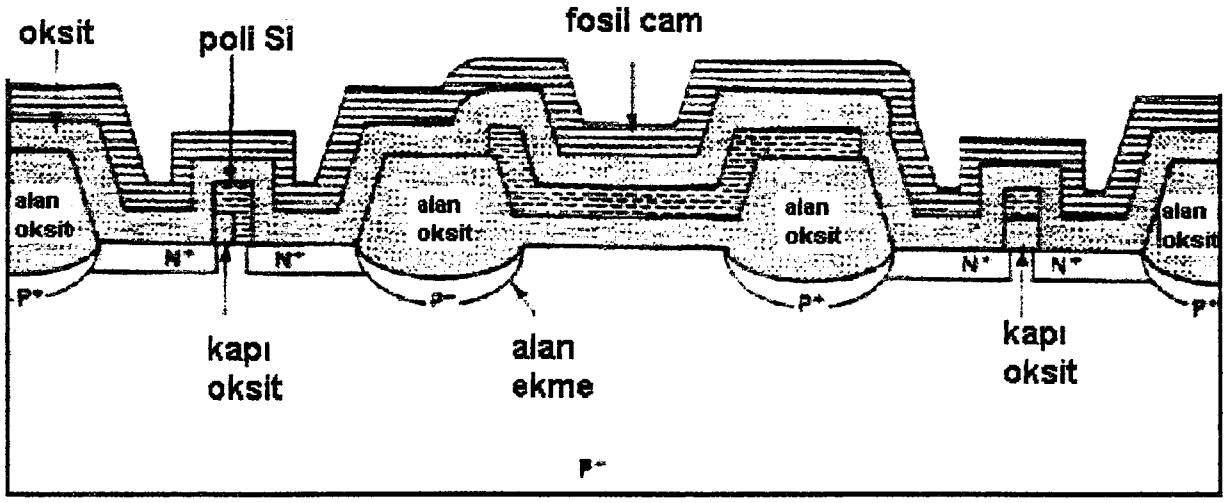



**Şekil 1.99 Kapı oksit aşındırma [11]**

05 maskeleme işleminin arkasından pul yüzeyinin katkılandırıldığı yerde bir ön oluşturma olur. Bu ön oluşturmanın amacı, Si' in yayılacağı yer olan Si yüzeyi ile katkıların bağlantılarını gerçekleştirmektir(Bu işlemde katkı P' dur.). Katkı, oluşturulan poli kristal Si direncini azaltır. $n^+$ kaynağı, transistorun akacını ve $n^+$ ara bağlantıları oluşturur(Şekil 1.100). Pul daha sonra ısıtılarak katkılanır. Pul içine Si difüze edilir ve $SiO_2$ filmi oluşturulur. Bu işlemden sonra fosil katkılı cam film pul üzerine oluşturulur(Şekil.1.101). Oluşan oksit ve oluşturulan fosil cam alan oksidini oluşturur ve $n^+$ bölgesi, poli tabakaları ve metal arasında izolasyon sağlar.



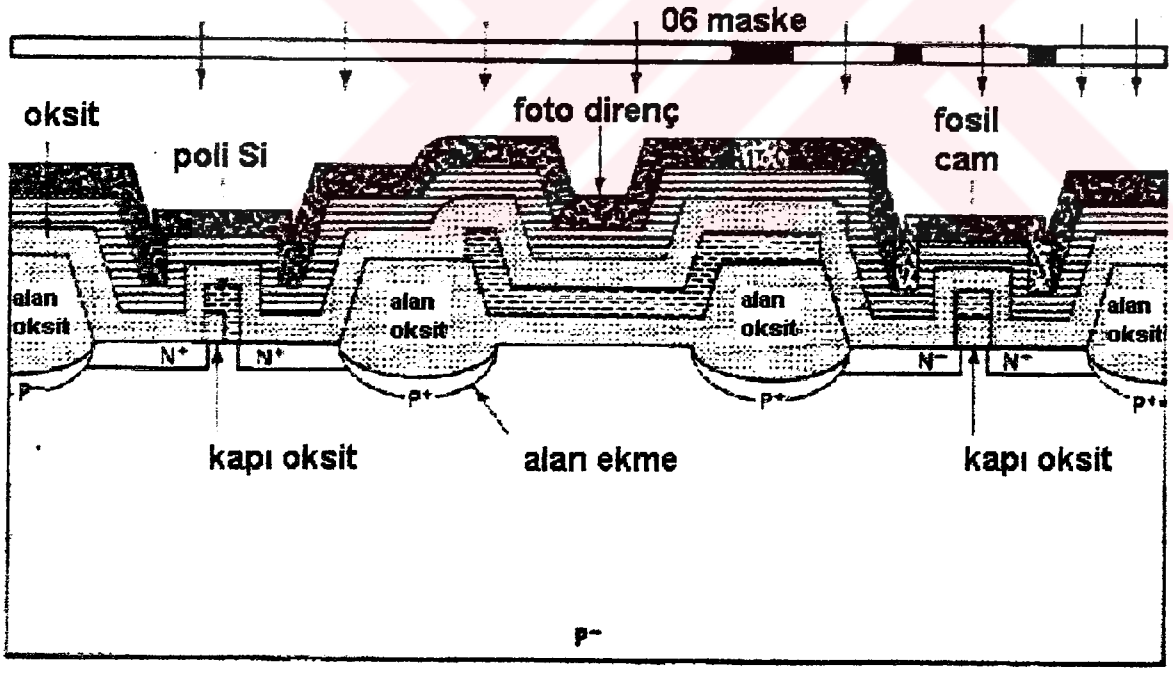

**Şekil 1.100 $N^+$ kaynak-akaç [11]**




**Şekil 1.101 Cam oluşturma [11]**

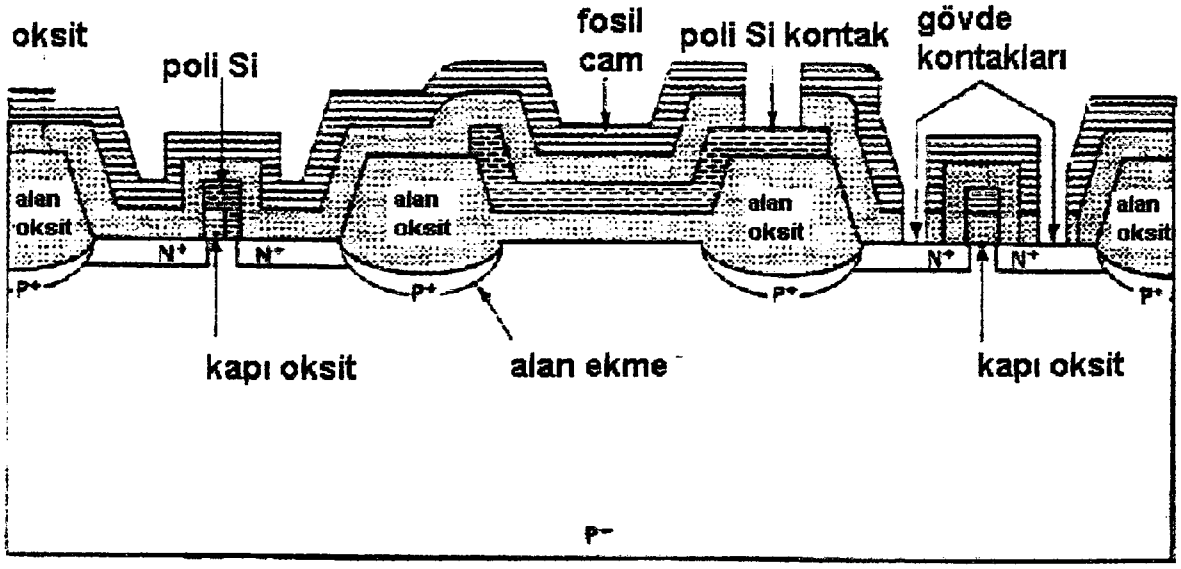
V. 06 Maskeleme İşlemi

06 maskeleme ön omik kontak kesimlerini tanımlar. Bu kontaklar izolasyon tabakasından poli veya $n^-$ bölgesine geçen metaller ile oluşturulur. Fosil (Phossil) cam oluşturulmasından sonra pul fotodirençlenir ve kurulanır. 06 maskeleme 05 maskeleme ile tanımlanan dizilme anahtarını gerçekleştirir. Fotodirenç pozlandırılır ve geliştirilir(Şekil 1.102).




**Şekil 1.102 06 maske ve pozlandırma [11]**

Pul aşındırıcı ile pozlandırılır. 06 kontak delikleri daha sonra eklenir(Şekil 1.103) .



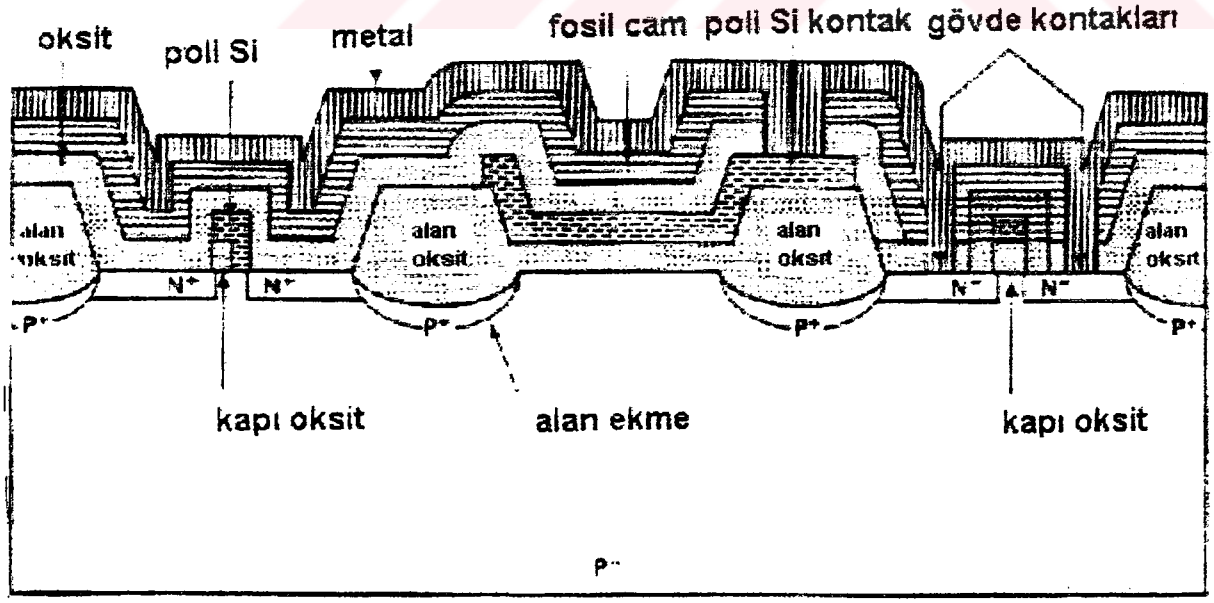

**Şekil 1.103 Ön omik kontak kesimi ve foto direnç çıkarma [11]**

VI. 07 Maskeleme İşlemi

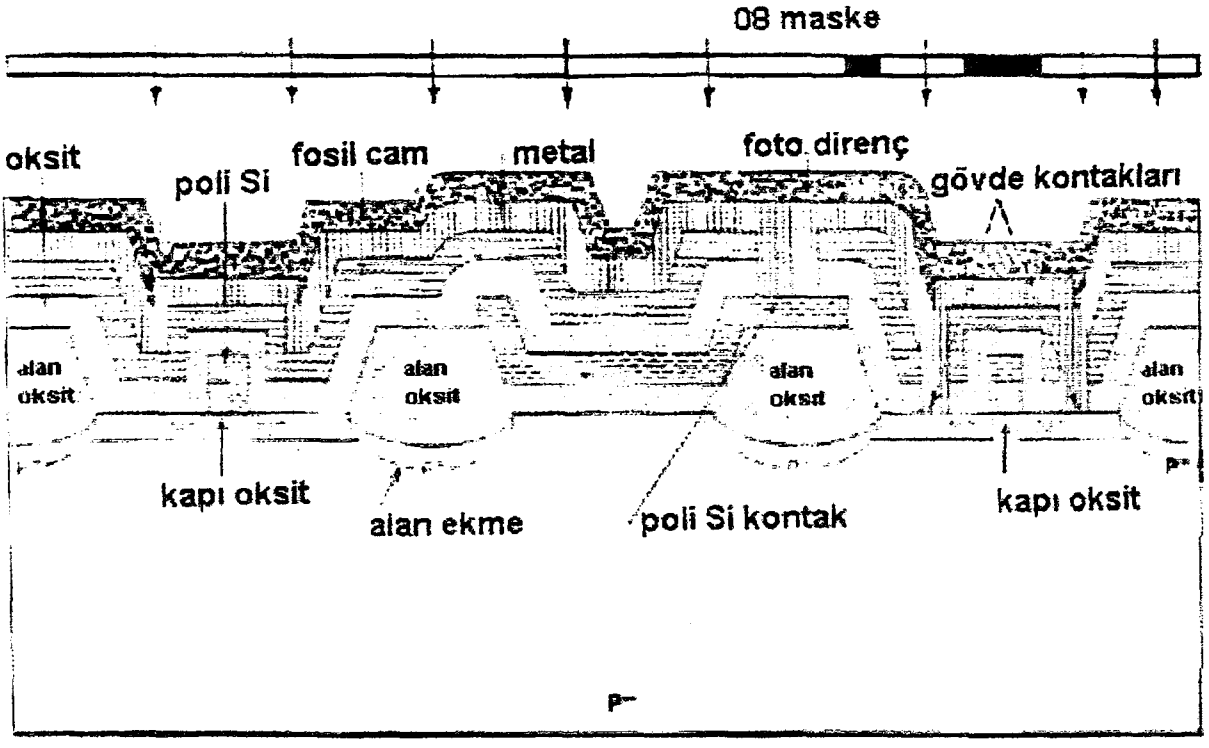
07 maskeleme nadir olarak 06 maskelemede oluşturulan delikleri inceltmek için kullanılır. Model büyüklük haricinde 06 ile aynıdır.

VII. 08 Maskeleme İşlemi

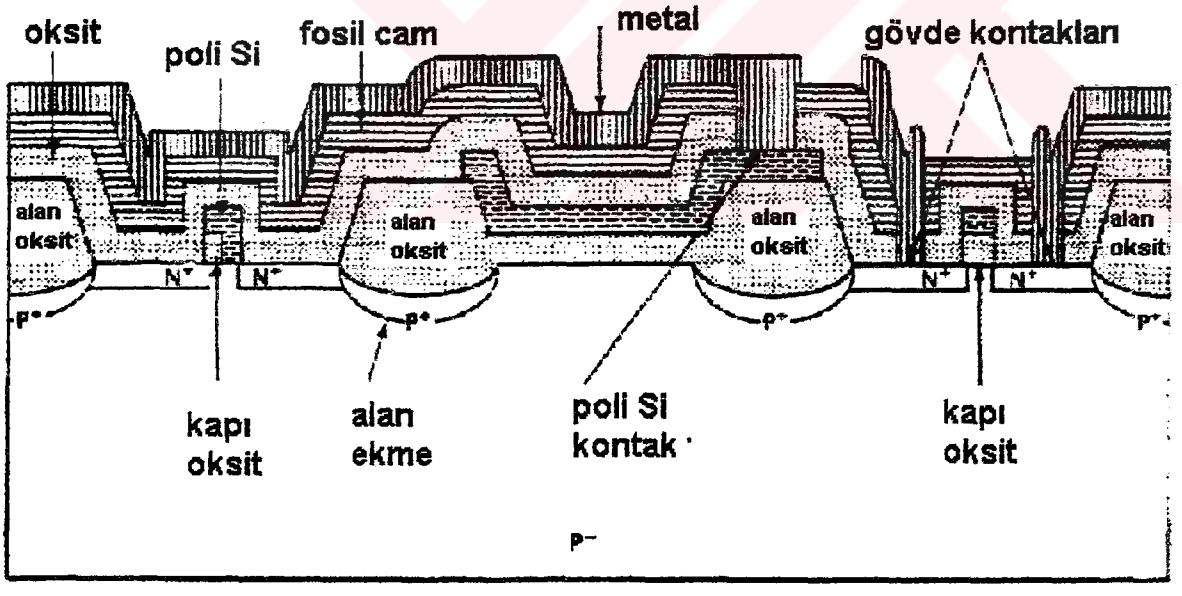
08 maske ara bağlantıları, güç hatlarını ve tümdevre ayaklarını tanımlar. 06 kontak delikleri kesildiğinden, metal bir film pul üzerine oluşturulur(Şekil 1.104). Tekrar pul fotodirençlenir. Fotodirenç tabaka daha sonra kurulanır ve 08 maske 06 maske ile tanımlanan dizilme anahtarını gerçekleştirir(Şekil 1.105). Daha sonra fotodirenç pozlandırılır ve geliştirilir. Metal model eklenir(Şekil 1.106). Metal fotodirenç daha sonra çıkartılır. Pasifleştirme metal model üzerine oluşturulur(Şekil 1.107).



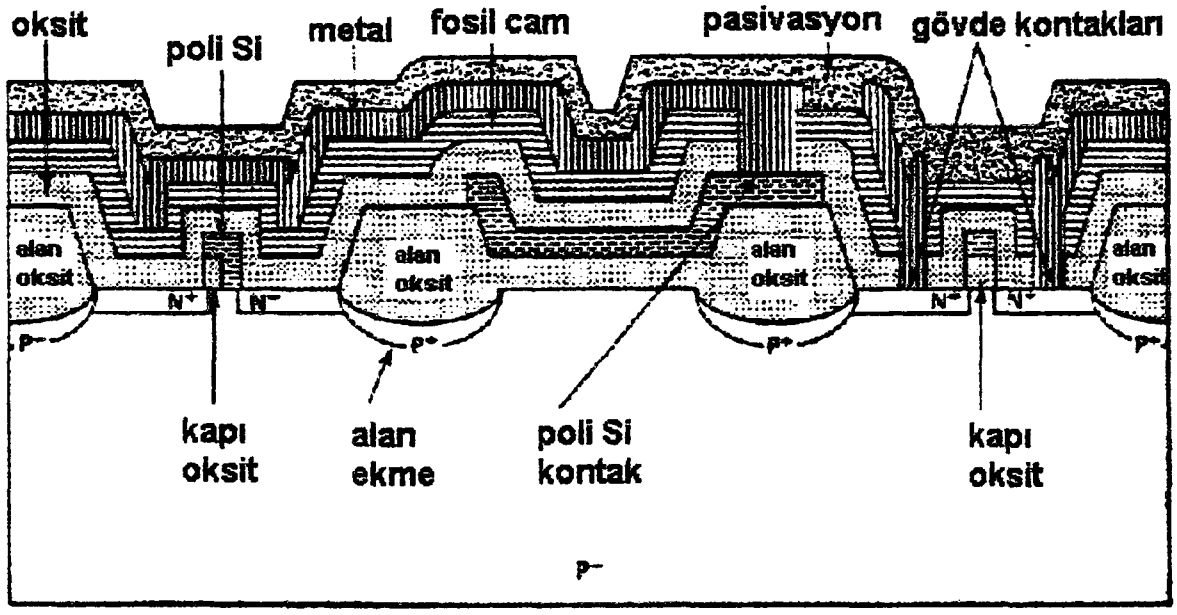

**Şekil 1.104 Metalleme işlemi [11]**




Şekil 1.105 08 maske ve pozlandırma [11]




Şekil 1.106 Aşındırma ve foto direnç çıkarma [11]




**Şekil 1.107 Son pasivasyon [11]**

IX. Maskeleme İşlemi

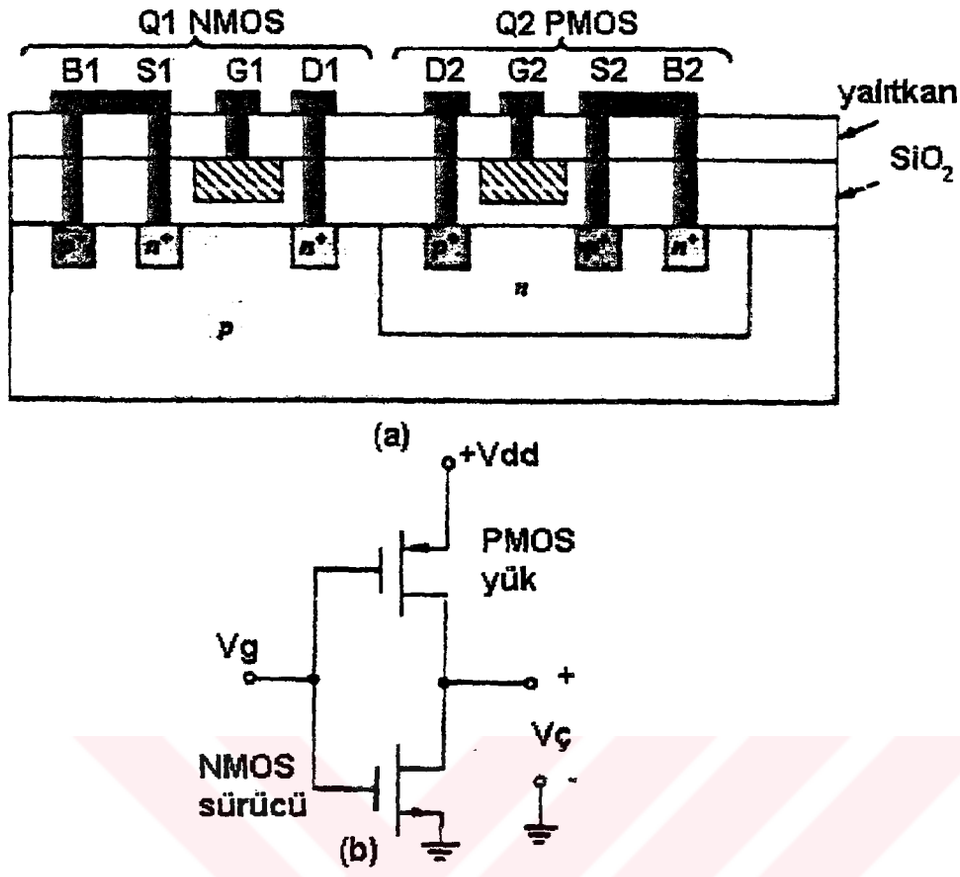
Bu adımda yeni fotodirenç filmi pul yüzeyine ekilir ve kurutulur. 09 maskeleme ayaklar için açıklıkları tanımlar ve 08 maskeleme ile tanımlanan dizilme anahtarını gerçekleştirir. Fotodirenç pozlandırılır, geliştirilir ve aşındırılır. Bu noktada pulun son işlemleri yapılarak paketlemeye gönderilir. [11]

MOS transistorlar daha fazla dijital entegre lojik kapılar ve bellek dizilerinde kullanılırlar. Bu elemanların BJT üzerindeki avantajları şunlardır:

i. MOS üretim işlemleri daha az adıma, daha az maskeleme ve daha az yüksek sıcaklık adımına ihtiyaç duyarlar.
ii. MOS elemanların paketleme yoğunluğu yüksektir. Devre fonksiyonu maliyeti BJT elemanlardan daha azdır.
iii. MOS devrelerin empedansı yüksektir ve bu nedenle BJT' ye göre daha az güç harcarlar.
iv. n ve p-kanallı elemanlar aynı gövde üzerine kolayca üretilebilirler. Bundan dolayı, düşük güçte tümleyen simetrili devreler oluşturulabilir.

### 1.4.8 CMOS Teknolojisi

Tümleyen MOS (Complementary MOS:CMOS) NMOS ve PMOS enhansment transistorun aynı kırmık üzerine üretilmesiyle elde edilir. Bunu gerçekleştirmek için iki ek adım gerekir. Şekil 1.108.b' de görülen devre Şekil 1.108.a' da görüldüğü gibi üretilir. Şekil 1.108.a' da görüldüğü gibi PMOS transistor p-gövde üzerine implante edilen veya difüzyonlanan n-tipi madde (well) üzerine üretilir. Bu n-tipi bölge B2 gövdesi veya PMOS transistorun gövdesi olarak davranır. Bu n bölgesini elde etmek için en az bir ek maskeleme ve aşındırma işlemi gereklidir. İkinci ek işlem adımı PMOS akaç bölgesi ve p-tipi kaynak implantasyonu için gereklidir. Oksit bölgeleri, poli Si kapı alanı ve metalizasyon gibi işlemler NMOS enhansment transistor ile aynıdır.




**Şekil 1.108 CMOS (a) yapısı (b) devresi [4]**

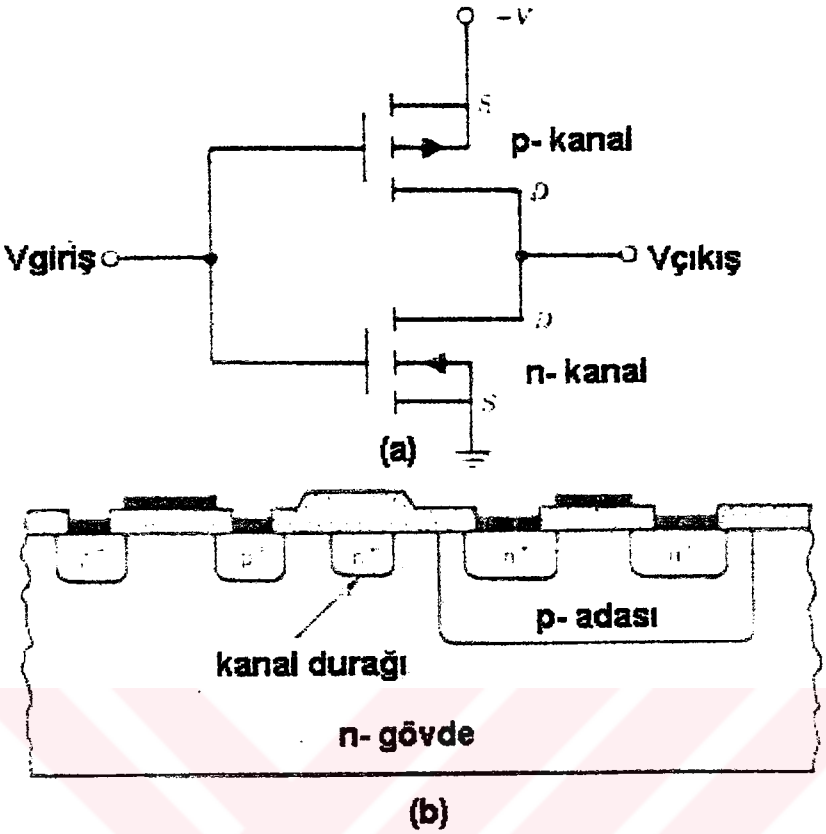
Devre konfigürasyonu metalizasyon maskelemeyi belirler. Örneğin; Şekil 1.108.b deki eviricide (inverter) bağlantıların G1 ve G2 arasında olduğu gibi D1 ve D2 arasında da oluşturulması gerektiği gösterilmektedir.

Ayrı B1 ve B2 gövdeleri arası bağlantı sağlanmıştır. B1, S1' e bağlıdır ve en düşük voltaja bağlı olduğu halde (Şekil 1.108.b de 0V) B2 S2 ye bağlıdır ve en pozitif voltajda ($V_{DD}$) tutulur. B1 p-tipi ve B2 n-tipi olduğundan oluşan p-n diyodu ters polarizelidir. Yani NMOS ve PMOS transistorları arasındaki izolasyon otomatik olarak sağlanmaktadır.

PMOS transistorun, NMOS transistordan daha fazla yer kapladığı görülmektedir. [4]

MOS lojiğin önemi evirici devrelerle anlaşılabilir. Bu devrelerin bir çok çeşidi vardır, fakat en kullanışlı olanı Şekil 1.109.a da görülen CMOS eviricidir. n ve p-kanallı MOS transistorlardan oluşur. İki elemanın akacı birleşerek devrenin çıkışını oluşturur. Giriş, transistorların ortak kapılarıdır. p-kanalın kaynak terminali pozitif voltaja bağlanır. Her iki transistor de enhansment tiptir ve p-kanallının eşik voltajı negatif olduğu halde n-kanallının eşik voltajı pozitiftir. Giriş voltajı $V_{in}$=0 olduğunda p-kanallının kapısı kaynak ve gövdeye göre negatif potansiyeldedir. Bundan dolayı, n-kanallı aktif değilken p-kanallı aktif olur. Öngerilimleme voltajı, (V) yeterince büyük olursa aktif olan transistor doyuma gider($V_{out}$=V). Alternatif olarak pozitif giriş voltajı($V_{in}$) n-kanallının aktif olmasına ve p-kanallının pasif olmasına neden olur. N-kanallının çıkış voltajı 0V olur. Yani devre bir evirici gibi çalışır. Her iki transistor seri olduğundan ve her iki koşulda da herhangi biri aktif olduğundan kararlı

durumda az bir akım akar. Buna rağmen, anahtarlama sırasında akan akım devrenin güç harcamasına neden olur. Küçük güç harcamasından dolayı CMOS devreleri elektronik kol saati gibi düşük güçlü devrelerde kullanılır.



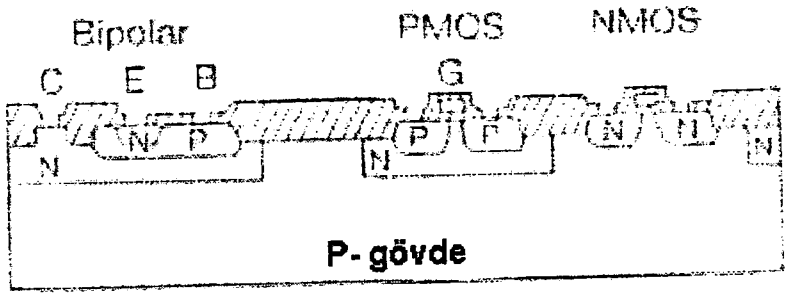

**Şekil 1.109 CMOS evirici (a) temel devre (b) yapısı [2]**

CMOS devrelerin teknolojisi aynı eşik değerli ve enhansment modlu p ve n-kanallı elemanların üretilmesini gerektirir. Basit bir IC tasarımı Şekil 1.109.b' de görülmektedir. Burada n-tipi Si gövde kullanılır. p-tipi adaları izole etmek için gövdede p-difüzyonu gerçekleştirilir. n-kanal elemanı $n^-$ kaynak ve akaç bölgelerinin difüzyonu ile üretilir. İstenilen eşik voltajını elde etmek için kullanılan iyon implantasyonu p-tipi adadaki alıcı konsantrasyonu belirlemeyen önemli bir parametredir. n-gövdedeki p-kanallı eleman $p^-$ kaynak ve akaç difüzyonu ile gerçekleştirilir. $n^-$-kanallı olursa, n-kanallı elemanın akaç ve kaynak difüzyonu sırasında oluşturulur. Bu kanal, ara bağlantı metali altındaki n ve p kanallı elemanlar arasında evirme tabakasının oluşmasını önler. [2]

### 1.4.9 Bipolar-CMOS (BICMOS) Tümdevreler

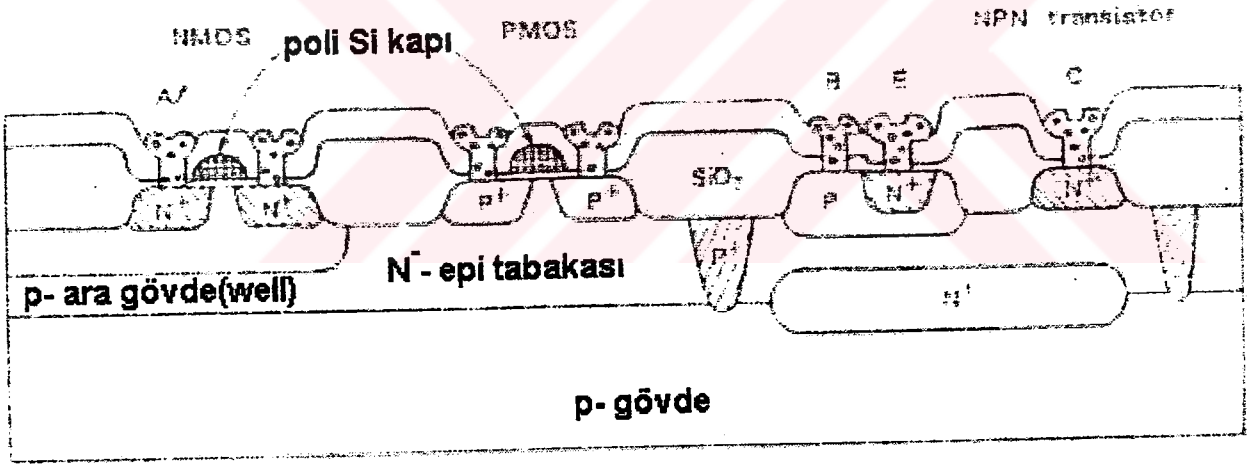
CMOS mikrodevrelerin avantajları az güç harcamaları, yüksek gürültü bağışıklığına sahip olmaları ve yüksek yoğunlukta üretilebilmeleridir. Buna rağmen, sistem hızı büyük belleklerin bit hatları ve kelime hatları gibi yüksek kapasiteli yükleri sürme kabiliyeti ile sınırlandırılmıştır. Diğer taraftan, BJT CMOS' dan daha hızlı olup büyük akım sürme kabiliyetine sahiptir. Son zamanlarda BJT işlem karışıklığında küçük bir artış ile CMOS ile birleştirilmiştir. Bu kombinasyon BICMOS olarak bilinir ve CMOS devrelerin hızından daha yüksek hız gerektiren dijital uygulamalarda kullanılır. Bunlardan bazıları DRAM için duvarlılık yükselteci (sense amplifier), bellek entegrasyonu ve düşük güçlü SRAM yardımcı devreleridir.

CMOS ve BJT bir çok sayıda aynı işlemi paylaşırlar. BICMOS fabrikasyonu sadece düşük derecede ek işlemler gerektirir. Daha önce üretilen BJT' den farklı olarak CMOS sadece bir ek maskeleme işlemi gerektirir. Şekil 1.110 bu çeşit bir BICMOS yapısı göstermektedir.




**Şekil 1.110 MOS ve BJT' den oluşan BICMOS yapısı [8]**

Modern devrelerde BJT performansı gömülü tabaka yapılarının kullanılması ile önemli miktarda geliştirilmiştir. Bundan dolayı, Şekil 1.111 de görüldüğü gibi işlemi biraz karışık hale getirmiştir. Burada bir n-p-n, bir PMOS ve bir NMOS transistor p-tipi gövde üzerine oluşturulmuştur. Daha sonra bir n- epitaksiyel tabakası oluşturulur. BJT $p^-$ difüzyonlu izolasyon tüp kullanır.



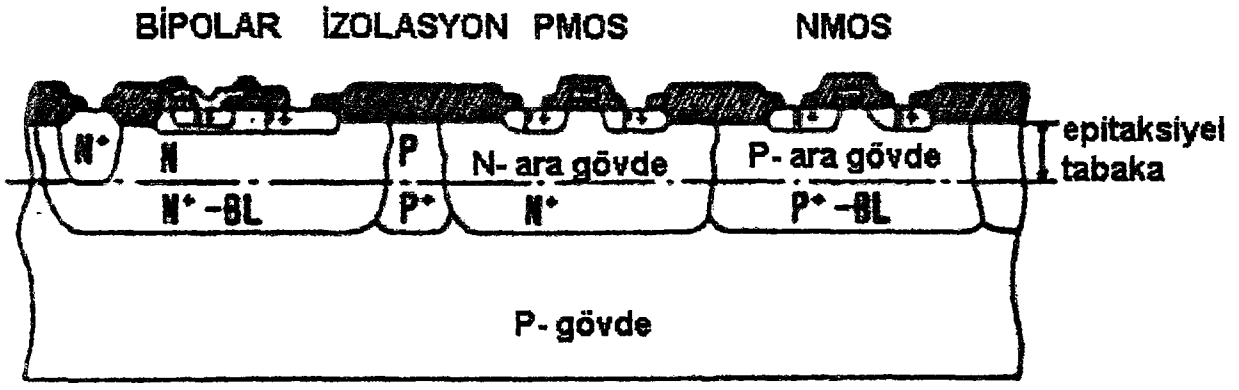

**Şekil 1.111 Gömülü tabakalı BICMOS yapısı [8]**

p-tipi gövde (well) iyon implantasyonu ile oluşturulur. Ardından elemanları izole etmek ve NMOS-PMOS çiftini küçültmek için oksidasyon işlemi gerçekleştirilir.

Kaynak/Akaç bölgesini (NMOS), BJT' in emiterini ve kollektör kontağını oluşturmak için sığ bir $n^+$-difüzyonu kullanılır. PMOS' un kaynak/akaç bölgesini oluşturmak için ise sığ $p^+$-difüzyonu kullanılır. BJT' in baz bölgesi az katkı gerektirir ve bu bölgede ek işlem yapılır.

Tasarım Şekil 1.112 de görüldüğü gibi çok gövdeli (well) yapıların kullanımı ile elde edilebilir. Burada $p^+$ ve $n^+$- gömülü tabakalar p-gövdeye difüze edilir. Daha sonra 1.5μm kalınlıkta n-epi tabakası oluşturulur. Ardından n ve p- gövdeler(well) bu epi tabakasında oluşturulur ve her biri kendi gömülü tabakasına bağlanır. Geleneksel bir işlem olan oksit

izolasyonu ile elemanın yapısı tamamlanır. Burada yerel oksidasyon ve p-gövde (well) ayrı elemanlar arasındaki izolasyonu sağlar. BJT için katkılı poli Si emiter kullanılır.




**Şekil 1.112 Çok ara gövdeli BICMOS yapısı [8]**

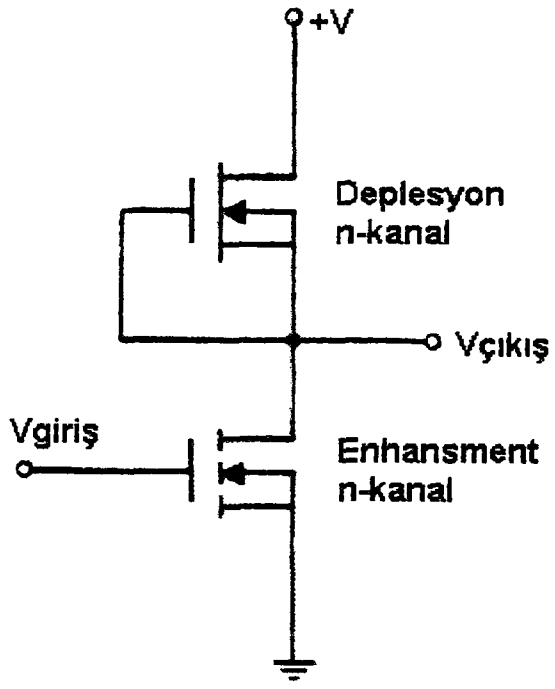
Daha önce olduğu gibi BJT emiteri ve NMOS kaynak/akaç bölgeleri tek bir işlemde yapılır. BJT' in p-bölgesi ek işlem gerektiren PMOS' un kaynak/akaç bölgesinden daha az katkılıdır.

n-p-n transistör yerine dikey p-n-p transistor kullanarak BICMOS üretmek mümkündür. Genel olmamasına rağmen, bu elemanlar aynı analog işlemlerde kullanılabilir. Bu karışık eleman yapısının üretilmesi için yaklaşık olarak 20 maskeleme işlemi gerekir. [8]

### 1.4.10 SOS Teknolojisi

MOS eviricinin diğer bir çeşidi de Şekil 1.113' de görülen devredir.

Burada iki n-kanallı eleman kullanılır. Birisi enhansment diğeri ise deplesyon moddadır. Giriş voltajı $V_{in}$=0 olduğunda, deplesyon modda olan aktif, enhansment modda olan ise pasiftir($V_{out}$=V). Diğer taraftan, giriş voltajı yeterli büyüklükte ve pozitif değerde olduğunda enhansment moddaki aktif ve deplesyon moddakinin kapı voltajı yaklaşık olarak sıfır olur. Bundan dolayı, voltajın çoğu deplesyon moddaki transistorun üzerine düşer ve çıkış voltajı yaklaşık olarak sıfırdır. Benzer evirici devre iki p-kanallı MOS transistor kullanılarak elde edilebilir. DMOS ve EMOS transistor MOS evirici devre üretmek için kullanılabilir.

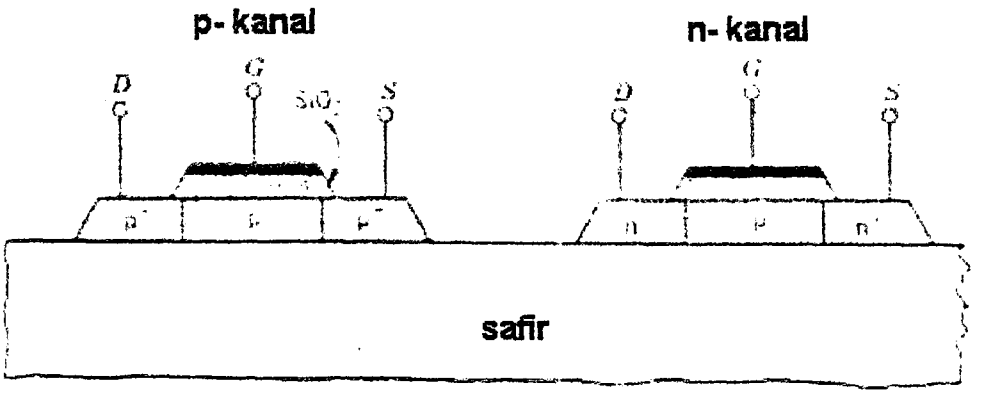



**Şekil 1.113 n- kanal deplesyon ve enhansment tip MOS evirici [2]**

SOS elemanları SiMOS elemanının kullanışlı bir uzantısıdır. Bu teknolojide n ve p-kanal MOS transistorlar, Si üzerine oluşturulurlar. Si, safir($Al_2O_3$) veya spinal ($MgO+Al_2O_3$) gibi izole gövde üzerine epitaksiyel olarak oluşturulur. Şekil 1.114 safir gövde üzerine oluşturulan n ve p-kanallı MOS transistorun kesit görünüşünü göstermektedir. İnce Si film (yaklaşık 1μm kalınlığında) CVD ile safir gövde üzerine epitaksiyel olarak oluşturulur. Standart fotolitografik teknik kullanılarak film istenilen adalar içine oluşturulur ve $SiO_2$ ile kaplanır. Kaynak ve akaç bölgelerini elde etmek için gerekli pencereler $n^-$ ve $p^-$ difüzyonu ile oksit içine oluşturulur. Difüzyon Şekil 1.114 de görüldüğü gibi $n^-$ ve $p^-$ -bölgelerinin oluşumu filmden gövdeye ulaşıncaya kadar devam eder. Si film ince ve jonksiyonlar dikey olduğundan jonksiyon kapasiteleri düşük değerdedir. Parazitik kapasite azalır. Kapasitelerin azalması SOS elemanlarının yüksek anahtarlama hızına sahip olmasını sağlar.

Şekil 1.114' deki n-kanallı eleman enhansment modda çalışır ve eşik gerilimi ($V_{TH}$) üzerindeki pozitif kapı gerilimi yüzeyde bir evirme tabakası oluşturulur. Buna rağmen, p-kanallı elemanın çalışma modu farklıdır. Burada kapı öngerilimi sıfırdır. Metal yarıiletken ve oksit yükü kapı altındaki p-tipi epitaksiyel bölgeyi tamamen boşaltır. Bu durum "**derin deplesyon**" olarak adlandırılır. Negatif kapı voltajı deplesyon bölgesini kaldırır ve kapı yanındaki Si yüzeyde boşlukların toplanmasına neden olur.

İletim kanalı kaynak ile akaç arasında oluşur. I-V karakteristiği geleneksel p-kanallı elemanlara benzerdir. Derin deplesyona alternatif bir yaklaşım da seçilen alanda az katkılı n ve p-tipi Si film adalarının oluşturulması ve bu adalarda geleneksel enhansment modda eleman üretmektir.




**Şekil 1.114 p- ve n- kanallı enhansment mod MOS transistorun SOS yapısı [2]**

SOS teknolojisi CMOS fabrikasyonu için caziptir. Bu elemanlar Si-safir bileşiminde yüksek yoğunluğa sahip olduklarından tek Si kristalli gövdelere oranla daha iyi performansa sahiptirler. [2]

### 1.4.11 GaAs Teknolojisi

FET hemen hemen tüm devrelerde Schottky kapı, kaynak ve akaç arasında çoğunluk taşıyıcı akışını kontrol etmek için kullanılır (Metal yarı iletken FET: MEtal Semiconductor FET:MESFET).Bir çok GaAs mikrodevre yüksek mobilitesinden dolayı n-tipi malzemeli MESFET kullanır.

GaAs ile kullanılan MESFET elemanlarının bazı ideal özellikleri vardır:

i. Geniş enerji boşluğu yüksek engele (0.8-0.9eV) neden olur. n kanala doğru akan kapı sızıntı akımı birçok metalurjik uyumlu kapı malzemesinden dolayı düşüktür.
ii. Kapı, düşük sıcaklıklı işlemler olan saçılma veya vakum buharlaşma ile elde edilir. Kaynak ve akaç bölgeleri genellikle 450°C de 30-60sn ısıtılarak üretilir.
iii. Kaynak/Akaç bölgelerinde olduğu gibi kapı için ışık modelli metal filmlerin kullanımı çok az toleranslı yapılar oluşturur. Bu cihazlar yüksek hızlarda kullanılabilirler. GaAs MESFET aynı boyutlarda Si elemanının 3 katı hıza sahiptir.
iv. GaAs teknolojisinde MOS tipi enhansment mod teknolojisi henüz oluşmamıştır.

Dijital ve lineer devreler bu cihazlarla üretilebilirler. Örnek olarak ise mikrodalga yükselteçler, kuplörler, mikserler, alıcılar ve 10Gbit/sn hızlı transmisyon devreleri.

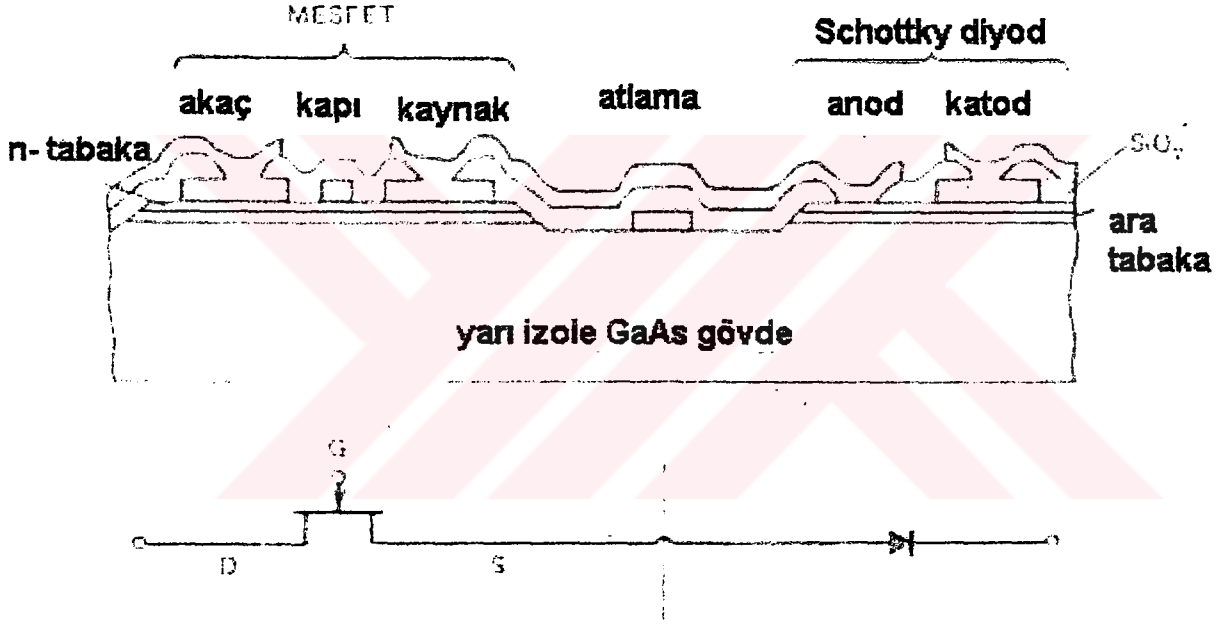
Şu ana kadar GaAs dijital tümdevrelerde tam olarak istenilen bir yaklaşım geliştirilememiştir. Cihaz çeşidini ve devre konfigürasyonunu etkileyen bir çok neden vardır. GaAs MESFET deplesyon modlu bir elemandır(Depletion mode FET:D-FET) ve kapısında sinyal yokken bile güç harcar. Simetrik güç kaynağı ve voltaj seviyesi kaydırma devresi gibi karışık devreler ile dijital lojik devreler gibi kararlı devrelerde kullanılırlar. Enhansment mod elemanlar (Enhancement mode FET:E-FET) aynı derecede karışıktır. Buna rağmen, bu elemanlar bekleme (standby) modunda güç harcamadıklarından dolayı dijital devrelere çok uygundurlar. E-FET az katkılı dar bir kanal bölgesine sahiptir. Kanal bölgesi Schottky jonksiyonu ile kısılabilir. E-FET üretimi çok zordur. D-FET E-FET' den daha küçük voltaj aralığına sahiptirler. Jonksiyon kapının kullanılması kanal genişliğini olduğu kadar voltaj aralığını da

arttırır. Bu nedenle jonksiyon kapılı FET (Junction gate FET:JFET) sık olarak enhansment modda kullanılır. Sonuç olarak, aynı yüksek hızda aynı gücü harcadıkları ve karışıklığı azalttıkları için enhansment/deplesyon mod çiftini kullanan cihazlar (E/D FET) tercih edilir.

Yüksek elektron mobiliteli transistor (High Electron Mobility Transistor :HEMT) FET üzerinde yapılan bir değişiklik ile elde edilir. Oda sıcaklığında kanal mobilitesini 2 veya daha fazla arttırmak için çok tabakalı yapı kullanılır. Ek olarak bu cihazlar düşük sıcaklıklarda çalıştırılarak mobilite arttırılabilir. Bu sebeplerden dolayı, HEMT elemanları ayrık eleman olarak ve tümdevrelerde büyük bir oranda kullanılırlar.

Son olarak daha yüksek hızlı ve yüksek güçlü elemanlar hetero-jonksiyon bipolar transistor (Heterojunction Bipolar Transistor: HBT) konfigürasyonu ile oluşturulmaktadır. Bu cihaz teknolojisi zordur ve bu konuda oldukça fazla araştırma yapılmaktadır.

### 1.4.11.1 Deplesyon Mod Transistor




**Şekil 1.115 Mesa izolasyonlu dijital devre [8]**

Bu elemanların önceki formları n-tipi tabakada kurulmuştur ve epitaksiyel oluşum yarı izole (Semi Insulating:SI) GaAs üzerinde gerçekleşmektedir. Bu tabaka 0.1-0.2μm kalınlığında ve $(1\text{-}3).10^{17}$ $cm^{-3}$ yoğunluğunda katkılandırılmıştır. Şekil 1.115 böyle bir yapının kesitini göstermektedir. Bu yapıda D-FET, Schottky diyod ve çift tabakalı metalizasyon ile elde edilen atlamalar vardır. Aktif tabakada esnek arafaz sağlayan (4-10)μm kalınlığında katkısız tampon bölgesi gövde üzerinde oluşturulmuştur.

MESFET üretiminde başlangıç malzemesi SI gövde üzerindeki n-GaAs' dır. Aktif bölgeler mesa aşındırma ile belirlenir. Bu amaç için $HF:H_2O_2:H_2O$,1:2:25 oranında kullanılır. Böylece yuvarlak kenarlı mesa elde edilerek omik kontak için iyi bir bağlantı oluşturulabilir.

Daha sonra mesa bölgesinde akaç ve kaynağı belirlemek için kontak bir maske kullanılır. Kısmı alaşımlanan metal kontak 1000°A/1200°A/1000°A kalınlığında Au-Ge/Ni/Au' in E-huzme buharlaştırılması ile oluşturulur (Tipik kontak alaşımlama adımı 45 sn. de 400°C dır).

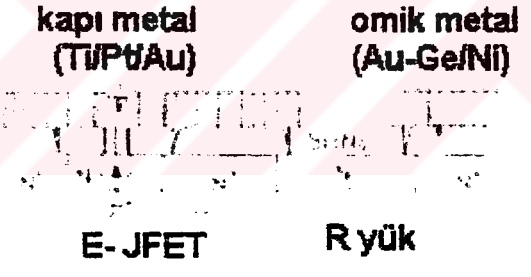
Kapı bölgesi Klorobenzen kullanılarak tanımlanır. Kapı metali Ti/Pt/Au sırasıyla 1500°A/1500°A/8000°A kalınlığında E-huzme yöntemi ile oluşturulur.

Bu noktada 500-1000 °A kalınlığında $Si_3N_4$ filmi pula saçılır. Kapı, kaynak ve akaç kontakları için delikler delinir. Bu tabakanın amacı, GaAs yüzeyinin uzun süre kararlılığını sağlamaktır. Metalizasyon tümdevre elemanlarını bağlamak için 1000°A/8000°A kalınlığında Ti/Au kullanılır. Son ısı aşaması (ek 15 sn.de 400°C) omik kontak oluşumu adımını gerçekleştirir ve kapı ve metalizasyon birleşmesini sağlar.

Bu işleme eklenecek bir çok adım olabilir. Örneğin; pul sıcaklık direncini azaltmak için inceltilebilir. Kaynak metalizasyonunu oluşturmak için arka yüzde delikler oluşturulur. Sonra Palladyum ince bir tabaka arka yüzde saçılır ve cihazın şasesi gibi davranan elektronsuz altın film oluşturulur. Bu yöntemle FET' in kaynak bölgesi en kısa yolla şaseye bağlanır.

### 1.4.11.2 Enhansment Mod Transistor

Daha önce bahsedildiği gibi enhansment mod elemanların kullanıldığı devreler basitlikleri ve düşük güç harcamaları nedeniyle VLSI uygulamalarında çok kullanışlıdırlar. Bu durumda n tabaka çok az katkılıdır($10^{17}$ taşıyıcı/$cm^3$ ) ve 0V kapı öngerilimlemede kanalın kısılması için çok hassas bir şekilde inceltilmelidir.



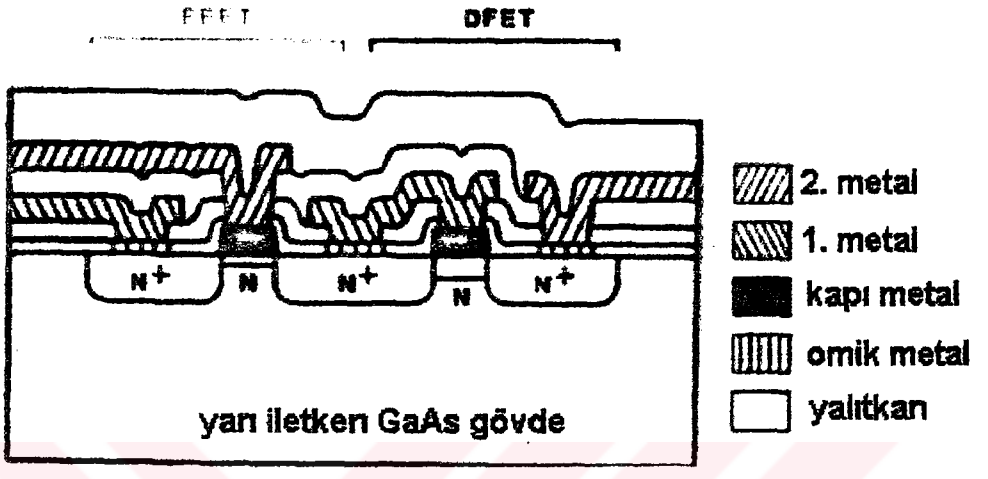

**Şekil 1.116 Enhansment mod JFET evirici devrenin yapısı [8]**

FET difüzyonlu jonksiyon kapı ile de yapılabilir ve dijital ve analog devrelerde kullanılırlar. Bu elemanlar MESFET' den daha avantajlıdırlar. Çalışma voltajları GaAs' in enerji boşluğuna bağlı olup kapı metalinin Schottky engeline bağlı değildir. JFET çalışma voltajı 1.1V olup MESFET için bu değer 0.5Vdur. Bundan dolayı, yüksek gürültü bağışıklığına sahiptirler. Şekil 1.116' da evirici konfigürasyonlu ve yük gibi davranan seri dirençli E-JFET şeması görülmektedir. Burada SI GaAs gövde üzerine iyon implantasyonlu Si oluşturulur: (1)Kontakların yapıldığı derin ve fazla katkılı bölgeler oluşturulur.(2)Çok sığ (ve çok az katkılı) bölgeler kanalı oluşturur. Sonra As basınçta, 10dk. ve 850°C de implantasyonlar gerçekleştirilir (Boşluk filmi kullanılmaz.). Daha sonra $Si_3N_4$ tabakası oluşturulur ve bu tabaka Çinko difüzyonunun maskesi olarak kullanılır.

Kapı bölgesi $AsH_3$ basınçlı ve Dietilçinko kaynaklı açık tüp difüzyonu ile oluşturulur. 0V öngerilimlemede kısma olması için 1000°A derinlikte bir jonksiyon gerekir.

### 1.4.11.3 Enhansment/Deplesyon Mod Çifti

Bu elemanların aynı kırmık üzerinde kullanılması GaAs dijital devrelerde geliştirilmiş hız ve güç çarpımına, eleman sayısında azalmaya ve önemli miktarda devre basitliğine neden olur. Bu devreler düşük gerilim kaynağı ve düşük güçlü beslemeler ile çalıştırılabilirler. Şekil 1.117 1-V besleme ile çalışan E/D çiftinin kesitini göstermektedir. Burada, $WSi_x$ ısıya dayanıklı kapı, Ti/Au ikinci seviye metal ve $Si_3N_4$ izolatör olarak kullanılır. Farklı kanal derinliği sağlamak için her iki eleman da iyon implantasyonu ile gerçekleştirilir.




**Şekil 1.117 E/D FET çiftinin yapısı [8]**

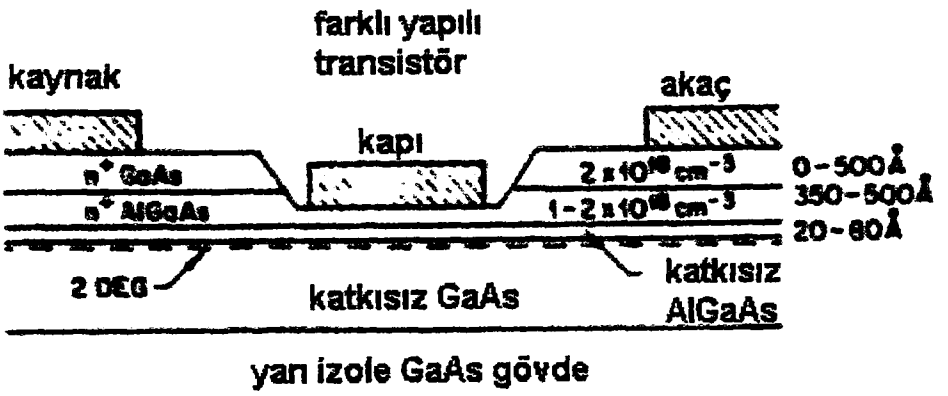
### 1.4.11.4 Yüksek Elektron Mobiliteli Transistor

MESFET elemanların hızı direk olarak kanal mobilitesine bağlıdır. Elemanın çalışması, çok fazla katkılı ($10^{17}$ $cm^{-3}$ ) kanaldaki dış taşıyıcı saçılması ile belirlenir. Bu sınırlamayı kaldıran bir yöntem ise kanalda katkısız GaAs kullanmak ve AlGaAs gibi geniş boşluklu malzemelerin fazla katkılı tabakada oluşturulmasıdır. Malzemeler arasındaki band boşluk düzensizliği elektronların GaAs' ye geçmesini sağlar. Saçılma etkisinden bağımsız olan yüksek elektron mobilitesi bu yöntemle elde edilir. Oda sıcaklığında $9000cm^2V^{-1}s^{-1}$ den fazla kanal mobilitesi elde edilirken, GaAs MESFET' de bu değer $4500cm^2V^{-1}s^{-1}$ dır. Katkısız kanal kullanılması ile fazla katkılı GaAs' de mümkün olmayan mobilitenin artması sağlanır. Kanal mobilitesi 77Kde (90.000-100.000) $cm^2V^{-1}s^{-1}$ gibi yüksek değerlerde olabilir.

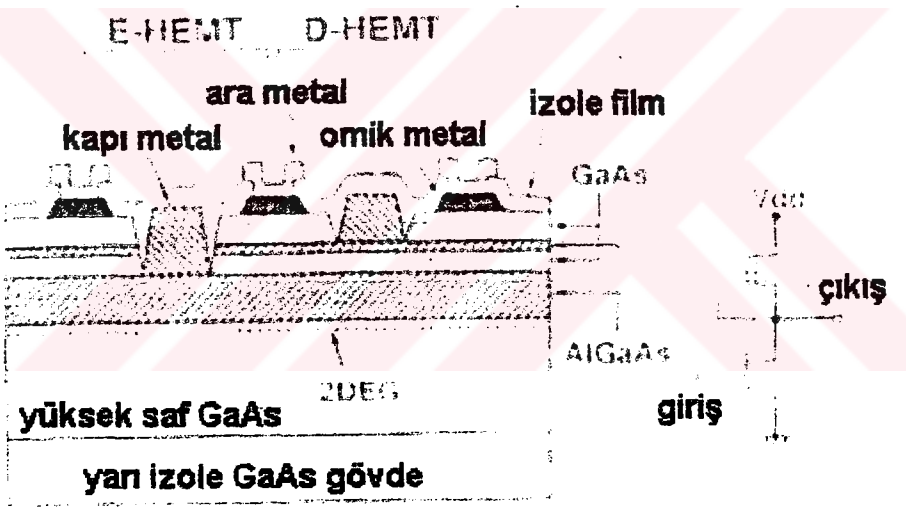
HEMT, yaklaşık olarak 0.3 Al' lu, fazla katkılı, $n^+$- AlGaAs tabakalı ve katkısız GaAs kanalı üzerine yerleştirilir. Bu malzemenin iletim bandında oluşan ofsetten dolayı $n^+$-AlGaAs elektronları GaAs içine doğru akarlar.

Bu elektronlar n-AlGaAs' deki verici atomlara yakın olmalıdırlar. Aynı anda arafaza yerleştirildiklerinden 2-boyutlu elektron gazı (2-Dimensional Electron Gas: 2-DEG ) oluşur. Bu işlemi pratik devrelerde gerçekleştirmek için iki önemli ekleme yapmak gerekir. Birincisi, arafaz saçılma etkisini azaltmak için ince 50-75 °A ve katkısız AlGaAs tabakası GaAs kanalı ile n-AlGaAs arasına yerleştirilir. Sonra n-AlGaAs' ye uygun kontaklar yapmak için fazla katkılı $n^+$- AlGaAs tabakası oluşturulur ve Kaynak/Akaç bölgesini oluşturmak için modellenir. Kontak metali bu GaAs bölgesi üzerine yerleştirilir.

HEMT üretim teknolojisi MESFET ile aynı yapıya sahiptir. Bundan dolayı, başlangıç malzemesi epitaksiyel olarak oluşturulur. Ek olarak $n^+$-GaAs kontak tabakasını kesmek için bir aşındırma seçilir. Sık olarak n-AlGaAs tabakası Şekil 1.118' de görüldüğü gibi boşluklu kapı yapısı oluşturacak şekilde işlenir.




**Şekil 1.118 HEMT yapısı [8]**




**Şekil 1.119 E/D HEMT çiftinin yapısı [8]**

Her iki enhansment ve deplesyon mod HEMT aynı kırmık üzerinde oluşturulabilir ve gayet basit olarak direk kuplajlı lojik devrelerde kullanılabilir. Burada elemanlar AlGaAs/GaAs tabakası dışında Şekil 1.118' e benzeyen ve Şekil 1.119' da gösterilen çok tabaka yapı çeşidi olarak yapılırlar. Kapı metali şekilde görüldüğü gibi farklı AlGaAs tabakası üzerine yerleştirilir.

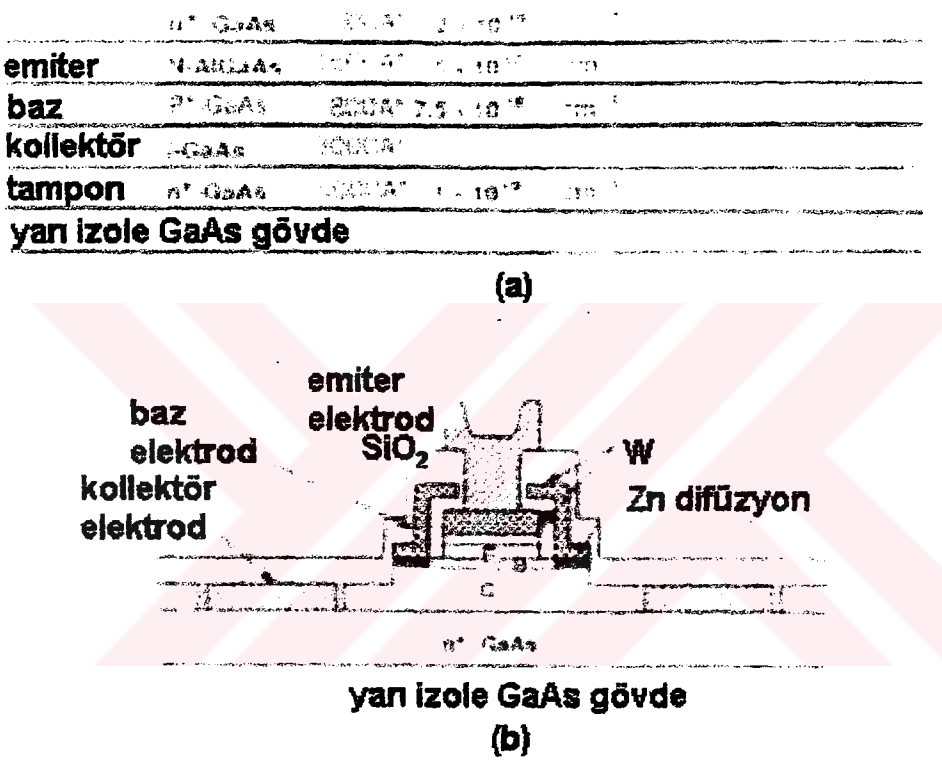
### 1.4.11.5 Heterojonksiyon Bipolar Transistor

Heterojonksiyon bipolar transistor (HBT) 10Gbit/sn hıza sahip optik transmisyon sistemlerinde olduğu kadar ultra lojik devrelerde de kullanılmaya adaydır. Son zamanlarda kazanç band genişliği çarpımı (Gain Band Width Product: GBWP) 100GHz' i aşan

elemanların üretildiği rapor edilmiştir. Bu elemanlar yüksek iletkenliğe sahiptir ve yüksek güçlü işlemlerde kullanılırlar.

HBT elemanları düşük baz direnci (yüksek frekanslı osilasyon elde edilir) elde etmek için fazla katkılı ve ince bazlı n-p-n tipi transistor olarak üretilirler. Bu çeşit baz yüksek enjeksiyon verimli n-AlGaAs emiterli hetero yapı gerektirir.

Ayrık elemanlar genelde kollektör kontağı gibi davranan $n^+$-GaAs gövdesi üzerine yapılır. Bundan dolayı, mikrodevre uygulamalarında SI GaAs kullanılır ve kontaklar üst yüzeyde oluşturulur. Böyle bir elemanın tabaka yapısı Şekil 1.120.a' da gösterilmiştir. Burada en önemli eleman fazla katkılı ince bazdır. Ek olarak tabaka çok hızlı oluşturulmalı ve sonraki işlemlerde hareket ettirilmemelidir. $10^{20}cm^{-3}$ yoğunlukta karbon katkılama bu bölge için idealdir.

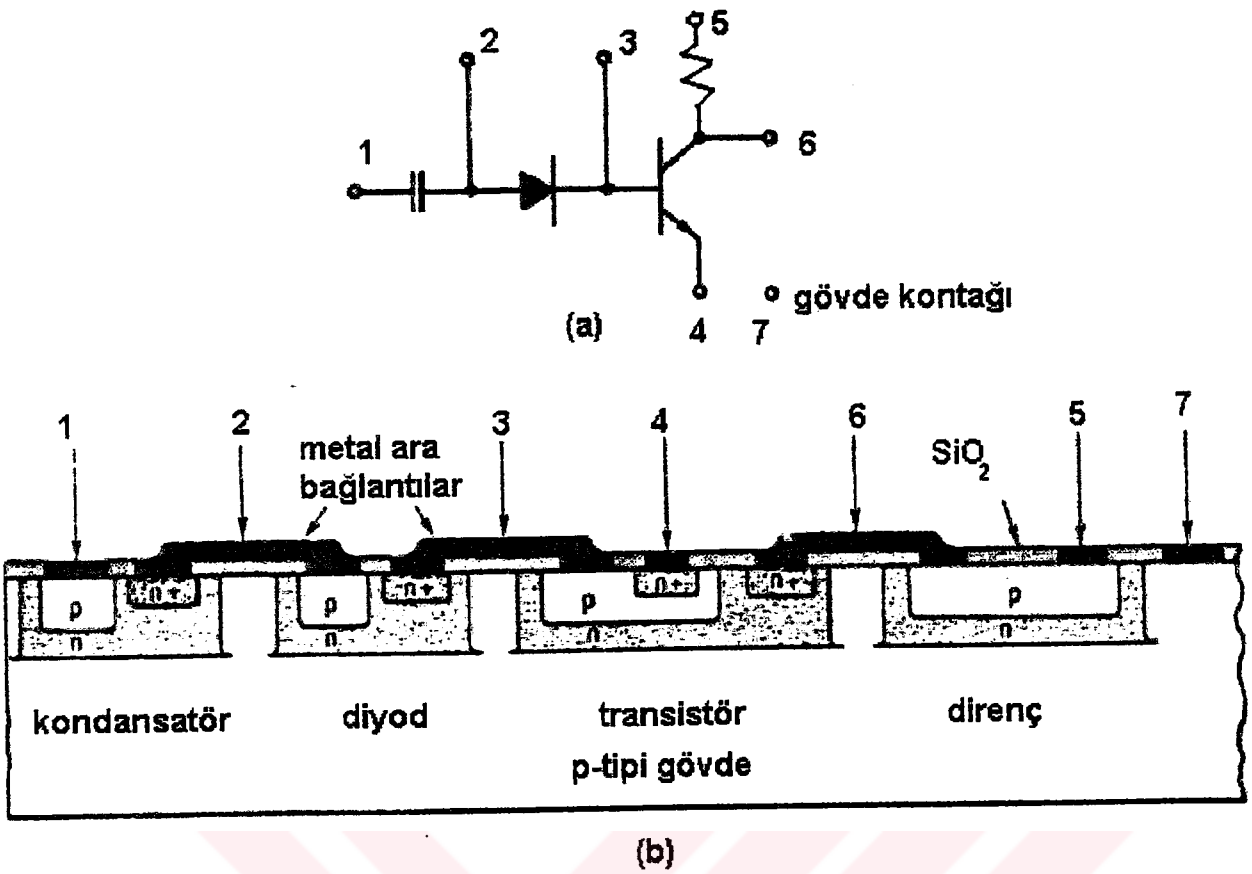



**Şekil 1.120 HBT yapısı [8]**

Şekil 1.120.b HBT' in fiziksel şeklini göstermektedir. Burada baz ve kollektör kontakları parazitik kapasiteleri önleyecek şekilde yapılır. Tungsten baz ve emiter elektrotu kullanılır.[8]

### 1.4.12 Tüm Tümdevre Oluşumu

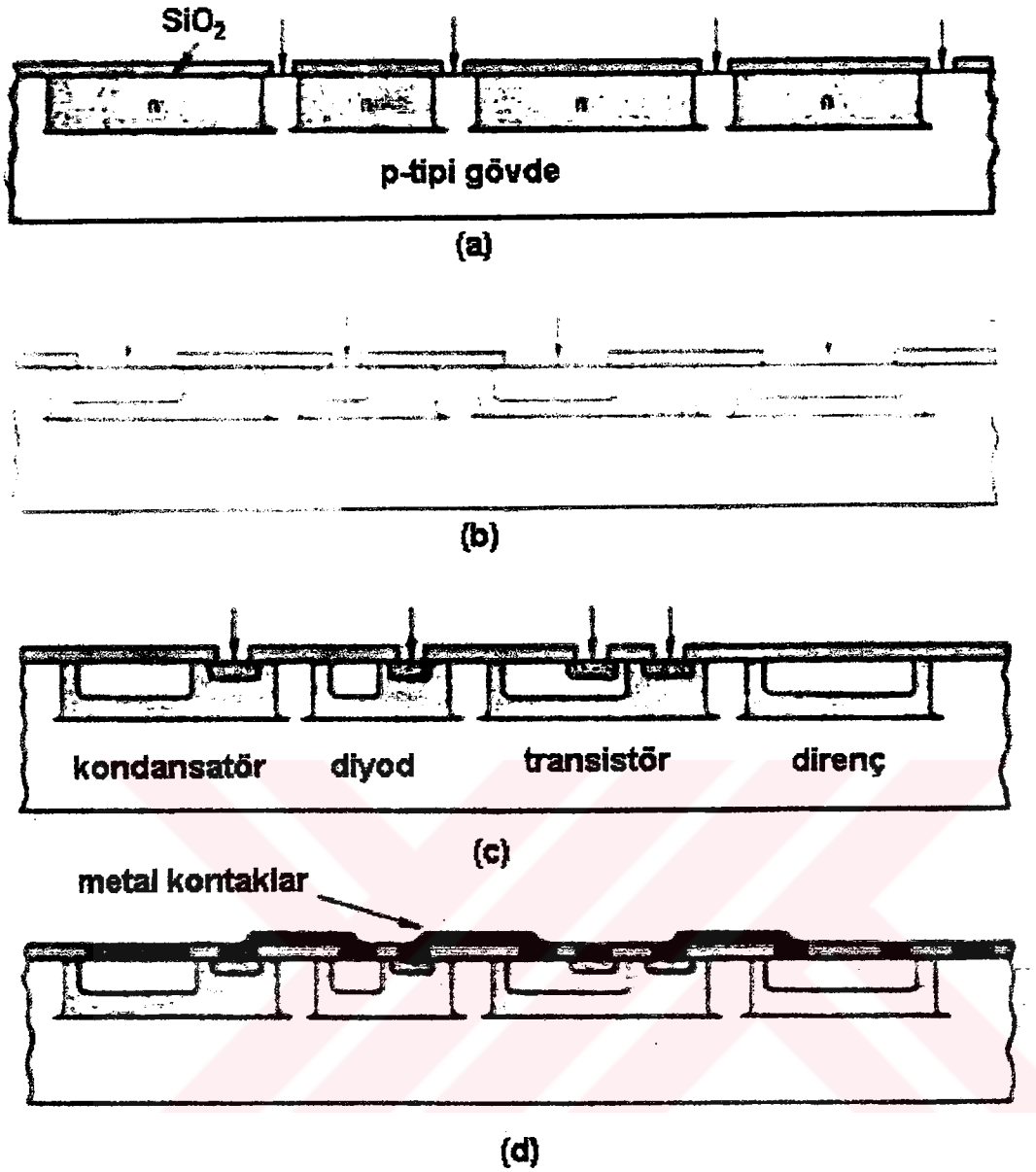
Dört eleman içeren elektronik bir devre Şekil 1.121.a' da görülmektedir. Farklı elemanları oluşturmak için kullanılacak adımlar belirlenir ve Şekil 1.121.b' de görüldüğü gibi elemanlar bağlanarak tümdevre oluşturulur. Rahat anlaşılması için elemanlar bir hat üzerinde oluşturulmuştur(Diğer şekillerde de üretilebilirler.).




**Şekil 1.121 Tümdevre yerleşimi [1]**

Si yüzeyindeki $SiO_2$ oluşturulduktan sonra ilk adım daha önce anlatıldığı gibi izole n-tipi bölge oluşturmaktır. Şekil 1.122 de 1. adım olarak gösterilmiştir. Bu adımda her bir eleman için n-tipi bölge oluşturulur. 2. Adımda, transistorun baz bölgesi için p-tipi bölge oluşturulur ve aynı anda diyod anodu, p-tipi direnç ve p-tipi kondansatör elektrotu oluşturulur. 3. adımda, kollektörün $n^-$ kontak bölgesi, diyod katodu ve kondansatör $n^-$ elektrotu ile aynı anda transistorun $n^-$-tipi emiter bölgesi oluşturulur. 4. ve son adımda devredeki gerekli bağlantıları yapmak için metal modeli ile ara bağlantılar gerçekleştirilir.

Bu aşamada dilim işlemi tamamlanmıştır. Dilim, $50mil^2$ pulda toplam 32 eleman içeren ve her bir devresinde 8 transistor, 12 diyod ve 12 direnç olan yaklaşık olarak 350 tümdevre içerir. [1]




Şekil 1.122 Tümdevre işlem adımları (a)izolasyon difüzyon (b)p- tipi baz difüzyon (c)n- tipi emiter difüzyon (d)kontak formasyonu [1]

### 1.4.13 Tümdevre Elemanların Özellikleri

Tümdevrelerin önemli özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

i. Standart IC ucuzdur. Buna rağmen, çok az sayıda özel olarak üretilen kırmıklar oldukça pahalıdır.
ii. IC in küçük alanı yüzlerce kırmıktan oluşan karışık sistemlerin üretilmesini sağlar.
iii. Bütün elemanlar aynı anda, kontrollü olarak üretildiğinden ve hiçbir iç lehimleme olmadığından mikroelektronik cihazlar güvenilirdir.
iv. Düşük maliyetlerinden dolayı yüksek performanslı kompleks devreler üretilebilir.
v. Cihaz parametreleri uyumludur.
vi. Direnç ve kondansatörlerin değer aralığı sınırlıdır. Tipik olarak $10\Omega<R<50K\Omega$ ve $C<200pF$.
vii. Özel büyüklükteki direnç ve kondansatör üretiminde zayıf tolerans elde edilir. Örneğin; iyon implantasyonlu elemanlar hariç bu değer ±20% dır. Direnç–oran toleransı ±2% den büyük olamaz. Çünkü bütün dirençler aynı teknik ile ve aynı anda üretilirler.
viii. Elemanlar yüksek sıcaklık katsayısına ve voltaj duyarlılığına sahiptirler.
ix. Yüksek frekans cevabı parazitik kapasitelerle sınırlıdır.
x. Pratik değerlerde bobin ve trafo üretilemez.
xi. İnce film direnç ve kondansatör üretiminde ek adımlar gerekli olduğundan fiyatları artar ve verimi düşer. Kesin direnç değerleri gerektiğinde lazer ayarlı ve ince film elemanlar kullanılır. [4]

# BÖLÜM 2 TÜMDEVRE ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

## Giriş

Tümdevre üretim teknolojisi tümdevre üretim tekniklerini gerçekleştiren cihaz teknolojisidir. Tümdevre üretim teknikleri yarıiletken malzeme ve pul hazırlama, malzeme eklenmesi, malzeme çıkarılması, litografi, ara bağlantı, izolasyon, metalizasyon, paketleme ve montajdan oluşur. Tüm üretim zincirini gerçekleştiren Bilgisayar Entegreli Üretim (Computer Integrated Manufacturing: CIM) yapan fabrika yapısı, özellikleri ve otomasyonu açıklanacaktır.

## 2.1 Tümdevre Teknolojisi

Tümdevre teknikleri ile birlikte teknolojilerinin yapısı, özellikleri ve maliyetini etkileyen faktörler ve hedefler açılanacaktır.

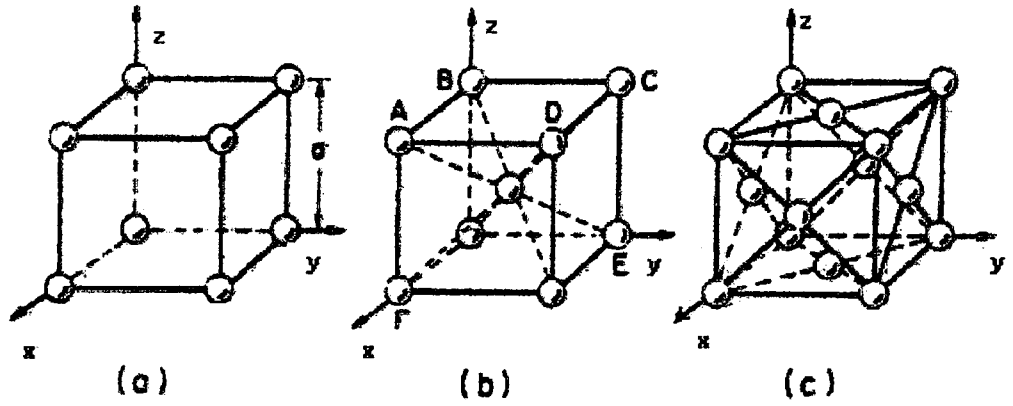
### 2.1.1 Pul Hazırlanması

Elektronik endüstrisinde Si çok önemli bir yarı iletkendir. Si Latince çakmak taşı anlamına gelen silex ve silis kelimelerinden gelir. Bununla beraber, yer kabuğunun 25.7%sini oluşturur. Germanyum diyod ve transistor üretiminde orijinal bir yarı iletken malzemedir. Ters polarizasyonda, Ge' un dar band boşluğu (0.66eV) Ge' un sızıntı akımının artmasına neden olur. Bu nedenle Ge 100°C den daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılır. Aynı zamanda tümdevre planar teknolojisi yarı iletken yüzeyinde izole tabakasının üretilebilmesini gerektirir. $GeO_2$ böyle bir görev yapar, fakat oluşturulması zordur, suda çözünür ve 800°C de ayrılır. Bu kısıtlamalar Ge u ikinci plana iter. Si un büyük band genişliği ise (1.1eV) küçük sızıntı akımına neden olur ve elemanın 150°C de çalışmasına olanak verir. $SiO_2$ 'in oluşturulması kolay olup kimyasal olarak da kararlıdır. Son olarak Si' un işlenme masrafı Ge' un işlenme masrafının 1/10 dur. Bu nedenlerle, hemen hemen mikroelektroniğin tamamında Si kullanılır.

#### 2.1.1.1 Kristal Yapı Terminolojisi

Katı malzemeler kristal ve amorf yapıda bulunurlar. Kristal katılarda atomlar periyodik şekilde sıralanmıştır. Periyodik yapı tüm katı boyunca ise madde "**tek kristal**" olarak tanımlanır. Katı çok sayıda tek kristalden oluşursa "**polikristal**" olarak adlandırılır. Amorf malzemeler periyodik yapıya sahip değildirler. VLSI devrelerde başlangıç Si malzemesi (pul) tek kristal yapıya sahiptir.

Kristaldeki atomların periyodik sırası "**latis**" olarak adlandırılır. Kristal latis daima bir birim hücreden oluşur ve tüm kristal boyunca tekrarlanır. Şekil 2.1 de görüldüğü gibi her bir birim hücredeki vektörler temel vektörlerden oluşur ve oluşan yeni hücre orijinali ile aynıdır.



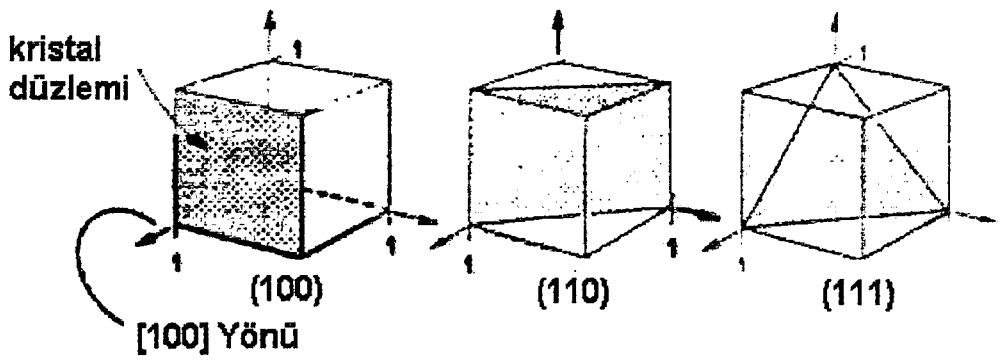

**Şekil 2. 1. Kübik kristal birim hücresi (a)Basit kübik (b)Gövde-merkezli kübik (c)Yüz-merkezli kübik [12]**

En basit yapılar Şekil 2.1 de görüldüğü gibi üç kübik yapıdır: a)basit kübik, b)merkezi kübik ve yüzey kübik. "a" boyutu kübik hücrenin latis sabiti olarak adlandırılır, fakat komşu atomlar arası mesafe a dan küçük olabilir.

Latisdeki yönler aynı yöndeki vektörlerin ilişkisi ile aynı olan üç tam sayı seti ile ifade edilir. Üç vektör temel vektörlerin toplamıdır. Örneğin; kübik yapılardaki gövde çaprazı 1a, 1b ve 1c elemanlarından oluşur([ ] ayracı özel bir yönü göstermek için kullanılır). Kristallografik açıdan bakıldığında kristalde eksenlerin yerleşimine bağlı bir çok yön eşittir. Böyle eşit yönler açısal parantezle ifade edilir. Örneğin; [100], [010] ve [001] kübik latislerindeki kristal yönleri kristallografik olarak eşittir (Şekil 2.1) ve [100] yönü olarak adlandırılır.

Kristaldeki düzlemleri tanımlamak kullanışlı olacaktır. h, k ve l tam sayıları Miller indisleri olarak adlandırılır ve paralel düzlemleri tanımlamakta kullanılırlar. Aşağıdaki şekilde elde edilirler(Şekil 2.2):

i. Kristal eksenleri ile düzlemin kesişimi bulunur. Bu kesişimler temel vektörlerin integral çarpımlarıdır.
ii. "i" de elde edilen üç tam sayının tersi alınır.
iii. h,k,l sayılarının tersi ile aynı ilişkiye sahip en küçük tam sayı değerleri bulunur (Yani, ¼, 1/3 ve ½ ile 3, 4, 6 en küçük tam sayı değerleri aynı ilişkiye sahiptir. ). Bu tamsayılar düzlemin Miller indisleridir ve düzlem [hkl] olarak etiketlenir.[ ] parantezi özel bir düzlemi gösterir.

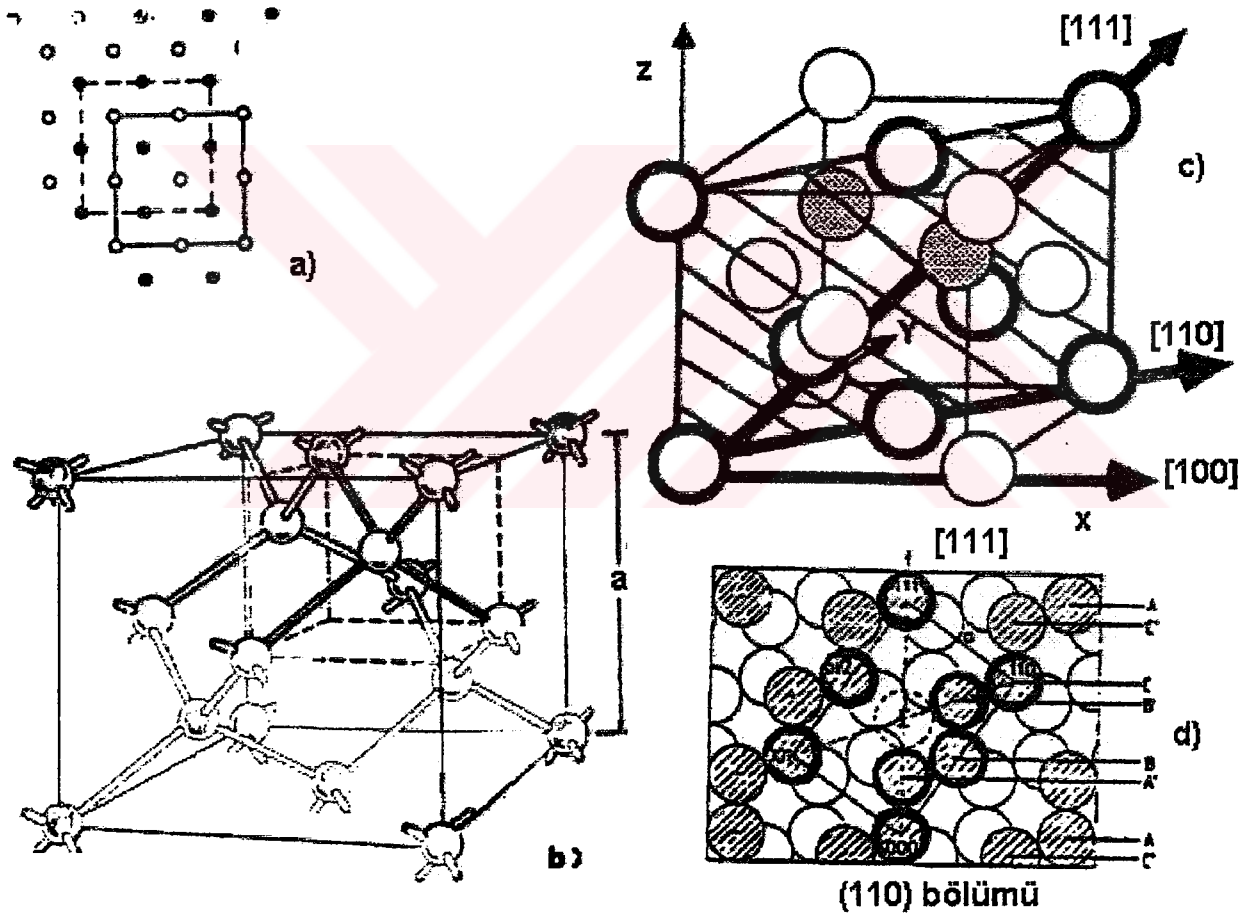



**Şekil 2. 2. Kübik kristaldeki önemli düzlemlerin Miller indisleri [12]**

Kesişimlerin tersinin alınması ile düzlemi tanımlayan notasyonun sonsuz olması önlenir. Eksene paralel olan düzlem kesişiminin tersi (yani ekseni sonsuz uzunlukta kesen düzlem) sıfırdır. Latisdeki düzlemler eşittir. Böyle eşit düzlemlerin indisleri { }parantezi içinde gösterilir. Kübik latisdeki [hkl] yönleri düzleme diktir. Böylece kübik hücrelerin analizi kolaydır. Yani, bir yön veya düzlem biliniyorsa ona dik olan kısım hemen belirlenir.

Si elmas kübik latise sahiptir. Yapısında iki yüzey merkezli kübik latis bulunur(Şekil 2.3.a). Elmas latis birim hücresinin 3-boyutlu gösterimi Şekil 2.3.b de görülmektedir. Elmas birim hücresindeki her bir atom 4 komşu atoma sahiptir. Bu gerçeğin önemi Si un elektronik yapısı göz önüne alındığında ortaya çıkar.

Bir çok işlem teknolojisi çalışmalarında Si kristalinde çeşitli düzlemler ve yönlerden özellikle [100], [110] ve [111] den bahsedilir ([111] düzlemini kolayca belirlemek için kübik latisdeki kristal yönünün [hkl] düzleme dik olduğunu bilmek yeterlidir.). Şekil 2.3.c de görüldüğü gibi elmas latis birim hücresinin [110] düzleminin bir bölümü çizilir. $a^2$ boyutu küp yüzlü çaprazın (mesela[110] yönü) boyudur. Şekil 2.3. c de görüldüğü gibi tüm atomlar seçilen [110] düzlem boyunca oluşur. [111] yönü [110] düzleminin çaprazıdır (Şekil 2.3 c). [111] yönüne dik olan düzlemler [111] düzlemleri olarak belirlenir.




**Şekil 2. 3. (a) Elmas latis hücresinin (her hangi bir <100> yönünün) üst görünüşü (b) elmas latis birim hücresinin şematik gösterimi (c) elmas latis birim hücresinin (100) kesiti (d) c deki birim hücrenin (110) kesitinin atomları ve aynı (110) düzlemindeki komşu atomlar [12]**

Şekil 2.3 d' de [110] düzlemindeki kristale komşu atomlar eklenir, fakat bu atomlar birim hücresinin dışındadır(gölgeli daireler). Şekildeki diğer atomlar (gölgesiz daireler) [110] yüzey düzleminin aşağısında ve [110] düzlemindedir.

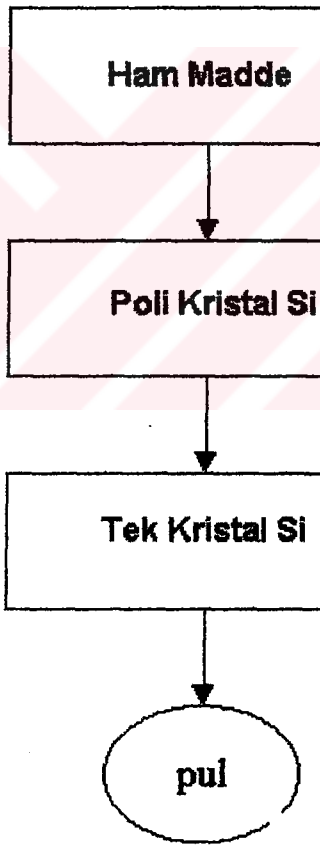
Si' un çeşitli yapısal özellikleri kristal düzenine (oryantasyon) bağlıdır. Örneğin; Si' un gerilme kuvveti [111] boyutunda en yüksektir. Bununla birlikte, [111] düzlemi en yüksek atom yoğunluğuna sahiptir. Bundan dolayı, [111] düzlemi [100] düzleminden daha hızlı oksitlenir. MOS elemanları en küçük yüzey yoğunluğundan dolayı, [100] pullar üzerine üretilirler.

### 2.1.1.2 Tek Kristal Si Üretilmesi

VLSI üretiminde tek Si kristali elde etmek için bir çok adım gereklidir (Şekil 2.4):

i. Ham madde:Elektronik poli Si (Electronic Grade Silicon:EGS) karışık olup bir çok işlemle elde edilir.

ii. Poli Si CZ kristal oluşumu veya kayan bölge (Float Zone:FZ) oluşum ile tek kristal Si' e dönüştürülür. Tek kristal Si hem [100] hem de [111] düzeninde olabilir ([110] gibi diğer düzenler bazı özel siparişler için üretilir).



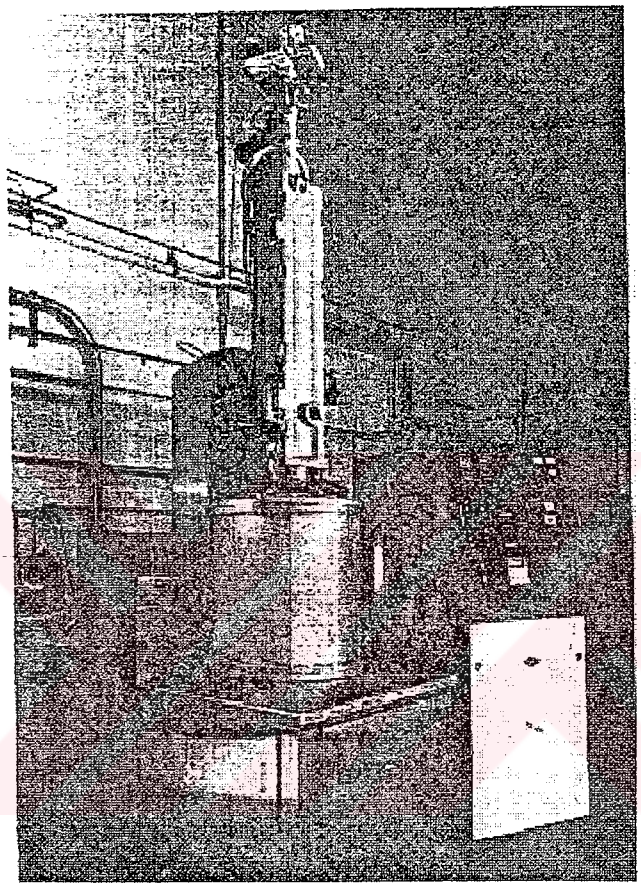

**Şekil 2. 4. Başlangıç malzemesinden cilalı pula kadar işlem sırası [12]**

CZ oluşumunda tek kristal külçesi potadaki erimiş Si' den çekilir. CZ Si, ısı basıncına FZ malzemelerden daha dayanıklı olduğundan VLSI devrelerde daha çok tercih edilir. Bununla birlikte, pul yüzeyinde istenilmeyen katkıların çıkarılmasını sağlayan bir mekanizmaya da

sahiptir. FZ kristal potaya temas etmediğinden CZ Si' dan daha yüksek saflığa ve bu nedenle daha yüksek dirence sahiptir. Yüksek saflıkta başlangıç malzemeli (örneğin; yüksek voltajlı, yüksek güçlü elemanlar) devre ve elemanlar FZ Si ile üretilirler. [12]

### 2.1.1.3 Kristal Oluşum Cihazı

Sentetik Si kristali karbondan daha kolay hazırlanır. Kristal oluşumu 1984 de yarı iletken endüstrisi masraflarının 30 milyarı Dolarını (ABD) oluşturmuştur.



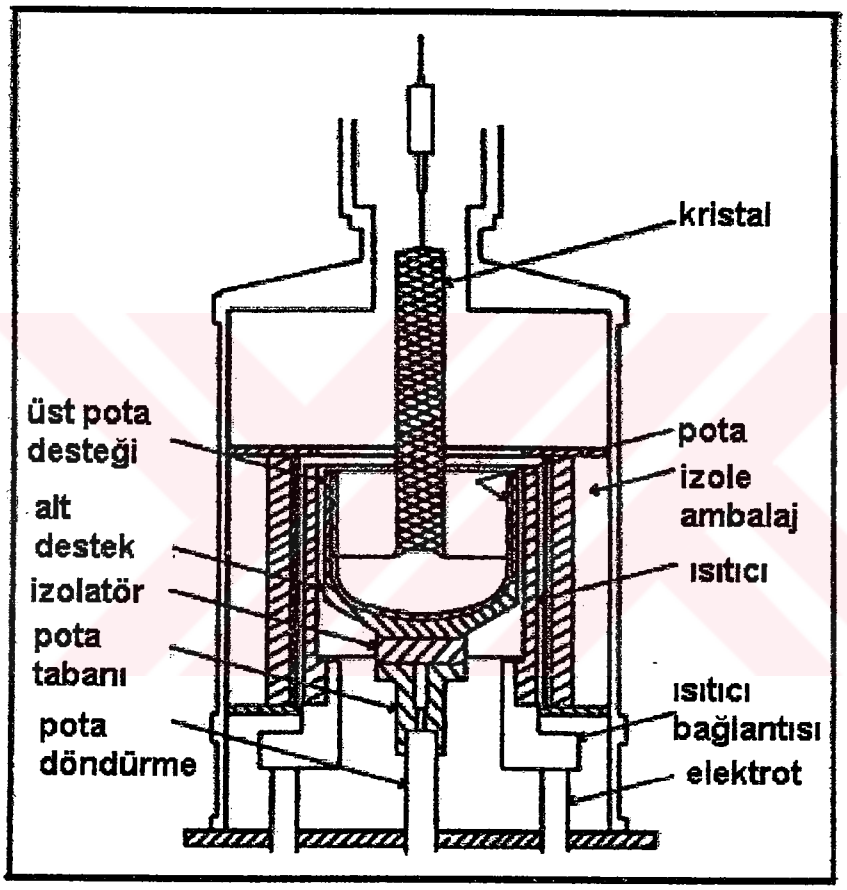
**Şekil 2. 5. Modern Si kristal çekicinin fotoğrafı [13]**

Şekil 2.5' de görülen Si kristal oluşum cihazının bir örneğinin şematik gösterimi Şekil 2.6' da verilmiştir. Şekil 2.5' deki fotoğraf ısıtıcı, erimiş Si yükleyici ve alıcıdan (susceptor) oluşan su soğutmalı büyük bir odayı gösterir. Külçe sıcak bölge odasının üstündeki odadan çekilir. Kristal oluşum cihazının üstündeki zincir mekanizması ile külçe kaldırılır. Oluşum odasının sağındaki elektronik bir konsol ısıtıcı gücü, tohum kaldırma, pota, tohum rotasyonunu kontrol eder ve bu bilgileri kaydeder.

100mm-150mm çaplı silindirik Si külçeler, modern kristal çekici ile 20kgm-40kgm ağırlığında ve yaklaşık 1 metre uzunluğundaki poli Si külçeden üretilirler. Saflaştırılmış poli kristal başlangıç malzemesi ve malzemeye istenilen elektriksel özellikleri veren küçük miktarlardaki katkılar 12''-14'' çapındaki kuvars bir potaya yüklenirler. Kuvars 1425°C de eridiğinden pota grafit kaba yüklenir. Bu kap döndürülerek ısıtıcı direncindeki düzensizlikten kaynaklanan ısı değişikliğinin etkisi azaltılır. Silindirde oluşturulan grafit ısıtıcı bir parmaklık içinde işlenir. Böylece sabit direnç yolu sağlanarak sıcaklık 1500°C' ye yükseltilir.

Tek kristal oluşumunda üç adım vardır: Birincisi, bir tohum kristali istenilen atom düzenini sağlamak için kullanılmalıdır. Tohum kristali zincirden çekilir ve erimeye başlatılır. İkincisi, erimiş yüzey gerçekleştirilerek oluşan külçe boyunca uygun sıcaklık elde edilir. Bu sıcaklık kap desteğinin aşağı ve yukarı hareket ettirilmesi ile sağlanır. Üçüncüsü, erimiş kısmın merkezi dış kısmından daha soğuk olmalıdır. Böylece donma bölgesel olurken eriyik sıvı fazda kalır.

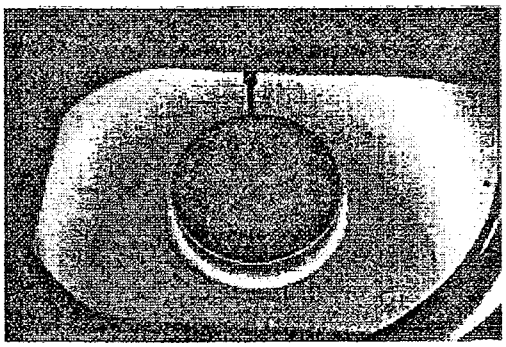
$SiO_2$ oluşumunu engellemek için erimiş Si oksitli ortamda tutulmamalıdır. N da $Si_3N_4$ oluşumundan dolayı kullanılamaz. Genelde Ar gazı kullanılmakla birlikte He gazı da kullanılabilir. Si devamlı olarak kuvars potayı aşındırdığından erime yüzeyinden SiO gazı çıkar. Erimiş yüzey basıncının azaltılması ile yaklaşık 30torr SiO' un kristale karışması önlenerek kristal oranı geliştirilebilir.



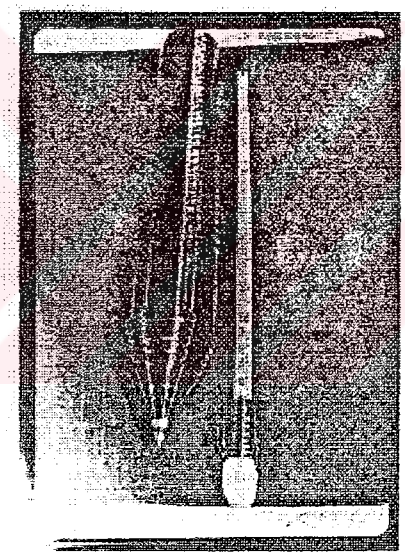

**Şekil 2. 6. Kristal çekicinin şeması [13]**

Otomatik güç desteği ısıtıcı sıcaklığını Si' un erime sıcaklığı olan 1425°C' ye getirir. Tohum eriyiğe bağlanır ve erime sıcaklığı yavaş yavaş azaltılarak tohum üzerinde donma başlar. Donma işlemi 5-10mm çaplı tohum 100-150mm çaplı külçeye ulaşana kadar devam eder. Sonra tohum kaldırılır. Tohum çapı sabit kalarak tohum yüksekliği sağlanır. Bu çaplı kütlelerde tohum kaldırma oranı genel olarak 50-100m/saattir. Kristal oluşum odasının üst kısmındaki infrared sensör ve lens ile oluşum sırasında katı-sıvı ara fazındaki kenarın parlaklığı görüntülenir. Kristal çapındaki her hangi bir değişiklik tohum kaldırma oranını değiştirir. Çap kontrol limitini aştığında tohum kaldırma oranı artırılarak çap azaltılır. Çap azaldığında ise tersi yapılır. Kristal oluşum eriyiğin 80-90% ı katılaşana kadar devam eder. Bu noktada külçe çapı sıcaklığın artırılması ile azaltılır. Çap azaltma kristal kuyruğunun keskin

bir koni oluşturmasına kadar devam eder. Böylece kristalin düşük kısmında düzensizliğe neden olan termal fırın şoku önlenir. Şekil 2.7, çekicideki kristal oluşumunu göstermektedir. Şekil 2.8 ise işlenmeye hazır tamamlanmış bir külçeyi gösterir. [13]



**Şekil 2. 7. Eriyikten katılaştırılan Si kristal görünüşü [13]**



**Şekil 2. 8. İşlenmiş külçe fotoğrafı [13]**

### 2.1.1.4 Czochralski Si Oluşum Cihazı

CZ Si kristal (çekici olarak da bilinir) oluşturma sistemi Şekil 2.9' da görüldüğü gibi dört alt sistemden oluşur:

i. Fırın: Pota, kap, döndürme mekanizması, ısıtıcı, güç kaynağı ve oluşum odası.

ii. Kristal çekme mekanizması: Tohum kablo veya zinciri, dönme mekanizması, tohum ve kristal cihazı
iii. Ortam kontrolü: Oda gaz kaynağı, akış kontrolü ve vakum/çıkış sistemi
iv. Kontrol sistemi: Bilgisayar tabanlı kontrol ve sensörler

i. Fırın:
CZ Si pota malzemesi silistir($SiO_2$). Silisin bazı özellikleri yüksek erime noktası, ısı kararlılığı ve erimiş Si ile reaksiyona girmemesidir. Erimiş Si, Si potasını özellikle yüksek erime sıcaklıklarında aşındırır. Silis belirli bir erime noktasına sahip olmamakla birlikte sıcaklığın artırılması ile derece derece yumuşar.

Si' un erime noktasının yakınında potanın silis malzemesi o kadar yumuşak olur ki pota ısıtıcı ve katı çıkış potasına gereksinim duyar. Böyle kaplar yeterli sıcaklık ve temizliğe sahip yüksek saflıkta grafitten yapılırlar.

Yüksek sıcaklıklı elemanlar kabın bulunduğu ve yukarı aşağı döndürdüğü pota ve eriyiğin dahil olduğu pedestal, ısıtıcı, izolasyon paketi ve ısı koruyucudur. Eriyikteki C kirliliği grafit toz parçacıklarından, oksijen veya odaya sızan su ile sıcak grafit reaksiyonundan ve CO oluşturmak için kap/pedestal ile silis potanın reaksiyonundan oluşur. Bu yan etkileri ortadan kaldıran CZ sistemleri vardır. Si yükü DC güç kaynağına bağlı grafit ısıtıcı ile eritilir. Büyük çekiciler 10kWlık güç gerektirirler.

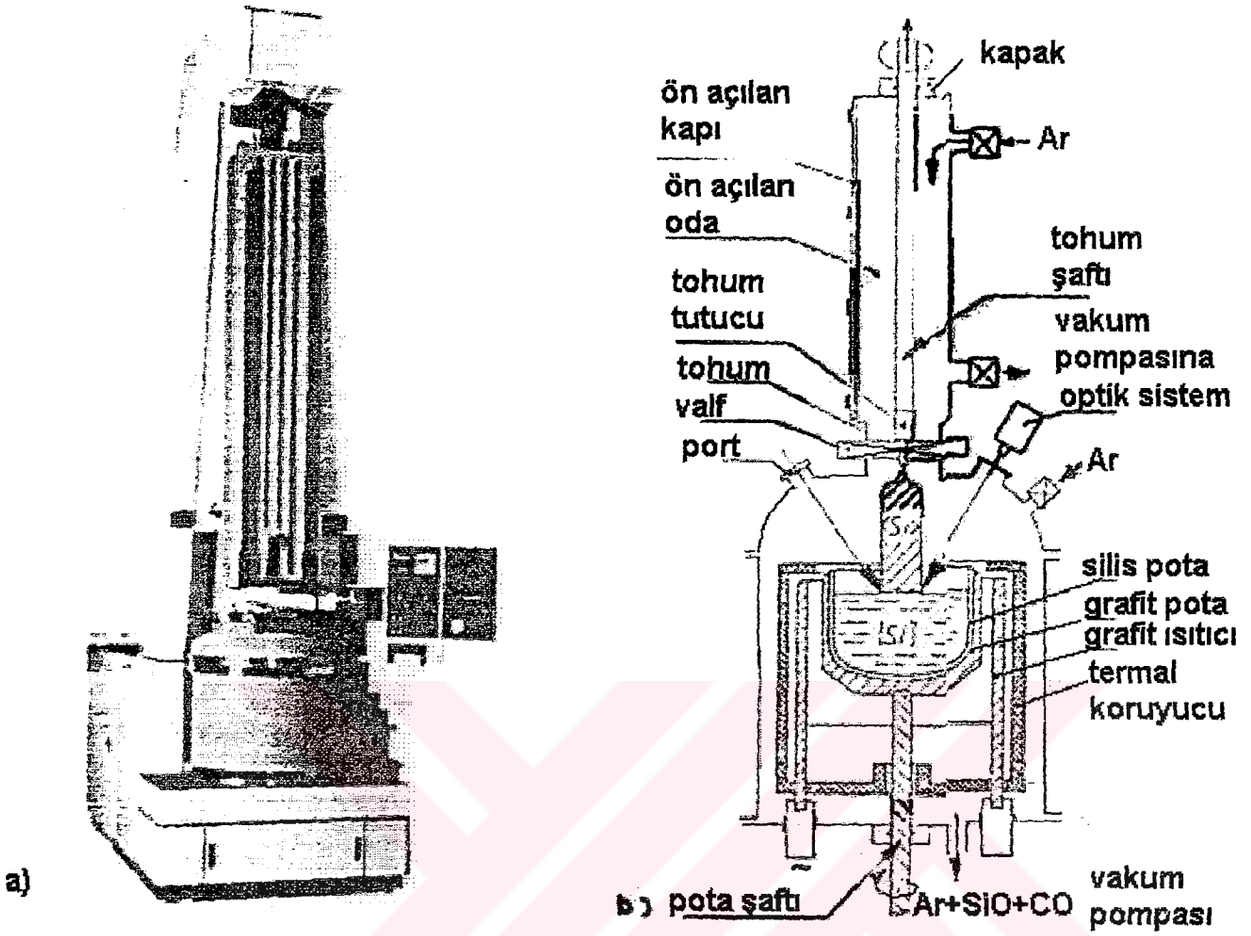
CVD oluşturmalı $Si_3N_4$ alternatif pota malzemesi olarak kullanılabilir. Nitrat pota bazı erimeler gösterir. Pota kristal N ile katkılanır ve Si içinde zayıf verici olarak davranır.

ii. Kristal Çekme Mekanizması:
Kristali eriyikten dönerek çeken mekanizma bu işlemi en az titreşim ve yeterli hassasiyette gerçekleştirmelidir. Bir çok yeni sistemde kablo veya zincir kullanılarak kristal çekilir. Ana problem kristalin belli koşullar altında sallanma eğiliminde olmasıdır. İşlem mühendisi bu kritik durumu ortadan kaldıran çekme işlemi tasarlamalıdır. Yeni çekicilerde sıcak kristaller elle kontrol edilemeyecek kadar büyüktür. Kristal boşaltma düzeni ve kartları külçeleri fırından ürün ve geliştirme bölgesine transfer eder(Şekil 2.9.b).

iii. Ortam Kontrolü:
Oda reaktif gazlardan (O, CO vs.) korunmalıdır. Bunun için oda durgun gaz ile doldurulur(örneğin; Ar). İşlem sırasında bu gaz vakum sistemi ile odada dolaştırıldıktan sonra yeni durgun gaz ile değiştirilir. Düşük basınçtaki oluşum eriyikte oluşan buharı değiştirmek için kullanılır. Bu amaç için durgun gaz 1500 litre/Si kg karışımı kullanılır.

iv. Kontrol Sistemi:
Çekme oranı pota dönmesi, tohum dönmesi, erime sıcaklığı, gaz akışı ve kristal çapı gibi işlem parametreleri ile kontrol edilir. Tam otomatik işlemlerde (bir tek buton işlemi) sadece potanın yüklenmesi yeterlidir. Kristal özellikleri bilgisayarda tutulur ve hemen hemen ideal kristaller elde edilir.

Oluşum sırasında külçe çapı eriyik-kristal ara fazındaki IR sıcaklık sensörü ile kontrol edilir. Çekme oranı mekanizması ve oda ısıtıcısı sensör çıkışına bağlı olup çap çekme oranı değiştirilerek ayarlanır. Erime seviye lazer ile belirlenir.




**Şekil 2. 9. (a) Modern bilgisayar kontrollü CZ çekici (b) CZ çekicinin şeması [12]**

VLSI Si Pulunun Özellikleri:
VLSI( ve ULSI) fabrikasyonuna uygun pulun bir çok özelliği vardır(Tablo 2.1). Bununla birlikte, pulların verilen özelliklere sahip olup olmadığını belirlemek için testler yapılmalıdır. Bu testlerin çoğu ASTM(American Society for Testing and Materials: ASTM) ve SEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institude: SEMI) tarafından standartlaştırılmıştır. Standart test prosedürleri bu organizasyonlar tarafından yayımlanmaktadır. Tablo 2.2' de 100, 125 ve 150mm çaplı CZ pulların bazı özellikleri verilmiştir. Dikkat edilirse pul büyüklüğü arttıkça otomatik pul işleme ve fotolitografiden dolayı özellikler daha da hassaslaşmaktadır.

Pul özellikleri elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve yüzey olarak dört kısımdan oluşur. Bütün bu özellikler standartlara göre belirlenmiştir.

### 2.1.1.5 Si Kristal Oluşumu

Si malzeme teknolojisinin en büyük ve açık amacı Si pul büyüklüğünü artırmaktır. 1984 de 150mm pullar mevcutken 200mm pullar bir sonraki adım olarak gözükmekteydi. Zar büyüklüğü arttıkça üretkenliği artıran büyük çaplı pulların kullanımı yarı iletken üretimine bir çok büyük tehlikeyi de beraberinde getirmektedir: a) cihazların yenilenmesi, b) modelleme tekniği, c) düzlemselliğin sürdürülmesi, d) pul kalınlığı e) pul ağırlığı, pul kesitleri ve ulaşım mekanizmaları.

**Tablo 2. 1 Malzeme özellikleri ile VLSI gerekliliklerinin karşılaştırılması [12]**

| Özellik | Czochralski | Bölge Akış | VLSI Gereklilikleri |
|---|---|---|---|
| Direnç(P) n-tipi(ohm-cm) | 1-50 | 1-300 | 5-50 |
| Direnç(At) n-tipi(ohm-cm) | 0.005-10 | - | 0.001-0.02 |
| Direnç(B) p-tipi(ohm-cm) | 0.005-50 | 1-300 | 5-50 |
| Direnç eğimi(%) | 5-10 | 20 | <1 |
| Azınlık taşıyıcı süresi(μs) | 30-300 | 50-500 | 300-1000 |
| Oksijen(ppma) | 5-25 | Belirlenmedi | Doğrusal ve kontrollü |
| Karbon(ppma) | 1-5 | 0.1-1 | <0.1 |
| Yer değiştirme(/cm$^2$) | <500 | <500 | <1 |
| Çap(mm) | 200 e kadar | 100 e kadar | 150 e kadar |
| Kayma(slice bow)(μm) | <25 | <25 | <5 |
| Kayma(slice taper)(μm) | <15 | <15 | <5 |
| Yüzey doğrusallığı(μm) | <5 | <5 | <1 |
| Ağır metal katkısı(ppma) | <1 | <0.01 | <0.001 |

**Tablo 2. 2 Cilalı tek kristal Si pul özellikleri [12]**

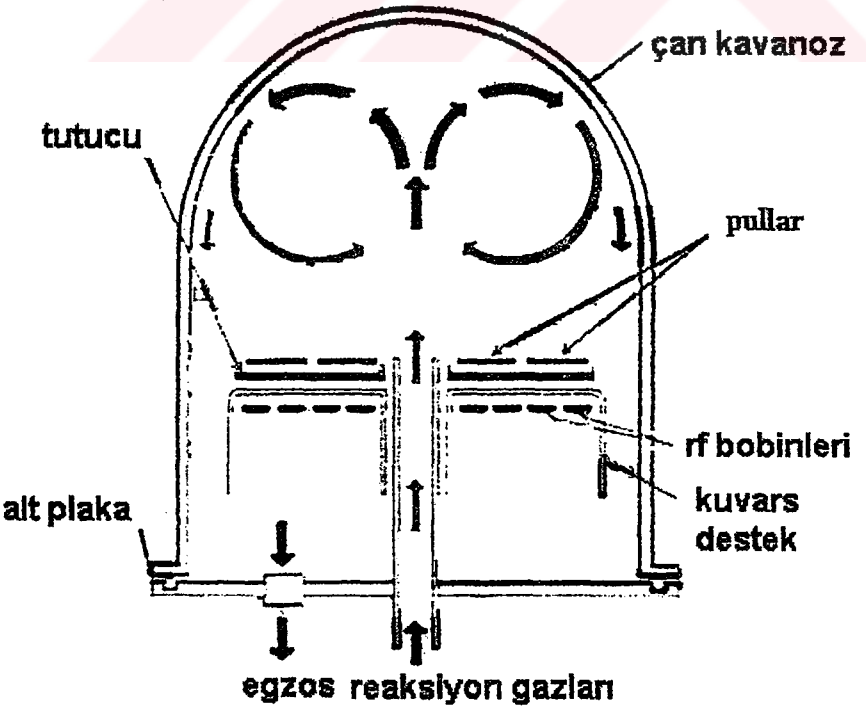
| Parametre | 100mm | 125mm | 150mm |
|---|---|---|---|
| Çap(mm) | 100±1 | 125±1 | 150±1 |
| Kalınlık(mm) | 0.5-0.55 | 0.6-0.65 | 0.65-0.7 |
| İlk düzlem uzunluğu(mm) | 30-35 | 40-45 | 55-60 |
| İkinci düzlem uzun.(mm) | 16-20 | 25-30 | 35-40 |
| Eğrilik(bow)(μm) | 60 | 70 | 60 |
| Toplam kalınlık değişimi(μm) | 50 | 65 | 50 |
| Yüzey oryantasyonu | (100)±1<br>(111)±1 | Aynı<br>Aynı | Aynı<br>Aynı |

Bellek elemanlarında pul büyüklüğü küçüldükçe Uranyum ve Toryum radyasyonu önemli hatalara neden olabilir. Si malzemeleri ppma seviyesinde bu radyoaktif elemanları içerir. Bu seviye gelecekteki belleklerde azaltılmalıdır. Katı hal belirleme gibi yeni analitik tekniklerle ppma seviyeyi belirlenir. Kimyasal metotlar ppma yoğunluğunu azaltmak için kullanılır. Pul özellikleri çok açıktır. Litografi işlemlerinde kontrollü pul eğimi (konkav ve konveks) önemlidir. Pulun arka kısmındaki parçaların belirlenmesi gereklidir. Çünkü bu parçacıklar pul düzlemselliğini etkiler. C ve O' un konsantrasyonu çok özenle belirlenmelidir ve O yoğunluğu en fazla 2ppma olmalıdır. Pul temizliği ve ön yüz parçacıklarının kontrolü bile önemlidir.

### 2.1.2 Epitaksiyel Cihazı

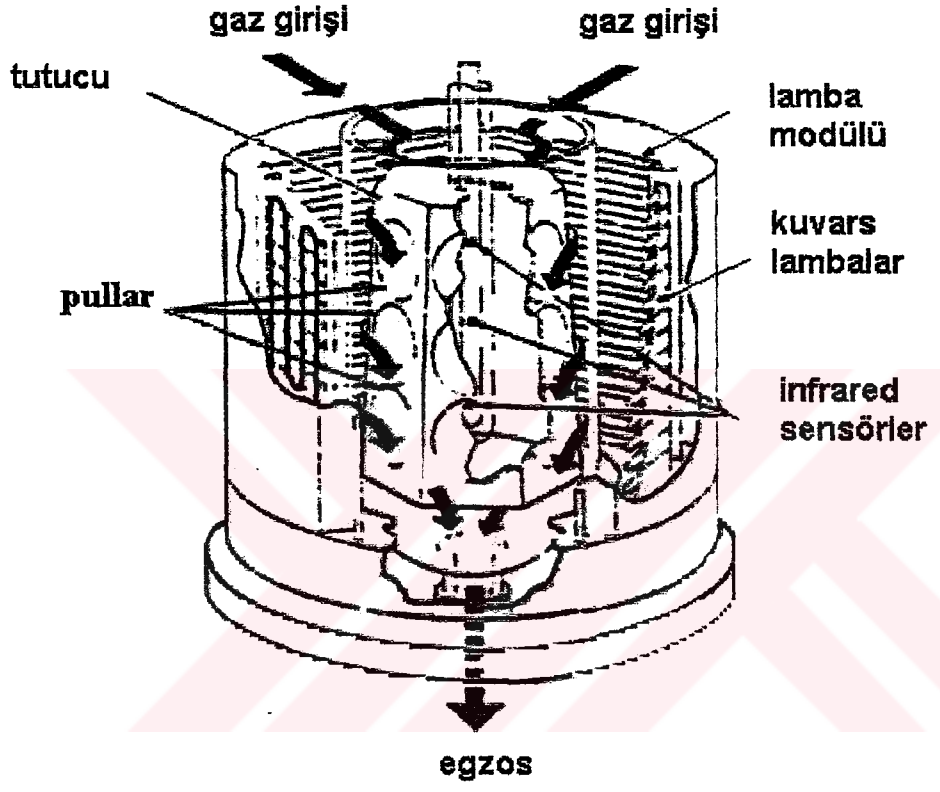
Epitaksiyel reaktörler yüksek sıcaklıklı yığın ve CVD sistemleridir. VLSI epitaksiyel sistemler a)kalınlık ve direnç kontrolü, b)işlem kusurları, c)model kayması ve yıpranma, d)azaltılmış otomatik katkılama, e)düşük sıcaklıklarda işlem, f)150mm pulların işlenme kabiliyeti ve g)yüksek üretkenlikli cihaz teknolojisi gibi özelliklere sahiptir. Bugün iki çeşit epitaksiyel cihazı vardır: a)Çok pullu RF ile ısıtılan gözleme reaktör(pancake reactor) ve b)çok pullu IR ile ısıtılan kovan reaktörü(barrel reactor).Gözleme ve kovan isimlerini oluşturma işleminde pulları tutan tutucunun şeklinden alırlar. Üçüncü bir şekil ise (VLSI' da nadiren kullanılır) RF ile ısıtılan yatay reaktördür.

Epitaksiyel oluşturma cihazı en az şu elemanlardan oluşur:a) epitaksiyel çevresini izole etmek için kuvars çan kavanoz veya reaktör tüpü, b)çeşitli kimyasal malzemelerin kontrollü girişini sağlayan gaz dağıtım sistemi(gaz akışı ve işlem sıralaması genellikle mikro işlemci kontrollüdür), c)pul ısıtma sistemi(IR veya RF) ve d)çıkan gazları temizleyen egzos sistemi. Isı görüntülenmesi ve kontrolü pul yüzeyine odaklanan IR optik pirometre (ateş ve ısı ile ilgili ölçü aleti) ile gerçekleştirilir. Böyle bir ölçü aletinin gösterdiği değer Si emisyonundaki değişiklerden dolayı gerçek değerden (50-100)°C küçüktür. Radyoaktif ısıtmalı sistemlerde termokupllar ile de sıcaklık ölçülebilir.




**Şekil 2. 10. Endüksiyon ısıtmalı dikey gözleme reaktörün şeması [12]**

Endüksiyon ısıtmalı dikey gözleme reaktörünün şeması Şekil 2.10' da gösterilmiştir. Pullar RF bobinleri ile ısıtılan Si karbit (SiC) kaplamalı grafit tutucuya yerleştirilir. Tutucular ısıdan kaynaklanan kaymaları önlemek için pulları kenarda tutarak işlerler. Tepkimeye girecek kimyasal malzemeler tutucunun merkezinden girer ve dış sınır yüzeyinden dışarı atılır. Gazlar simetrik olarak pullara dağıtılır ve sabit oluşum oranı elde edilir. Bu koşular altında kararlı sınır tabakası oluşturmak zor olduğundan dikey gaz akışı otomatik katkılama etkilerini azaltır(Şekil 2.10). Sistem 200mm çaplı pulları işleyebilmesine rağmen, yükleme büyüklüğü pul büyüklüğü artıkça azalacaktır. Sistem düşük basınçlarda (100-200torr) veya atmosfer basıncında bile çalışabilir. Düşük basınçta oluşturma model kaymada olduğu gibi otomatik katkılama etkisini azaltır.




**Şekil 2. 11. Radyoaktif ısıtmalı kovan reaktör şeması [12]**

Radyoaktif ısıtmalı kovan reaktör şematik olarak Şekil 2.11 de gösterilmiştir. Tutucu (Si karbit kaplı grafit) altıgen kesite sahiptir. Burada her bir yüzde pul çapına bağlı olarak bir çok sayıda pul bulunur. Pullar dikey olarak 2.5° de tutulur. Gaz akışı pul yüzeyine paraleldir. Gaz odaya üstten girer ve odanın altından çıkar. Bu gaz akışı sınır tabakasının oluşmasına neden olur. Otomatik katkılama ile kaynak gaz deplesyon etkisini artırır. Deplesyon etkisi oluşturma oranını gaz girişinden aşağıya çeker. Pulların ısıtılması reaktör içindeki su soğutmalı kuvars lambalar ile sağlanır. Bu çeşit ısıtma ısıtmadan kaynaklanan pul kaymalarını azaltır. Böyle sistemler (80-100)torr ve atmosfer basıncında çalışabilirler. Pullar dikey pozisyonda tutulduğu için kirlenme azalacaktır.

Her iki çeşit reaktör de pul boyunca ±5% kalınlık ve direnç doğrusallığına sahiptirler. 0.1 Ω-cm den küçük ve 1Ω-cm den büyük dirençlerde (ve 1μm' den küçük kalınlıkta) doğrusallık ±5%' den daha küçük olacaktır. Her iki çeşit reaktör pul çapına bağlı üretkenliğe sahiptir. (12-125)mm pullar 60 dakikalık işlem süresinden dolayı düşük pul verimine neden olur.

### 2.1.2.1 Molekül Hüzme Epitaksi

Si MBE işlemi, Si ve istenilen katkıların UHV altında (10-11torr basınçta) buharlaştırılmasıdır. Buharlaştırılan atomlar hızlandırılarak yoğunlaştıkları ve epitaksiyel olarak oluştukları ısıtılmış gövdeye yönlendirilirler. Epitaksiyel oluşum gövdedeki buhar malzemelerin süper doymuş durumda olması ile gerçekleşir. Yüksek süper doyum koşulları altında epitaksi elde etmek için difüzyon veya kimyasal reaksiyonlar gerekmektedir. İşlemler (600-900)°C' de gerçekleşir. Bu sıcaklıklarda otomatik difüzyon ve otomatik katkılama olmamaktadır. Tamamen eşit katkı profilli MBE elde edilir.

İlk Si-MBE sistemi 1960' da Unvala ve Abbink tarafından kurulmuştur. UHV koşullarında Si oluşturmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu teknik hala kullanılmaktadır. Çünkü CVD epitaksi üretim gerekliliklerini karşılamaktadır.

Si-MBE' in CVD tekniğinden bazı üstün özellikleri a)otomatik difüzyon ve otomatik katkılama etkilerini ortadan kaldıran düşük oluşum sıcaklığı, b)atom tabaka seviyesinde hassas tabaka kalınlığı ve katkı kontrolü ve c)Si/yalıtıcı/metal sandviçleri ve süper latisler gibi doğal yapılar oluşturabilmedir.

### 2.1.2.2 Si-MBE Oluşum

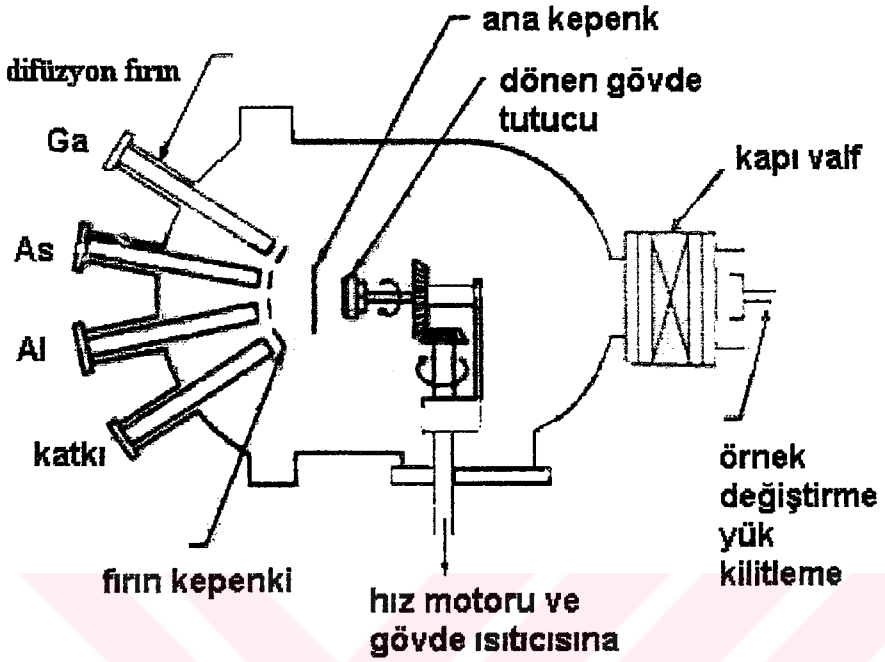
Si' un MBE oluşumu için çok saf Si kaynağından elde edilen elektron huzme buharlaşma gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için Si kaynağının merkezi elektron huzme ile ısıtılır. Gövdede oluşacak radyasyon hasarını azaltmak için gövde elektron huzme ile oluşan ve yansıyan elektronlardan ve iyonlardan korunmalıdır. Verici katkıların atom huzmesi, düşük enerjili iyon implantasyonu veya dökme hücresinin buharlaşması ile üretilir. Huzme MBE filmine geçirilir. Buharlaşma modunda Ga p-tipi katkı malzemesi, Sb ise n-tipi katkı malzemesidir. Çünkü genel katkılar (P, As ve B) buharlaşma ile çöktürülemezler. Si' un 750°C' de Sb ile doyma seviyesi $2*10^{19}$ atom/cm$^3$ olduğu halde Ga ile $2*10^{18}$ atom/cm$^3$ değerine kadar ulaşmaktadır. Diğer taraftan, P, As veya B iyon implantasyonu ile aynı anda (düşük enerjili ve düşük akımlı MBE oluşumda) filme katılmaktadır.

### 2.1.2.3 MBE Cihazı

MBE sistemi yük kilitleme sistemi ile bağlanan üç ayrı odadan oluşur. Yük kilitleme böyle bir sistemi inşa ederken diğer etkileri baskın hale getiren vakum integritesini de beraberinde getirmektedir. Üç odanın birinde oluşturma işlemi gerçekleşirken diğerinde örnekler hazırlanır. Dolayısıyla, verim artmaktadır. 10-11torr için gerekli çok yüksek vakum şu vakum pompalarını kullanan pompalama sistemi ile elde edilir: a)sirojenik, b)turbo moleküler, c)Titanyum süblimasyonu ve d)iyon pompaları. Sirojenik olarak soğutulan odanın iç yüzünün soğuk parçaları Bakır ve Çelik gibi malzemelerden üretilirken sıcak parçaları Molibden, Titanyum, Bor Nitrat ve Si' den yapılır.

MBE sistem tasarımındaki diğer en önemli nokta buharlaşma kaynağının (e-huzme buharlaşma ve dökme hücreleri) ve gövde sıcaklığının hassas kontrolüdür. Son olarak, sistem a)pulları üç odaya taşıyan pul taşıma sistemi, b)analitik cihaz ve c)pul temizleme ve yumuşatma kabiliyetlerine sahip olmalıdır.

MBE işlem sırasında pullar (örneğin; 10.3 inch. pullar) gövde taşıyıcıya yüklenir ve yükleme odasına yerleştirilirler. Bu oda $10^{-9}$torr boşaltılır. Pullar yüzeyleri analiz odasında temizlendikten sonra oluşum odasına gönderilirler(analiz ve oluşum odaları $10^{-11}$ torr da olmalıdır). Kaset oluşum odasında iken gövde boşaltır, konumlanır ve film oluşur. Bütün pullar oluşturma işlemine tabi tutulduktan sonra boşaltım için tekrar analiz odasına getirilirler. Şekil 2.12 MBE oluşum odasının şemasını göstermektedir. [12]




**Şekil 2. 12. MBE oluşum odasının şeması [12]**

### 2.1.3 Oksidasyon

#### 2.1.3.1 Oksidasyon Teknolojisi

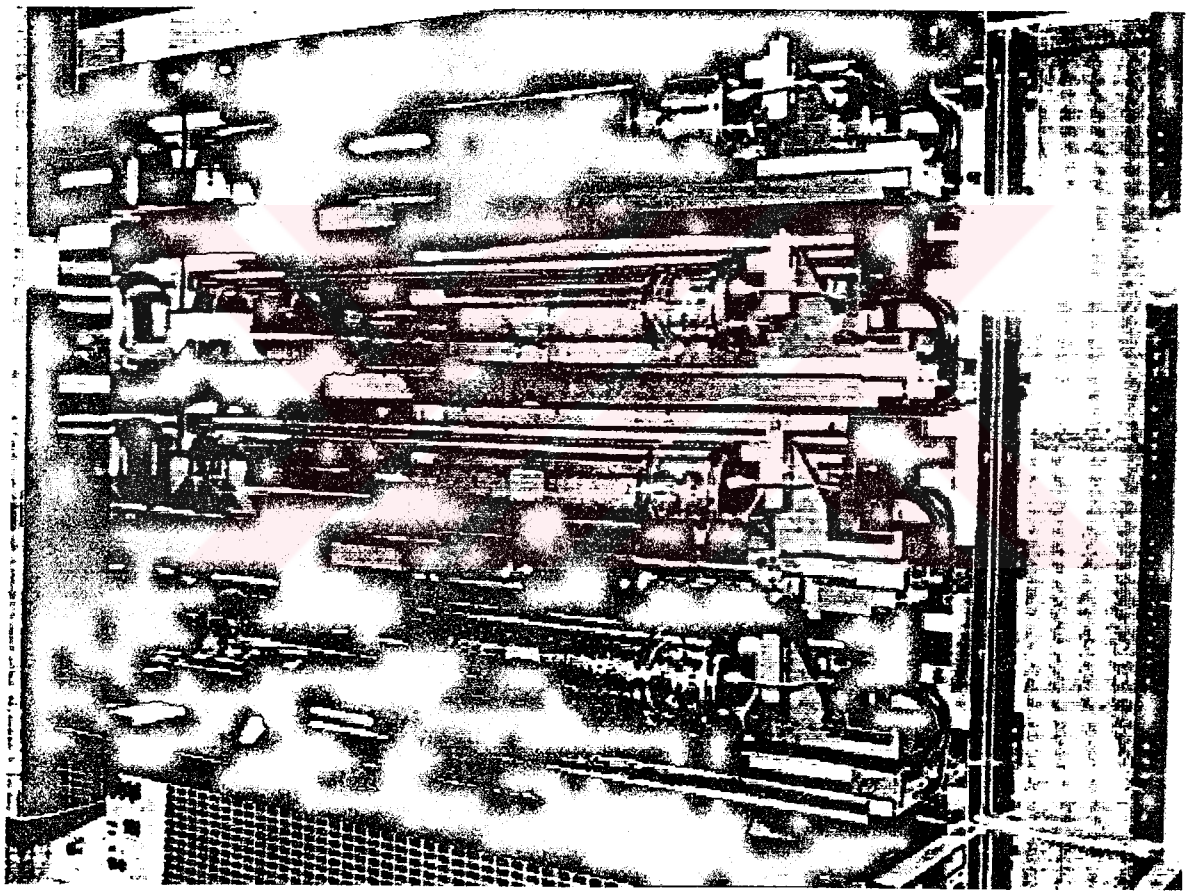
Si termal oksidasyonu yüksek sıcaklıklı fırın tüpte gerçekleştirilir. Tüpler kuvars, poli kristal Si veya Si karbitten yapılabilir ve oksidasyon sırasında sodyum kirliliğini önlemek için özel olarak üretilirler. Pullar kuvars botun kenarına yerleştirilirler ve yavaşça fırına doğru itilirler. Fırın sıcaklığı 800-1200°C dır. Üç bölgeli direnç ısıtmalı fırınlar merkezden 0.5m bir alanı belirlenen sıcaklıkta tutarlar.

Fırın oksidasyondan önce Nitrojen gibi durgun gaz ile devamlı olarak temizlenir. Oksidasyon oksitleyecek malzemelerin gaz formunda fırına girmesi ile başlar. Kuru oksidasyonda yüksek saflıkta oksijen kullanılır. Oksijen 95°C de su içeren hava kabarcığı makinesinden geçirilerek su buharı oluşturulur. Oksijen su buharını fırına taşıyarak taşıyıcı gaz görevini yapar. Yüksek saflıkta su buharı, fırın tüpte hidrojen ve oksijen yakılarak elde edilebilir. Buhar Si yüzeyde çukur oluşturmaya meyilli olduğu için kullanılmaz. [14]

### 2.1.3.2 Oksidasyon Sistemleri

Sıcak duvarlı yatay difüzyon fırınları 30 yıldır yarı iletken endüstrisinde kullanılmaktadır. Böyle fırınlar difüzyon için tasarlandığı halde oksidasyon için de kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu fırınlar LPCVD işleminde de kullanılmaktadır. Ön oluşturma işlemleri kimyasal yollardan daha fazla iyon implantasyonu ile gerçekleştirildiğinden fırın sistemleri oksidasyon, iyon implantasyonu ve yumuşatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, VLSI fabrikasyonunda hassas oksit kalınlığı ile birlikte büyük çaplı pulların işlenmesi temel fırınların değişikliklerini gündeme getirmiştir. Bu bölümde temel sıcak duvarlı difüzyon fırın sistemi ve VLSI işleminin gerekliliklerini karşılayacak gelişmeleri açıklayacağız.

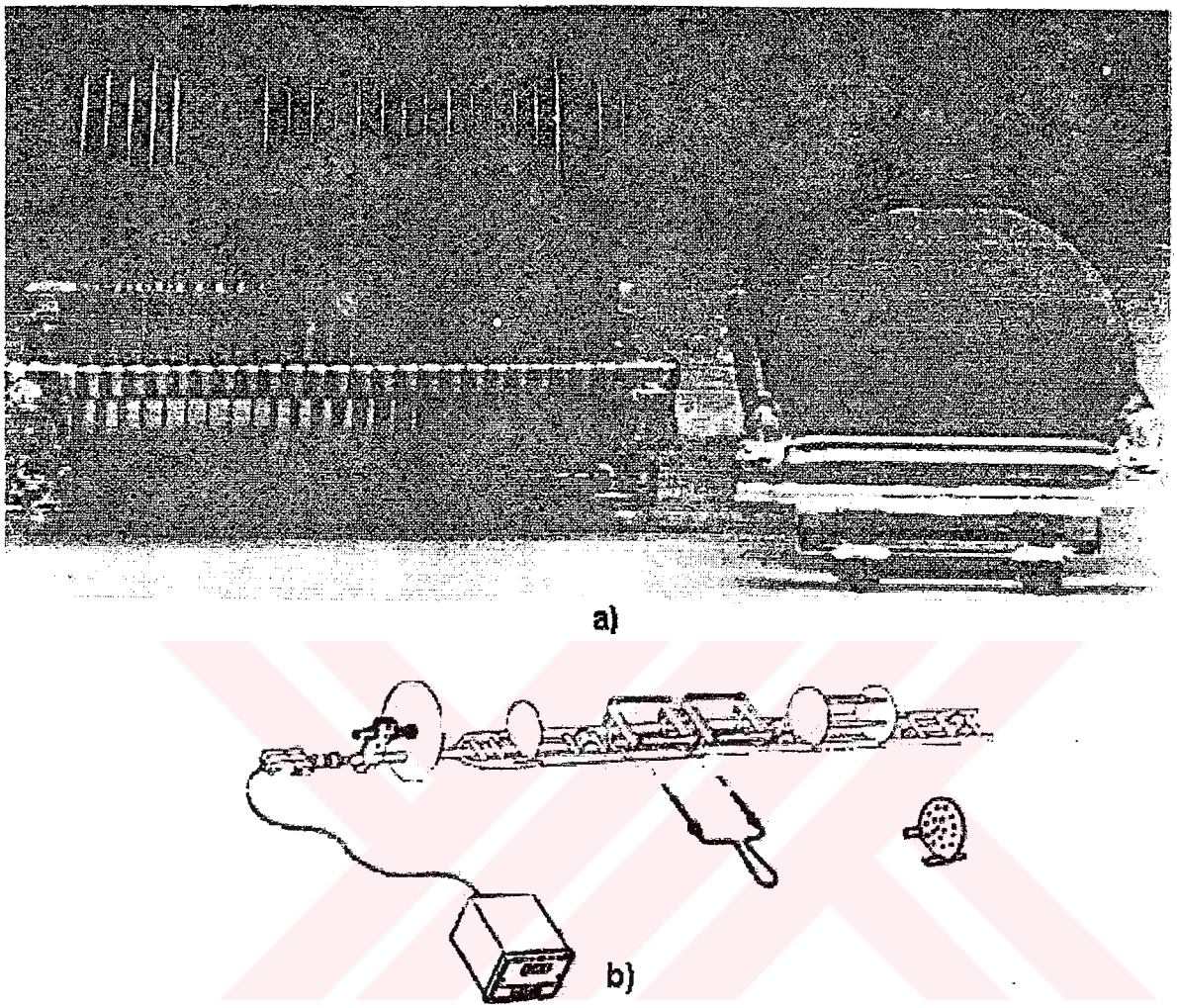
Temel bir difüzyon veya oksidasyon sistemi aşağıdaki modüllerden oluşur: a)bir kabin, b)ısıtma elemanları, c)ölçme termokupları, d)işlem tüpleri, e)kuvars botlar ve palalar, f)bir kaynak kabin, g)sıcaklık kontrol sistemi ve h)yükleme istasyonu. Bu fırın sistemi Şekil 2.13 de gösterilmiştir.



**Şekil 2. 13. 4-yığınlı difüzyon fırın sistemi [12]**

Standart fırın kabini dört yatay tüpten oluşur. Böyle konfigürasyonlara **4-yığın** denir. Yüksek pul verimine sahiptir. Fırın ısıtma elemanları direnç ısıtıcıya sarılmış yüksek saflıkta ve yüksek sıcaklıklı seramik malzemelerdir. Üç ısıtma bölgesinden oluşan sarım tüp boyunca devam eder. Her bir bölge Pt/Pt-Rh termokupl ile görüntülenir. Bu termokupl sıcaklığı fırın tüpü uzunluğu boyunca mesafenin bir fonksiyonu olarak belirler.

Dört ısıtma elemanı içindeki işlem tüpleri temiz silisten üretilir. Pullar işlem boyunca silis palaların kuvars botları desteklemesi ile tutulurlar. Şekil 2.14' de böyle bir bota yerleştirilen pulların fotoğrafi görülmektedir.




**Şekil 2. 14. (a)Açılı kuvars bottaki pullar (b)tekerlek taşıyıcı [12]**

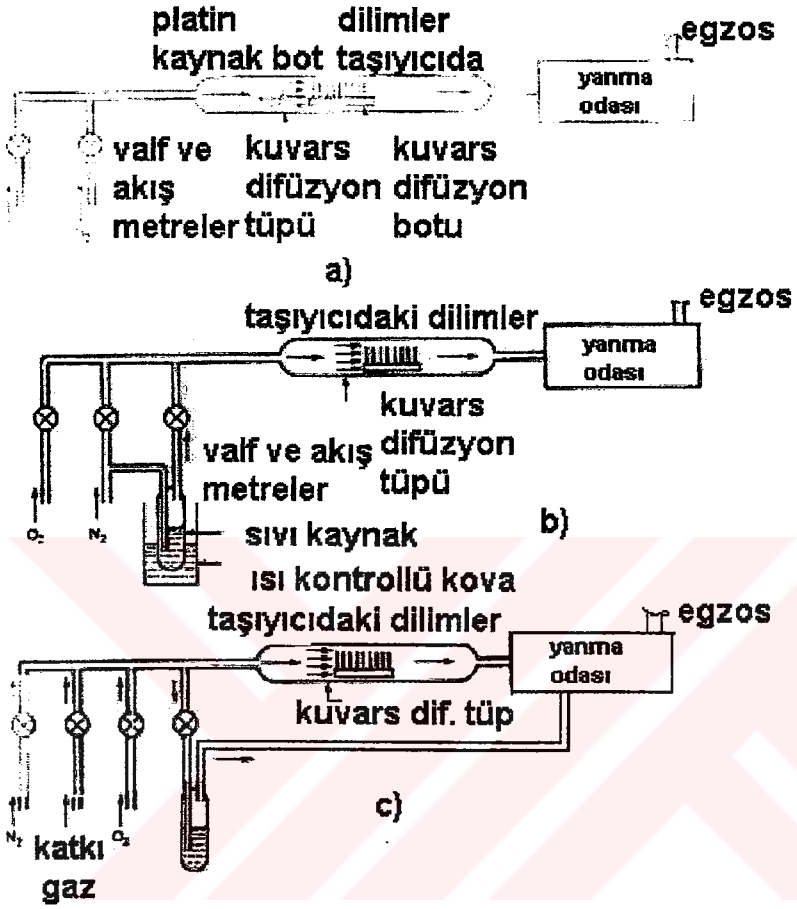
Kaynak bobin gaz dağıtım sistemden oluşur (valfler, kütle akış kontrolörü vs.). Oksidasyon sisteminde işlem gazları $O_2$, $H_2$, $N_2$, TCA veya HCl ve Ar' dur. Kirliliği azaltmak için gaz dağıtım sistemi çelikten yapılır.

Sıcaklık kontrol sistemi termokupldan gelen bilgileri alır. Isıtıcı sargılarının gücünü ayarlayarak sıcaklığı belirlenen noktada tutar. Geçmişte bu fonksiyon analog kontrol devresi ile gerçekleştiriliyordu. Bugün hassas sıcaklık kontrollü, büyük pul kilitlemeli ve kararlı dijital cihazlar gerekmektedir. Yükleme istasyonu pulları fırın tüpe yükleme ve boşaltma çevresinin temiz (10. sınıf veya daha iyi) olmasını gerektirir. Otomatik yükleme sistemi pulları fırın tüpe yüklemek ve fırın tüpten boşaltmak için kullanılır.

Bir çok modern fırın sistemi mikroişlemci veya mini bilgisayar kontrollü tüpler kullanır. Böyle sıcaklık kontrol modülleri beş fırın bölgesini görüntüleyebilir ve sıcaklık sapmalarına gerçek zaman doğrulaması yapabilir. Çeşit, kalite ve gazın süresini içeren işlem sırası mikro bilgisayarın program modülü tarafından kontrol edilir ve görüntülenir. [12]

### 2.1.4 Difüzyon

Şekil 2.15' de gösterilen katı, sıvı ve gaz kullanan açık fırın tüp sistemi iyi üretkenliğe sahip olup bugün tümdevre üretiminde kullanılan en genel difüzyon teknolojisidir. Fırın tüpleri üç bölge sistemi ile aynıdır. Difüzyon için pullar kuvars bota ve fırının merkez bölgesine yerleştirilirler. Pullar yüksek sıcaklıkta ısıtılırlar. Katkılar Si yüzeye yayılarak geçerler.




**Şekil 2. 15. Açık fırın tüp difüzyon sistemi (a) katı kaynaklı**

**(b) sıvı kaynaklı (c) gaz kaynaklı [14]**

Si katkılar sıvı döndürme kaynakları(spin-on-sources) kullanılarak uygulanır. Döndürme kaynakları güvenli ve kolay uygulanabilir olmalarına rağmen, diğer katkı kaynaklarından daha zayıf doğrusallığa sahiptirler. İyi bir kalite kontrolü sağlamak için çoğu üretim sistemleri katı, sıvı ve gaz katkı kaynakları kullanır.

Katı kaynak sistemlerinden birinde taşıyıcı gazlar (genellikle $N_2$ ve $O_2$) fırın tüpe yerleştirilmiş kaynak bot boyunca kontrollü bir şekilde akarlar. Taşıyıcı gaz kaynağın buharını toplayarak tüpe gönderir. Tüpte katkılar pul yüzeyine oluşturulur. Kaynağın sıcaklığı buhar basıncını istenilen seviyede tutulur. Kaynak fırının düşük sıcaklık bölgesine veya dışına yerleştirilebilir. Katı B ve P katkı kaynakları komşu Si pul çiftleri arasına yerleştirilir.

Sıvı kaynak sistemlerde taşıyıcı gaz sıvı kaynak buharını toplayan hava kabarcık makinesinden geçer. Gaz Si pul yüzeyi ile reaksiyona giren fırın tüpe buharı taşır.

Gaz kaynak sistemlerinde gaz fazındaki katkı maddeleri direk olarak fırın tüpe beslenirler. Genel gaz kaynakları çok zehirleyicidir. Bundan dolayı, pul işleme alınmadan önce ve işlendikten sonra kaynak gaz boşaltılır. Bir çok difüzyon işleminde bütün gaz kaynakları kullanılmaz. Difüzyon sonucu istenmeyen ürünler oluşur. Bu nedenle difüzyon sisteminin çıkışı yakılarak kimyasal olarak işlenmelidir ve atmosfere atılmadan önce su ile temizlenmelidir.

B tek p-tipi katkıdır. $SiO_2$' de Al ve Ga' un difüzyon katsayıları çok yüksektir ve bu elementler $SiO_2$ ile etkili olarak maskelenemezler. Indiyum çok düşük alıcı olduğu için kullanılmaz.

n-tipi katkı olarak kullanılan At, P ve As $SiO_2$ ile maskelenebilir.

### 2.1.5 İyon İmplantasyonu

İyon implantasyonu difüzyona göre bazı avantajlara sahiptir. Bu bölümde iyon implantasyon teknolojisi, sistemi ve cihazları açıklanacaktır.

#### 2.1.5.1 İmplantasyon Teknolojisi

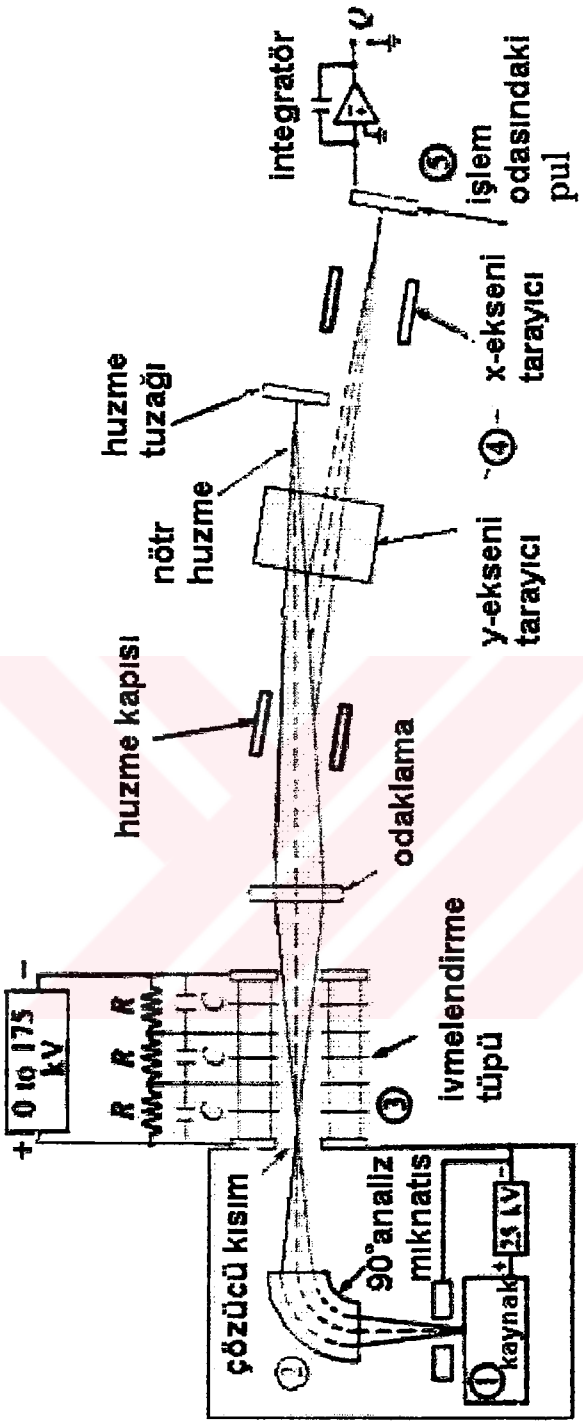
İyon implantasyon cihazı yüksek voltajlı parçacık ivmelendirici olup Si yüzeye geçen katkı iyonlarının yüksek hızlı huzmesini oluşturmak için kullanılır. Sistemin temel parçaları Şekil 2.16' da gösterilmiş olup aşağıda açıklanmıştır:

i. Iyon Kaynağı: Iyon kaynağı yüksek voltajda çalışır (25kV). İstenilmeyen malzemeler ile istenilen katkıları içeren bir plazma üretir. B, P ve As kaynakta kullanılabilir. Katılar özel iyon kaynağında saçılabilir. Bu teknik katkı seçimine büyük esneklik sağlar.

ii. Kütle Spektrometre: İstenilen katkı iyonunu seçmek için bir analiz mıknatısı iyon huzmesini dik açılı olarak kavislendirir. Seçilen iyon bir delik içerisinden ana ivmelendiriciye geçer.

iii. Yüksek Voltaj İvmelendirici: İvmelendirici huzme iyonlarını mümkün olan en büyük hıza kadar ivmelendirir (175keV). İvmelendirici ve iyon kaynağı hedefe göre yüksek voltajda çalıştırılır. Yüksek voltaj ve X- ışınlarından korunmak için iyon kaynağı ve ivmelendirici koruyucu içine monte edilir.

iv. Tarama Sistemi: X ve Y saptırma plakaları pul boyunca huzmeyi tarayarak doğrusal implantasyon ve istenilen dozda katkı sağlarlar. Huzme saptırılarak nötr parçacıkların hedefe çarpması önlenir.




**Şekil 2. 16. İyon implantasyon cihazının şeması [14]**

v. Hedef Odası: İyon huzmelerin hedefi Si pullardır. Güvenlik açısından hedef bölgesi şase potansiyeline yakın yerdedir. Tüm implantasyon sistemi vakum altında çalışır.[14]

### 2.1.5.2 İyon İmplantasyon Cihaz Çeşitleri

VLSI fabrikasyonunda çeşitli implantasyon uygulamalarından dolayı, farklı implantasyon cihazları geliştirilmiştir. Yarı iletken araştırmalarında ve üretim çevresinde dört çeşit iyon implantasyon cihazı vardır:

i. Orta akım implantasyon cihazı: Toplam hücre akımı 2 mA ve en büyük enerji 200keV.
ii. Yüksek akım implantasyon cihazı: En büyük huzme akımı 30 mA ve huzme enerjisi 10-160keV.
iii. Ön oluşturma implantasyon cihazı: Düşük huzme enerjili, yüksek akım makineli ve 10-30keV enerjili.
iv. Yüksek enerjili implantasyon cihazı: Birkaç MeV enerjili olup en son geliştirilen cihazdır.

### 2.1.5.3 İyon İmplantasyon Cihazları

Iyon implantasyon cihazı VLSI fabrikasyonundaki en karışık cihazdır. Şu alt sistemlerden oluşur:

i. İmplante edilecek malzemeleri içeren malzeme kaynağı: En genel implante malzemeleri olan B, P ve As oda sıcaklığında gaz formunda olmamalıdırlar. Bir çok yarı iletken uygulamalarında kolay işlenebilirliklerinden dolayı gazlar kullanılır(Örneğin; $BF_3$, $BCl_3$, $PH_3$, $AsH_3$ ve $SiCl_4$). Ayarlanabilir gaz akış kontrolü iyon kaynağına giren gazı kontrol eder. Bazı yüksek akım implantasyon cihazları yüksek oranda zehirli gaz ($AsH_3$ ve $PH_3$) beslemesine ihtiyaç duyarken daha az zehirli kaynaklar ile de çalışabilirler.

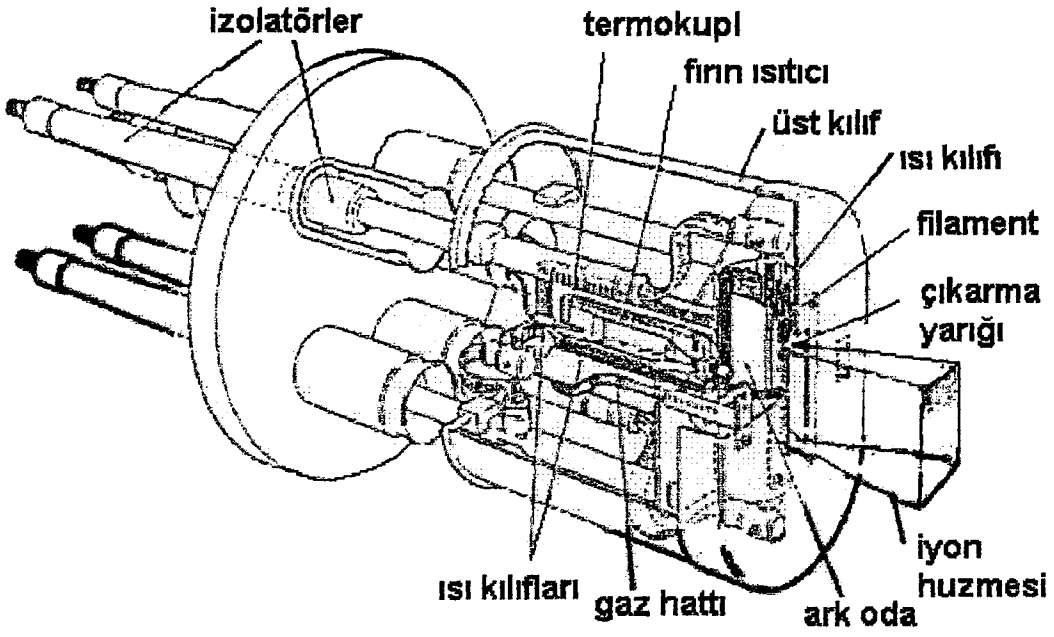
ii. Güç kaynağı ve vakum pompaları ile beslenen gazı iyonize eden ve $10^{-3}$torr basıncında plazma üreten iyon kaynağı: İyonlar soğuk katot kaynağından veya ark deşarjındaki elektronların çarpışmasından elde edilir. Şekil 2.17 Freemen tipi sıcak katotlu iyon kaynağını (genellikle orta akım implantasyon cihazlarında kullanılır) göstermektedir.

iii. İyon malzemelerini seçen iyon çıkarma ve analiz cihazı: Bir çok iyon implantasyon cihazı iyon kaynağından iyonların çıkarılmasını ve analiz edilmesini (15-40)eV voltaj ile sağlar. İyon huzmesi beslenen malzemenin çeşitli molekül ve atomlarının karışımı olduğundan çıkarılan iyon huzmesi analiz edilmelidir. Örneğin; $BF_3$ $B^{++}$, $B^+$ ve $BF_2'$ ye ayrılır ve bir anda sadece biri implante edilebilir.

iv. İvmelendirme alanı oluşturarak iyon enerjisini istenilen enerji seviyesine getiren veya iyon yavaşlatarak çıkarılma voltajından düşük enerji sağlayan ivmelendirme tüpü ve güç kaynağı: Iyon huzmesi belli şekil ve büyüklükte olmalıdır.

v. Hedefte iyonları doğrusal olarak dağıtan tarama sistemi.

vi. Aralık tanımlayan bir bölgeye sahip Faraday kafesi ve akım integratörü içeren ve hedefi (örneğin; pul) yükleyen, tutan ve konumlandıran alt sistemleri içeren sistem sonu istasyonu: İyon huzmesinin hedefe çarpması ikinci elektron emisyonuna neden olur. Eğer bu elektronlar duvara çarpmazlarsa doz hatası oluşur. Faraday kafesi hedefi çevrelemekle birlikte delik etrafında bir açıklığa sahiptir. Birkaç yüz negatif voltaj kafese uygulanır. Bu düzenleme ikinci elektronların çoğunu hedefe çevirir ve doz hatasını azaltır.



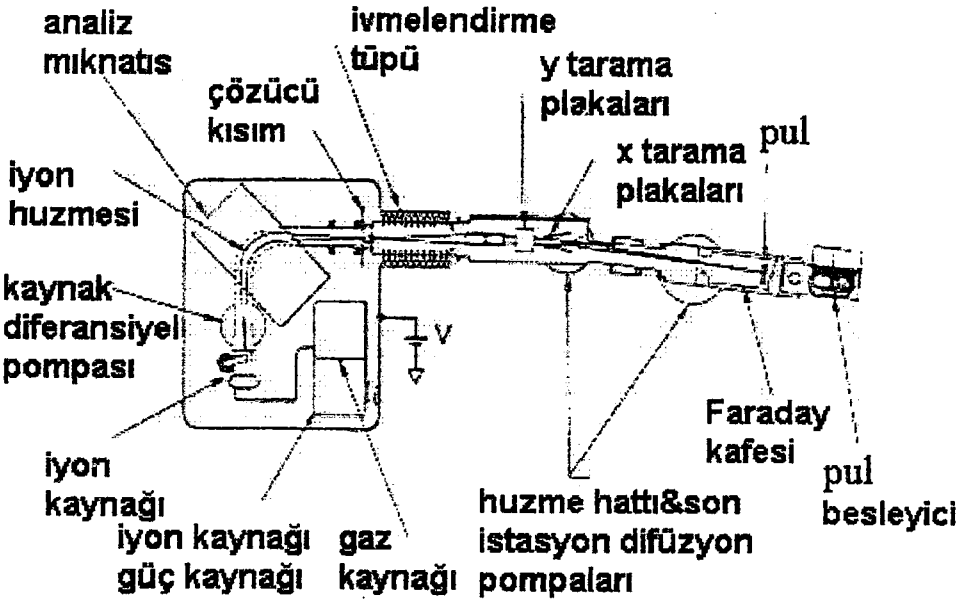

**Şekil 2. 17. Freeman İyon kaynağının şeması [12]**

vii. Kaynağı, ivmelendirme cihazını, huzme odasını ve son istasyonu $<10^{-6}$torr' a düşüren yüksek vakum sistemi: Yüksek vakum kalan gaz atomları ile iyon huzmesinin çarpışmasından oluşan nötral oluşumunu azaltır. Difüzyon pompalarından oluşan yan etkileri ortadan kaldırmak için huzme odasında ve son istasyonda siropompalar kullanılır. Turbo moleküler pompalar veya modern implantasyon cihazlarındaki difüzyon pompaları iyon kaynağını pompalamak için kullanılır. İyon kaynağının yüksek gaz ile yüklenmesi siropompayı hızla doyuma getirir.

viii. İyon implantasyon cihazının otomasyon derecesini değiştiren bilgisayar ve kontrol sistemi. [12]

Diğer bir iyon implantasyon sisteminin şekli Şekil 2.18' de gösterilmiştir. Bu sistemin önemli özellikleri şunlardır:

i. Yüksek ivmelendirme potansiyelindeki $BF_3$ veya $AsH_3$ gibi malzemelerin gaz kaynağı: Bir valf iyon kaynağına akan gazı kontrol eder.
ii. İyon kaynağını enerjilendiren ve kütle ayrım mekanizmasına iyon girişini ivmelendiren güç kaynağı.
iii. İstenilen iyonları seçen analiz mıknatısı.
iv. Pul boyunca doğrusal implantasyonu sağlayan ve huzmeyi tarayan testere dişi voltajlı huzme tarama elektrotları.
v. Aralığı (aperture) tanımlayan bölgeyi içeren hedef odası. Faraday kafesi akım ölçmek ve pul besleme mekanizmasını ölçmek için kullanılır. [13]




**Şekil 2. 18. İyon implantasyon sisteminin şeması [13]**

### 2.1.6 Kuru Aşındırma Cihazları

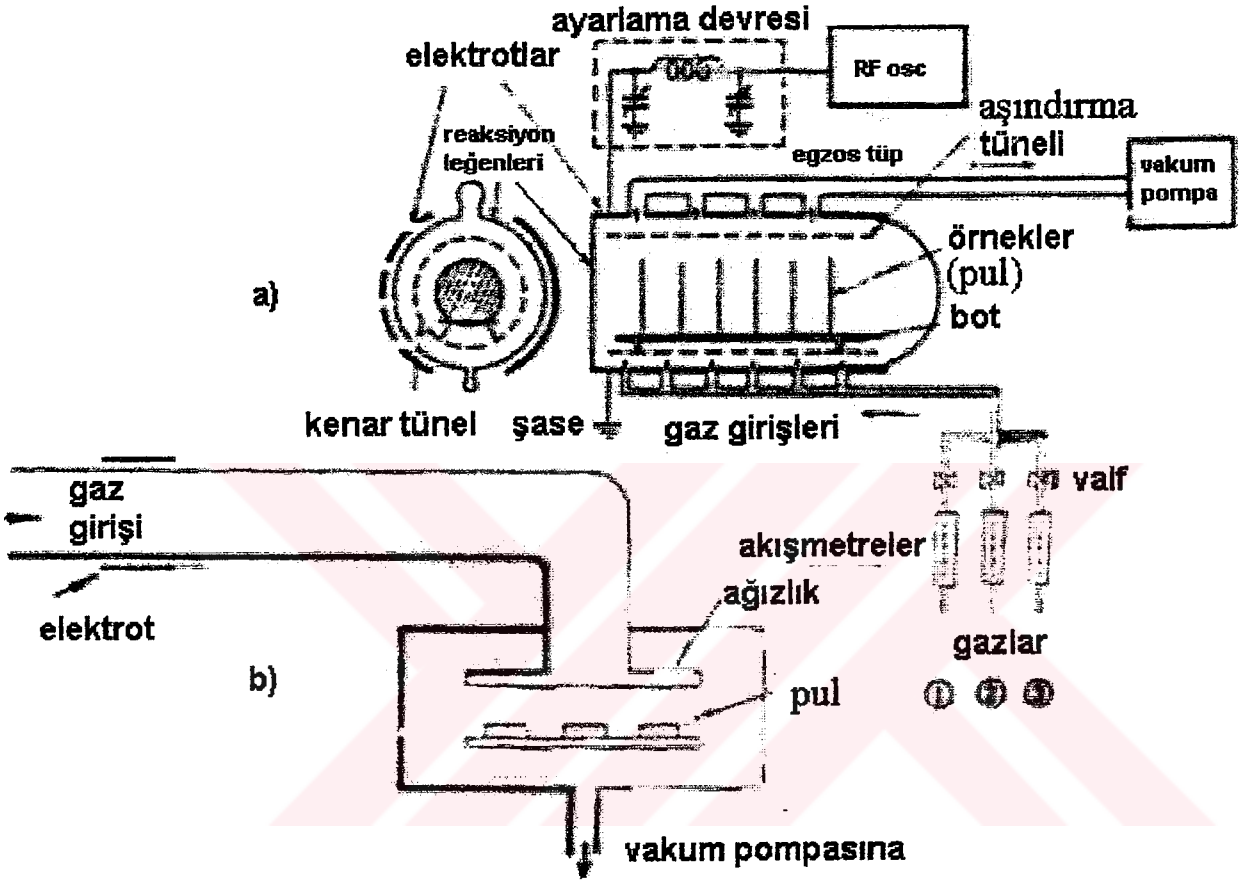
Plazma aşındırma sistemi bir çok elemandan oluşur: a)bir aşındırma odası, b)basınç sağlayan bir pompalama odası, c)odadaki basıncı gösteren basınç ayarları, d)basınç ve akış oranının kontrolünü sağlayan pompa ve aşındırma odası arasındaki değişken iletkenlik, e)deşarj üreten RF güç kaynağı, f)reaksiyon gazlarının akış kontrolünü ve ölçümünü sağlayan gaz tutma kabiliyeti ve g)elektrotlar. Bu elemanları içeren, işlem parametrelerine ve özel uygulamalara bağlı bir çok konfigürasyon vardır. Bu bölümde önemli plazma aşındırma/RIE (Reacrive Ion Etching:RIE) aşındırma sistem konfigürasyonları incelenecektir. Bununla birlikte bazı uygulamalar, avantaj ve sınırlamalar da verilecektir: 1)kovan aşındırıcı, 2)aşağı buhar aşındırıcı, 3)paralel elektrot reaktör aşındırıcı, 4)yığınlı paralel elektrot aşındırıcı, 5)altılı yığın aşındırıcı ve 6)magnetron iyon aşındırıcı.

#### 2.1.6.1 Kovan Aşındırıcı

İlk ve en basit plazma aşındırıcı kovan aşındırıcıdır. (Şekil 2.19 a). Bu konfigürasyon genellikle kuvarstan yapılan ve silindirin alt ve üst kısmına yerleştirilen metal plakalar ile RF güç kaynaklı bir silindirik reaksiyon leğeninden oluşur. Delikli metal silindirik aşındırma tüneli aşındırma odasına yerleştirilir. Bunun görevi aşındırma tüneli ile oda duvarı arasındaki bölgede deşarjı sınırlamaktır. Pullar silindirin merkezindeki bota veya tutucuya yerleştirilirler ve genellikle elektrik bağlantı yapılmaz. Deşarj ile üretilen reaksiyon malzemeleri aşındırma tüneli içindeki bölgeye yayıldığı halde plazmanın elektronları ve enerjili iyonlar bu bölgeye girmezler. Plazmanın reaktif malzemeleri aşındırmak üzere yüzeye yayılırlar ve iyonik bombardıman olmadığından aşındırma tamamen saf kimyasaldır. Sonuç olarak, aşındırma izotropiktir. Sınırlı ve zararlı radyasyonsuz iyi seçicilik elde edilebilir. Bir çok kovan aşındırıcı kuru aşındırmanın (0.5-2.0)torr yüksek basıncında çalıştırılır. İyon bombardımansız işlemlerde kovan aşındırıcılar tercih edilir. Al gibi bazı malzemeler kovan aşındırıcı ile aşındırılamazlar.

### 2.1.6.2 Aşağı buhar Aşındırıcı

Aşağı aşındırıcı ismini reaktif malzemelerin plazmada üretilmesinden alır. Reaktif malzemeler plazmanın aşağısındaki aşındırma odasına transfer edilir(Şekil 2.19.b). Bu konfigürasyon için gerekli kimyasal malzemeler mikro dalga kaynağı kullanılarak üretilir. Reaktif malzemeler kovan reaktörde olduğu gibi aşındırma bölgesinin dışında üretildiği için sıcaklık kontrolü ve radyasyon hasarları problemlerini ortadan kaldırır. Bu sistemler yüksek basınçta (0.5-2.0)torr çalıştırılırlar.



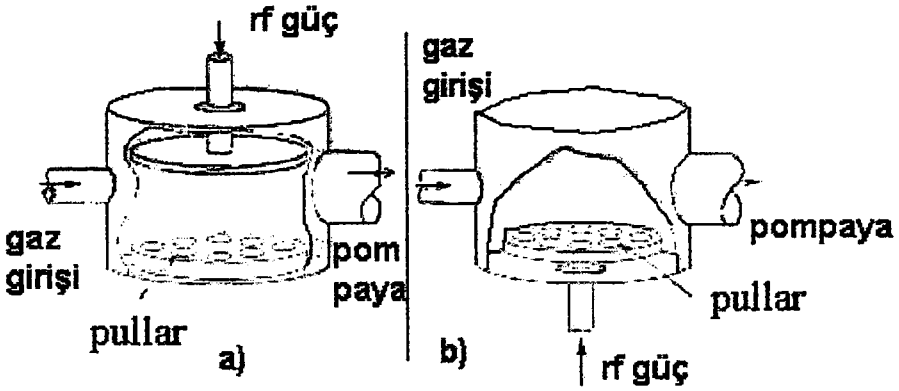

**Şekil 2. 19. (a)Kovan aşındırıcı (b)aşağı buhar plazma aşındırıcı şeması [12]**

### 2.1.6.3 Paralel Elektrot Reaktör

Paralel elektrot sisteminde elektrotlar planar ve halka şeklinde olup yaklaşık olarak aynı boyuttadırlar. Planar reaktör konfigürasyonunun iki elektrotundan biri RF güç kaynağına diğeri şaseye bağlanır. Pullar herhangi bir elektrota yerleştirilebilir(Şekil 2.20). Böyle bir sistemde pullar şase elektrotuna yerleştirilerek aşındırıldığında sistemin "**plazma aşındırma modunda**" çalıştığı söylenir. Pullar RF güç elektrotuna yerleştirildiğinde bu sistemin "**reaktif iyon aşındırma (Reactive Ion Etching: RIE) modunda**" çalıştığı söylenir. Plazma potansiyeli şasenin üstünde olduğundan plazma ile şase elektrotu arasında potansiyel fark oluşur. Plazma aşındırma modunda, pullar RIE modundan daha az enerjili iyon bombardımanına tabi tutulurlar. Örneğin; plazma aşındırma modunda iyon bombardımanı enerjisi (1-100)eV iken RIE modunda (100-1000)eV tur. Plazma aşındırma modunda odanın duvarları da şaselendiğinden sadece güç elektrotu enerjili pozitif iyon bombardımanına tabi

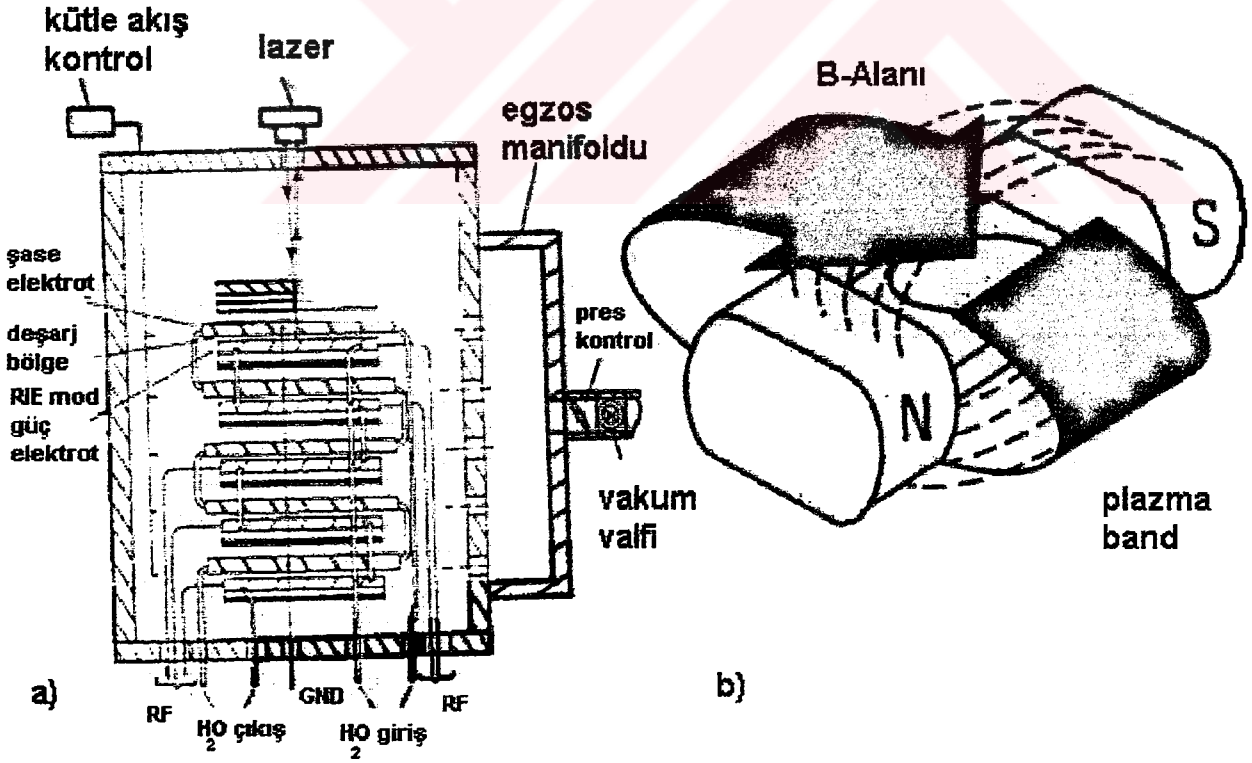
tutulur. Bundan dolayı, pul üzerinde çok az saçılma olur. Böyle sistemlerde her iki mod aşındırma fiziksel ve kimyasal mekanizmalardan etkilenirler. RIE mod düşük basınçta gerçekleşirken (<100 mtorr) plazma aşındırma > 100 mtorr' da gerçekleşir.

Yığın veya tek pullu sistemler paralel elektrot konfigürasyonlu olabilirler. Yığın sistemler elle beslenirler ve plazma aşındırma ve RIE modda çalışabilirler. Bu da bu sistemlere esneklik kazandırır. Bu sistemlerin bazıları düşük frekanslı (450KHz) güç kaynağı ile çalışabilirler.




**Şekil 2. 20. Paralel elektrot kuru aşındırıcı (a)plazma aşındırma mod (b)reaktif iyon aşındırma (RIE) mod [12]**

### 2.1.6.4 Yığınlı Paralel Elektrot Aşındırıcı



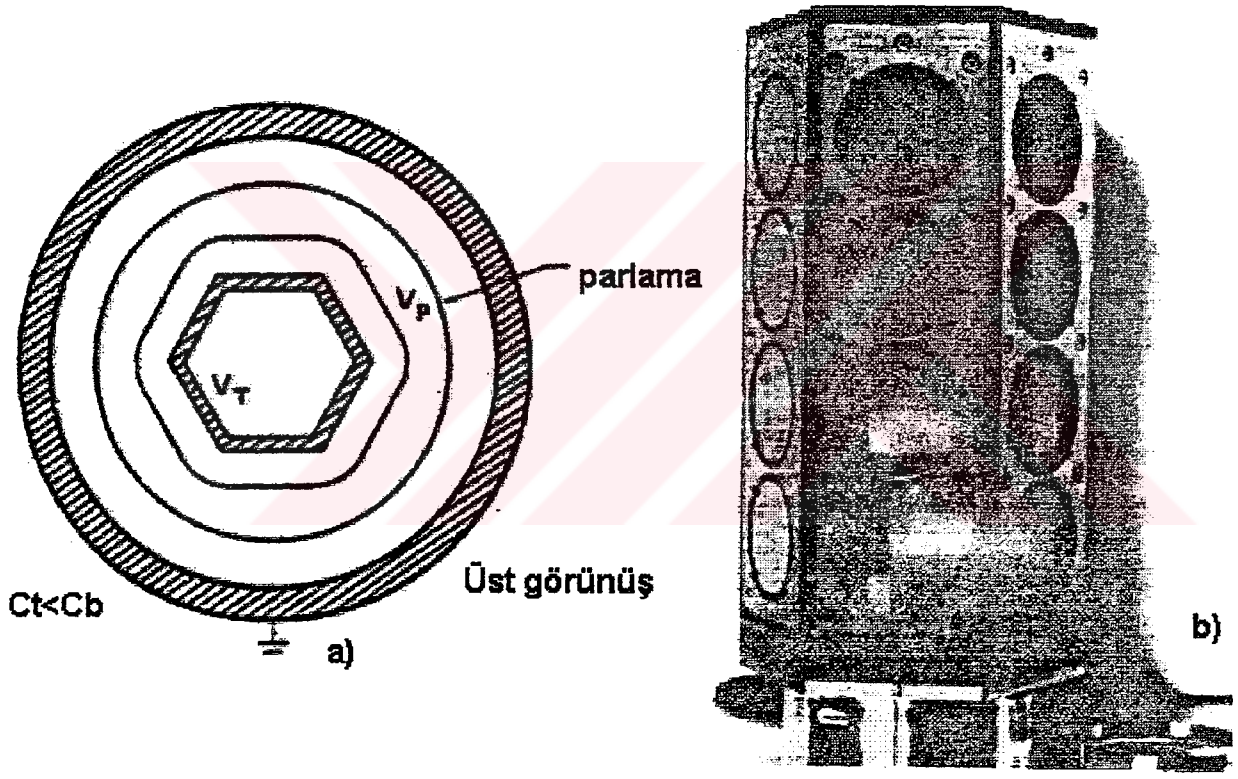

**Şekil 2. 21. (a)Yığın elektrot aşındırıcı (b)magnetron iyon aşındırma sistemi [12]**

Yığınlı paralel elektrot aşındırıcı altı pul alabilen küçük bir yığın makinesidir. Benzersiz tasarımı sayesinde her bir pul için bir elektrot çifti kullanılır(Şekil 2.21). Böylece tek pul ve

yığın aşındırıcının bazı avantajlarına sahip olur. Oda basıncı ve RF güç yoğunluğu, düşük basınçlı, düşük güç yoğunluklu altılı yığın aşındırıcı ile yüksek basınçlı, yüksek güç yoğunluklu tek pul RIE makineleri arasında tutulur. Kaset ile çalışan sistem yük kilitlemeye müsaade etmez. Bu makinenin ana uygulamaları $SiO_2$, $Si_3N_4$ ve poli Si aşındırmadır.

### 2.1.6.5 Silindirik Yığın Aşındırma Reaktörü (Altılı Aşındırıcı)

Silindirik yığın aşındırıcı altıgen elektrot ile tasarlanır. Oda duvarı karşı elektrot olarak davranır(Şekil 2.22). (24-150) mm pullar altıgen elektrota monte edilebilir. Bu elektrota güç uygulanırken diğer elektrot (oda duvarı) şaselenir. Sonuçta altıgen elektrot alanı şase elektrot alanından daha küçük (genellikle ½ bölge)tür. Bu güç elektrotundaki iyon bombardımanı şase elektrotundaki veya diğer oda yüzeyindeki iyon bombardımanını azaltan asimetrik bir iyon bombardımanıdır. Altılı aşındırıcılar RIE modda çalışırken plazma aşındırma modunda çalışamazlar. Bir çok altılı modeller yük kilitlemeli değildir. Elle yüklenmelidirler. Bazı yeni modeller yük kilitlemeli olup robot ile otomatik yüklemeye tabi tutulurlar. Yük kilitlemesiz modellerde su buharı pompalama sistemleri ile atmosfere atılır. Aşındırma düşük basınç (20-100)mtorr ve düşük güç yoğunluğunda gerçekleşir.




**Şekil 2. 22. (a)Altılı yığın aşındırıcı elektrotunun şeması (b) altılı yığın aşındırıcının fotoğrafı [12]**

### 2.1.6.6 Magnetron İyon Aşındırma

Magnetron iyon aşındırıcı (MIE) tek pul makinesidir. Saçılma oluşturmadaki magnetron prensibinin düşük gaz basınçlı plazma aşındırıcı elektron ateşleme işlemine uyarlanmasıdır. MIE tek pul aşındırıcıdan daha düşük güç ve basınçta, yüksek reaksiyon malzemeleri üretimi ve aşındırılacak yüzeyin iyon bombardımanı gerçekleştirilebilir.


T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

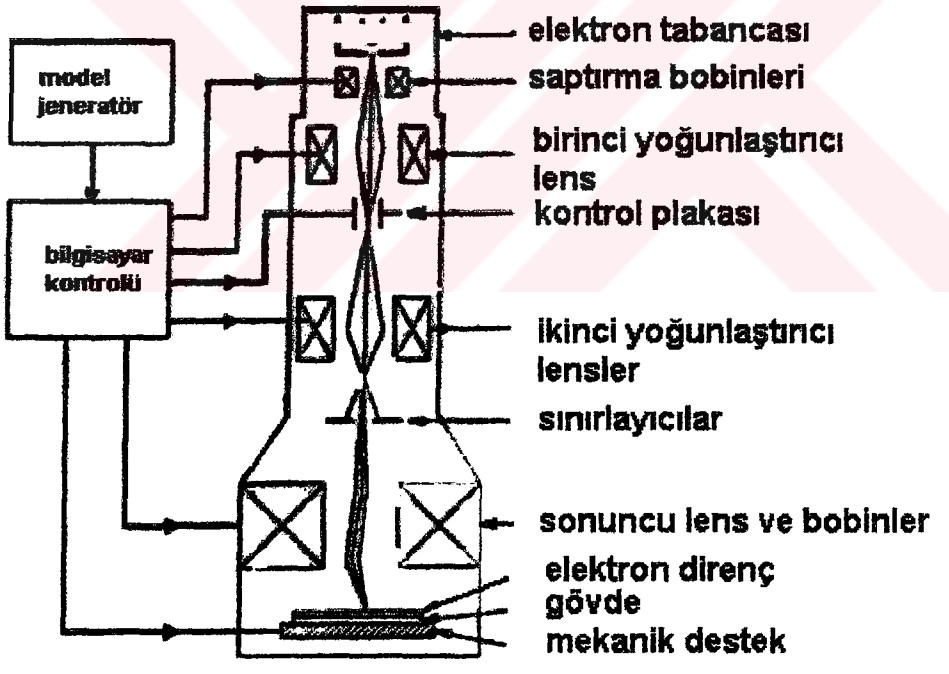
Şekil 2.21.b' de görüldüğü gibi katot pul üzerinde doğrusal manyetik alan oluşturmak için bir şerit magnetron kullanılır. Bu malzeme katot tarafından yayılan elektronların deşarj bölgesinden toplanma yüzeyine geçişini önler. Bu elektronlar düşük basınçta gaz parçacıkları ile çarpışarak iyonize olurlar. %5 doğrusallığa sahip 125 mm pul düşük voltajlı, çeşitli floro karbon gaz karışımlı ve 6000°A /dk. $SiO_2$ oranınlı aşındırma ile elde edilebilir. 1μm/dk. poli Si aşındırma $SF_6/CF_4$ gaz karışımı kullanılarak elde edilebilir.

### 2.1.7 Litografi Teknolojisi

Genellikle kullanılan optik litografi çözünürlüğü 1μm ±0.3μm (3σ) dır. Bu sınırların ötesinde litografi modeli geliştiren optik litografi teknikleri a)0.375μm ve ±0.05μm çözünürlüklü e-huzme litografi, b) 0.25μm ve ±0.3μm çözünürlüklü x-ışınlı litografi ve c) 0.2μm çözünürlüklü iyon huzme litografidir.

#### 2.1.7.1 Elektron Huzme Litografi Sistemi

Elektron huzme litografi (Electron Beam Litography: EBL) sistemleri e-huzme ile seri şekilde direnç pozlandırma işlemini dayanır. Şekil 2.23' de EBL sisteminin ana özellikleri gösterilmektedir. Sistemde beş temel alt sistem vardır: 1)elektron kaynağı (veya tabancası), 2)elektron düzeni, 3)mekanik destek, 4)pul tutma sistemi ve 5) kontrol bilgisayarı.



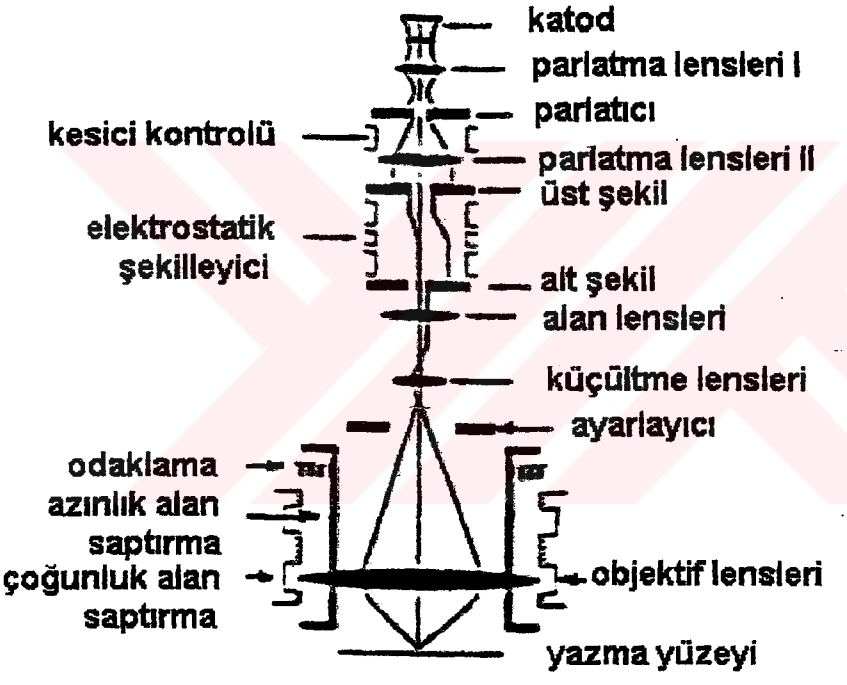

**Şekil 2. 23. Elektron huzme makinesinin şeması [12]**

E-huzme üretildikten sonra küçük çaplı bir noktaya odaklanır. Direnç pozlandırma süresini kısaltmak için odaklanan noktanın akım yoğunluğu yüksek olmalıdır. Elektron huzmesi elektron kaynağı ile üretilir. EBL sisteminde iki çeşit elektron kaynağı vardır: a)termo-iyonik kaynak ve b)alan-emisyon kaynak. Termo-iyonik kaynaklarda malzeme elektronların yayılacağı sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu uygulama için kullanılan malzemeler W(Tugsten) ve $LaB_6$ ' dır. Kararlı akım ve vakum koşullarındaki toleranstan dolayı W kaynakları çok yaygın olarak kullanılır. Bu kaynaklar, $LaB_6$ kaynaklarından $1.10^5$-$3.10^5$ ($A/cm^2$)/steradyan düşük

işlem fonksiyonuna ve $10^6$ ($A/cm^2$)/steradyan parlaklığa sahiptir. Bununla birlikte, $LaB_6$ kaynakları düşük kararlılığa sahip çok iyi vakum koşullarında kullanılırlar. $LaB_6$ kaynakları, büyük alana yayıldıklarından gölgeli huzme sistemlerinde ve avantajlarından dolayı EBL sistemlerinde standart yayıcı olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin; MEBES III sistemi $LaB_6$ kaynağı kullanır.

Alan emisyon kaynağında elektronları yüksek elektrik alanı çıkarır. Gaussian noktası oluşturulur. Bu kaynaklar termal yayıcılardan daha parlaktırlar($10^8$-$10^9$ ($A/cm^2$)/steradyan). Üretilmeleri zordur ve yüksek vakum (($10^{-8}$-$10^{-10}$ )torr) gerektirirler.

Elektron düzeni minimum şu elemanlardan oluşur: a)elektron kaynağı, b)huzmeyi büyütmek, küçültmek ve odaklamak için kullanılan çeşitli lensler, c)huzmeyi açıp kapatan huzme kontrolü, d)huzmeyi şekillendiren ve sınırlandıran çeşitli düzenekler ve e)gövdede huzmeyi yönlendiren huzme saptırma sistemi. Şekil 2.24 Perkin-Elmer AEBLE-150 direk yazma sisteminde kullanılan elektron düzeneğinin şemasını göstermektedir. Bir çok termo-iyonik elektron kaynakları katottan (10-100)μm çapında elektronlar ürettiğinden mikron altı noktalar elde etmek için huzme çapı (100-1000) kat elektron-optik azaltma lensleri ile küçültülmelidir.




**Şekil 2. 24. Perkin-Elmer AEBLE-150 sisteminde kullanılan elektron düzeneği [12]**

Mekanik bir düzenek tüm pul yazılırken (örneğin; 150mm çap) gövdeyi e-huzme altında konumlandırmak için kullanılır. Düzeneğin durumu her zaman çok iyi bilinmelidir. Bu pozisyon lazer iterferometre (interferometer)ile genellikle 1/64 μm' den daha iyi bir şekilde kontrol edilir. Modeller düzenek pozisyonu belirlendikten sonra yazıldığından düzeneğin hızı sistemin verimini etkiler. Düzenek pozisyonu her hangi bir anda saptırma sistemi ile doğru olarak saptanabilir. AEBLE-150 10cm/sn hız ve 2mm adım işlemede 50msn adım zamanı, 0.5μm pozisyon hassasiyetine sahip >200Hz' de titreşimsiz bir düzenektir.

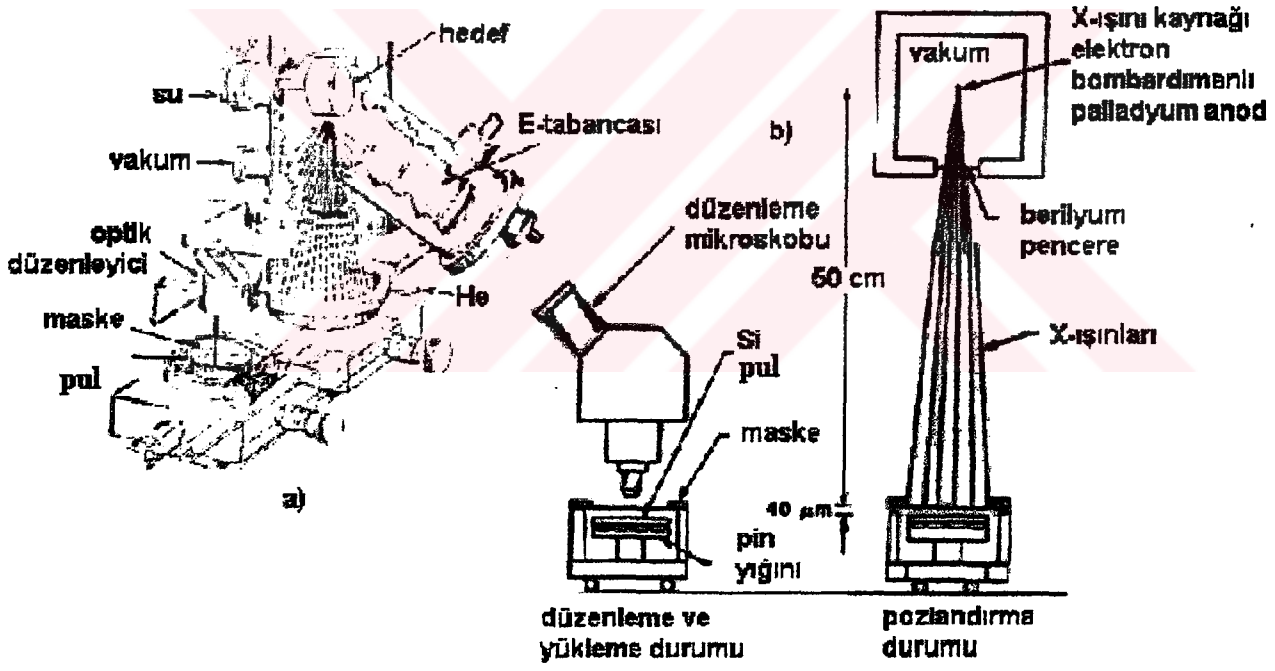
EBL sisteminin önemli bir özelliği de otomatik pul tutma ve gerektiğinde pulu huzmeye besleme kabiliyetidir. Böyle tutma sistemleri pulları ön ayarlamaya tabi tutarlar ve vakum azaltılmaksızın düzeneğe yerleştirirler. AEBLE-150 pul tutma sistemi 150mm çaplı 25 pul

kasetine sahiptir. Pul kasetten alındıktan sonra x, y ve z eksenlerine göre pul yerleştiriciye gönderilir. Gövde değiştirme 30sn' den az bir sürede gerçekleşir. Pul odadaki elektrostatik kuvvet ile tutulur. Pozlandırma tamamlandıktan sonra palet geri çekilerek yükleme kaseti dışarı çıkarılır. Daha sonra yeni pul yüklenir.

Bu alt sistemlerde işlemler doğru olarak gerçekleştirilmelidir. Bunun için bilgisayar sistemi kullanılır. Sistem gerçek zamanlı olarak çalışır. Bilgisayar düzenek durumunu, düzeneği, huzme büyüklüğünü, pozlandırma zamanını, düzenleme ve kalibrasyonu kontrol eder. Aynı zamanda huzme kalitesini belirleyen nokta şeklini ve büyüklüğünü görüntüler. Model bilgileri hızlı bir şekilde saptırma ve kontrol işlemine gönderilir. Yüksek performanslı sistemler bilgisayar sayesinde mümkün olmaktadır.

### 2.1.7.2 X-Işınlı Litografi

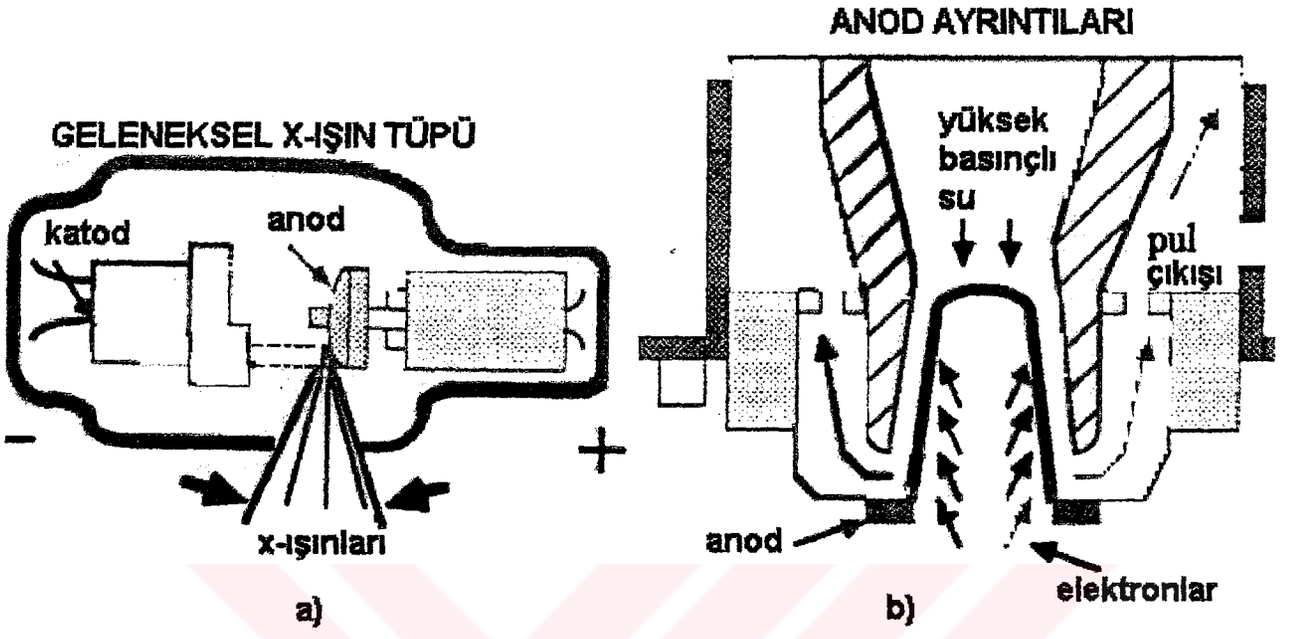
Şekil 2.25, X-ışınlı litografi sisteminin şemasını göstermektedir. X-ışınlı litografinin ana avantajı yüksek verimde (örneğin; 150mm 40-50 pul/saat) yüksek çözünürlüğe (0.5μm) sahip olmasıdır. Bu sistem odaklama problemlerini ortadan kaldırır. Optik ve e-huzme litografideki yansıtma ve saçılma etkisi yoktur.




**Şekil 2. 25. (a)x-ışınlı pozlandırma sistemi (b)x-ışınlı litografi sisteminin şeması [12]**

X-ışınlı tüpler en basit X-ışınlı kaynaklardır. Böyle tüplerle yüksek enerjili elektronlar (örneğin; 25keV) metal hedefe (örneğin; Palladyum) odaklanabilir. X-ışınları kaybı %1' den daha azdır. Elektron enerjisi hedefi ısıtır. X-ışınının gücü hedefin ısıyı dağıtma kabiliyeti ile belirlenir. Böyle ısıtma sistemi hedefin su ile soğutulmasını gerektirir. En genel kullanılan X-ışın tüpü çevrilmiş koni geometrisidir. Böylece en küçük ve simetrik nokta alanlı en büyük yüzey bölgesi oluşturulur(Şekil 2.26). Bu çeşit kaynaklar 3mm noktada 4-7kW harcarlar. Bu teknolojinin geliştirilmesi ile 1.5mm nokta ve 6kW kaynak üretilebilir. Güç yoğunluğu tüm pulun pozlandırılması için yeterlidir, fakat adım ve tekrarlamaya uygun değildir.

X-ışın kaynağına diğer bir alternatif senkrotron radyasyonudur (synchrotron radiation). Senkrotron radyasyonu elektronları radyal hızlanma ile yayarak orbit depolama halkasında veya senkrotronda tutarlar. Kaynağın ana dezavantajı maliyetidir. Bu maliyet çok portlu sistemlerde 10 milyon Doları (ABD) aşmaktadır.




**Şekil 2. 26. (a) Geleneksel x-ışın tüpü (b) sabit anotlu x-ışınlı tüp [12]**

Üçüncü bir yaklaşım ise lazer plazma kaynağıdır. Lazer plazma kaynağı olarak IR lazer veya UV lazer kullanılır(sinyal genişliği 10ns-50ns arasında değişir.). Huzme hedefe odaklanarak X-ışını, radyasyonu sağlayacak yeterli sıcaklıktaki plazmayı üretir. Bu yaklaşımın avantajları güç kaynağının uzaktan kumandalı olması, temiz oda alanının azaltması ve elektromanyetik karışımların önlenmesidir.

### 2.1.7.3 İyon Huzme Litografi

İyon huzmeleri odaklanmış iyon huzme (Focused Ion Beam:FIB) ve akıcı iyon huzme(Sowered Ion Beam:SIB) modlarında kullanılır. SIB teknolojisine örnek olarak aşındırma, saçılma oluşturma ve iyon implantasyonu verilebilir. FIB teknolojisine örnek ise iyon litografi ve direk iyon implantasyonudur. Si işleminde FIB uygulaması yeni olmakla beraber, ABD, Japonya ve Avrupadaki laboratuar ve üniversitelerde bu tekniğin potansiyel avantajları araştırılmaktadır.

FIB sistemi iyon kaynağı, kontrol sistemi, saptırıcılar ve elektrostatik lenslerden oluşur. İyon huzmesinin elektron huzmesinden üstün özellikleri a)geri saçılma etkisinin azalması ve b)iyon huzme direncinin e-huzme direncinden daha hassas olmasıdır. Bu avantajlar ile yüksek çözünürlük sınırı iyon huzme litografi ile belirlenir. Diğer taraftan, dirençte iyon huzme geçişi sadece 300-500 °A olduğundan üç seviyeli işlem gerektirir.

FIB sistemi nokta büyüklüğü, nokta adımı, saptırma frekansı, alan büyüklüğü ve yazma hızı ile belirlenir. İyonların büyük bir kısmı elektrostatik lens odaklamayı sınırlar ve elektron huzme sisteminden daha düşük saptırma hızına sahiptir.

Bu teknolojinin ana dezavantajı mevcut iyon kaynaklarının güvenirliğidir. Bu kaynaklar a)gaz alan kaynakları, b)sıvı metal kaynakları ve c)plazma kaynaklarıdır. Gaz alan kaynakları iyon litografide kullanılırken sıvı metal kaynakları tüm iyonların kullanılmasına müsaade eder. Plazma kaynakların verimi yüksektir. Direnç malzemeleri iyonlarda diğer elektron ve X-ışınından daha yüksek hassasiyete sahiptir.

FIB teknolojisinin önemli bir uygulaması direk iyon implantasyonu veya maske ve direnç olmaksızın katkılamadır. Böylece katkılama işlemlerindeki bir çok kusur önlenebilir. Diğer avantajları a)yatay katkılama profillerinin üretimi, b)aynı pulda farklı elemanların bulunması, ve c)huzmenin yüksek akım yoğunluğundan kaynaklanan düşük sıcaklıklı yumuşatma özelliğidir. Bu teknolojinin ana dezavantajları düşük verim (1% iyon implantasyon ) ve sıvı metal kaynaklarının düşük güvenirliğidir. [12]

### 2.1.8 İzolasyon

#### 2.1.8.1 Film Oluşturma

Çeşitli malzemelerin ince filmlerinin pul yüzeyine oluşturulmasında birkaç fabrikasyon adımı gereklidir. Bu bölümde metal, Si, $SiO_2$ ve $Si_3N_4$ gibi dielektrik malzemelerin oluşturulmasında kullanılan buharlaştırma, CVD ve saçılma işlemlerini içeren oluşturma teknolojileri incelenecektir. Buharlaştırma ve saçılmada düşük basınçla çalışan vakum sistemleri kullanılırken CVD ve epitaksi düşük ve atmosfer basıncında gerçekleştirilebilir.

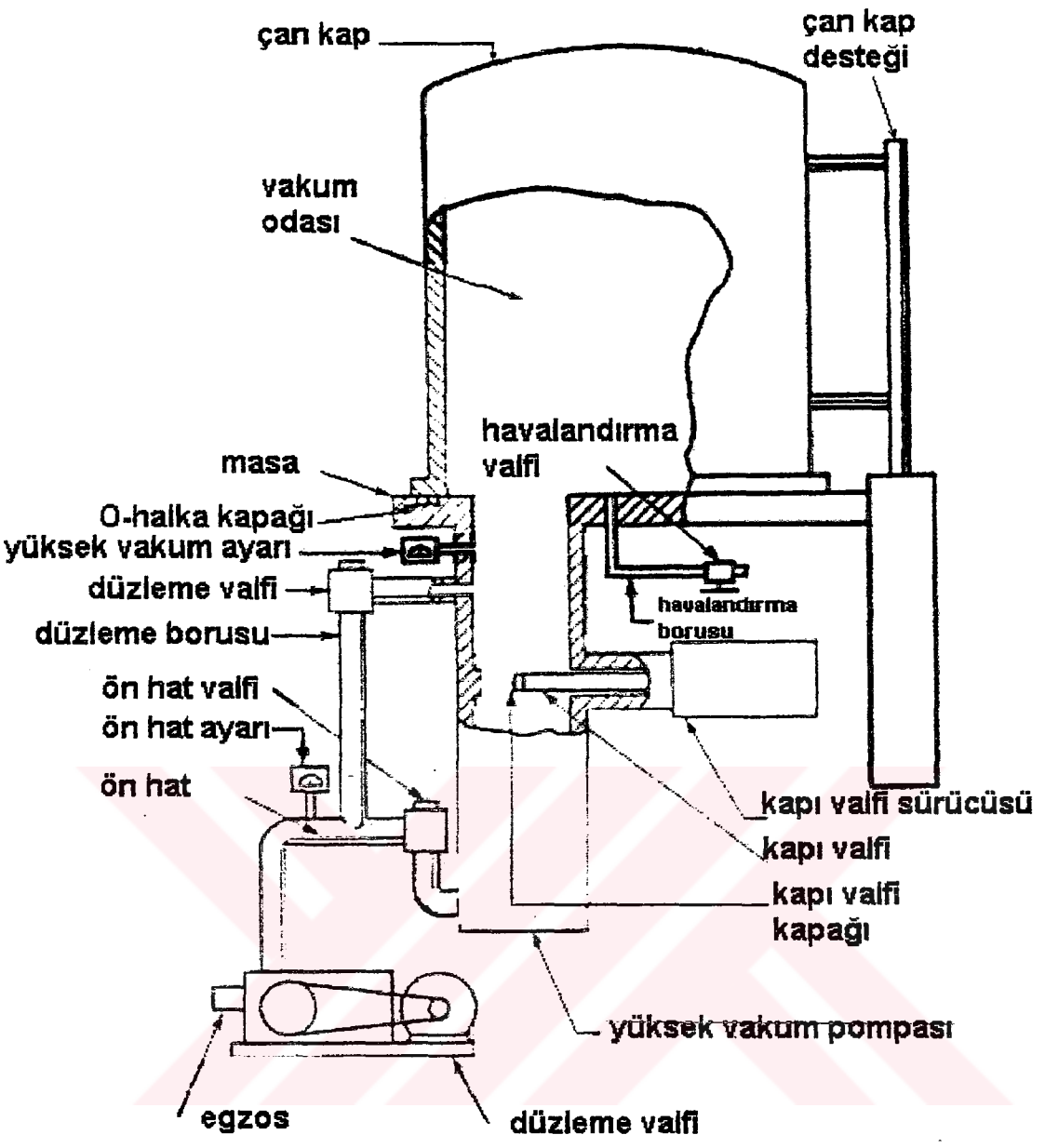
#### 2.1.8.2 Buharlaştırma

Fiziksel oluşturma en eski metal film oluşturma metotlarındandır. Al ve Altın buharlaştırılarak Si pulun yüzeyini kaplayan ince bir film oluşturulur. Oluşturulan malzemenin bileşimini kontrol etmek için buharlaştırma vakum koşulları altında gerçekleştirilir.

Şekil 2.27 vakum odası, mekanik düzleme pompası, bir difüzyon pompası veya turbo-moleküler pompası, valfler, vakum ayarları ve diğer aletlerden oluşan temel bir oluşturma sistemini göstermektedir. Çalışmada, önce düzleme valfi açılır ve mekanik pompa vakum odasının basıncını yaklaşık 1 Pascal orta vakum seviyesine düşürür (1 Atm=760mm Hg=760 torr=$1.013*10^5$ Pa. 1 Pa=$1N/m^2$=0.0075torr). Yüksek vakum seviyesi gerekli olursa düzleme valfi kapatılır ve yüksek vakum valfi ile hat valfi açılır. Düzleme pompası çıkış difüzyon pompası üzerindeki vakumu kontrol eder. Sıvı N (Nitrojen, Azot) (77K) soğuk tuzak difüzyon pompası ile kullanılarak vakum odasının basıncı yaklaşık olarak $10^{-4}$ Pascala düşürülür. İyon ve termokupl ayarlar vakum sistemindeki nokta sayısının basıncını gösterir ve diğer bir çok valf sistemi atmosferik basınca döndürmek için delik olarak kullanılır.



MARMARA ... BİLİMLERİ ENS...




**Şekil 2. 27. Temel oluşturma sisteminin şeması [14]**

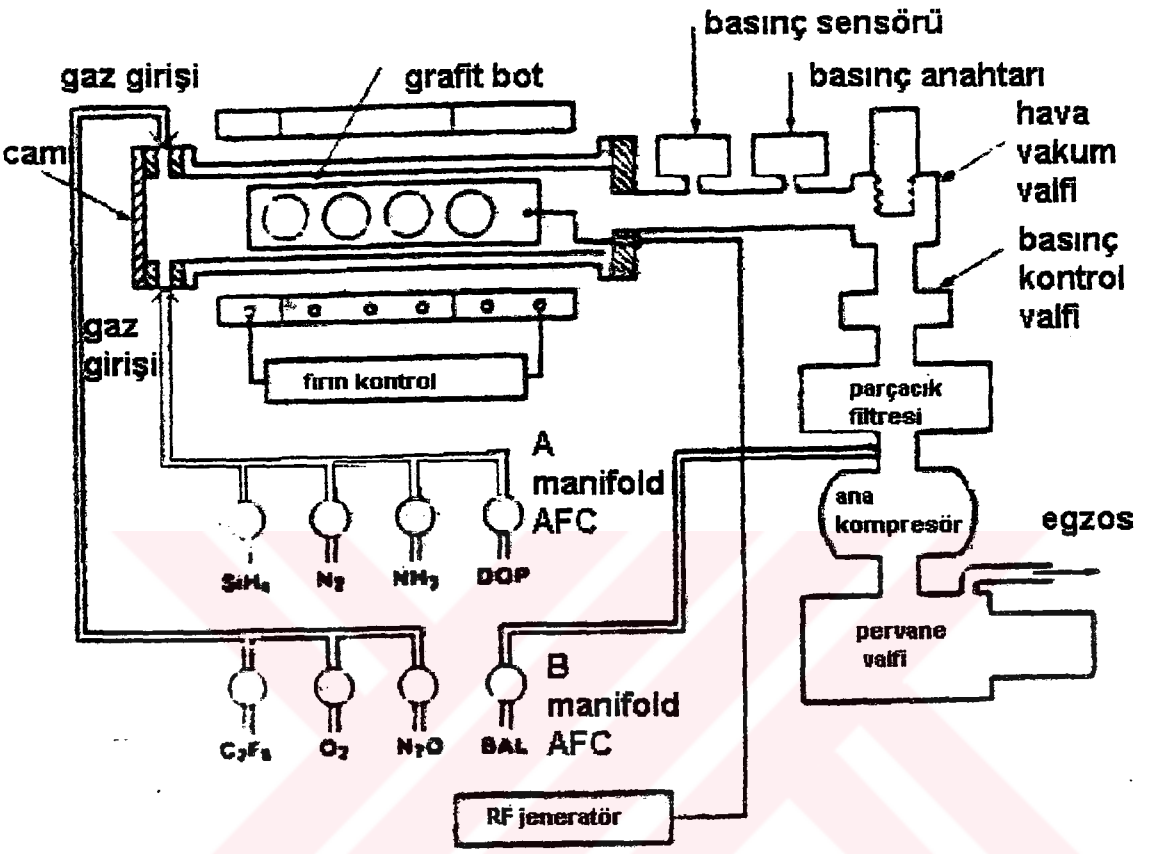
### 2.1.8.3 Kimyasal Buhardan Oluşturma (CVD)

CVD' de ince filmler gövde yüzeyine ısı oluşturma veya gaz bileşiklerinin reaksiyonu ile oluşturulur. İstenilen malzeme direk olarak gaz fazında gövde yüzeyine oluşturulur. Poli Si, $SiO_2$ ve $Si_3N_4$ CVD tekniği kullanılarak oluşturulur. Bununla birlikte, Tungsten (W) de CVD ile oluşturulabilir.

CVD gaz moleküllerinin kısa yollar bulabileceği basınçta gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıkta topolojide aşırı uyumlu profiller oluşur. [14]

### 2.1.8.3.1 CVD Sistemleri

Bir CVD sisteminin şematik diyagramı Şekil 2.28' de gösterilmiştir. Gerçekte bu plazma CVD (Plasma Enhanced CVD:PECVD) sistemlerinde RF jeneratör, uyum ağı ve pompa yoktur. CVD reaktörler genelde reaktör odasına devamlı gaz geçişinin olduğu, kullanılan ve kullanılmayan gazların birlikte atıldığı açık-akış sistemleridir. Reaksiyon gazları $H_2$, $N_2$ veya Ar ile taşınır. Zararlı gazlar egzoz gaz akışı ile atılır.

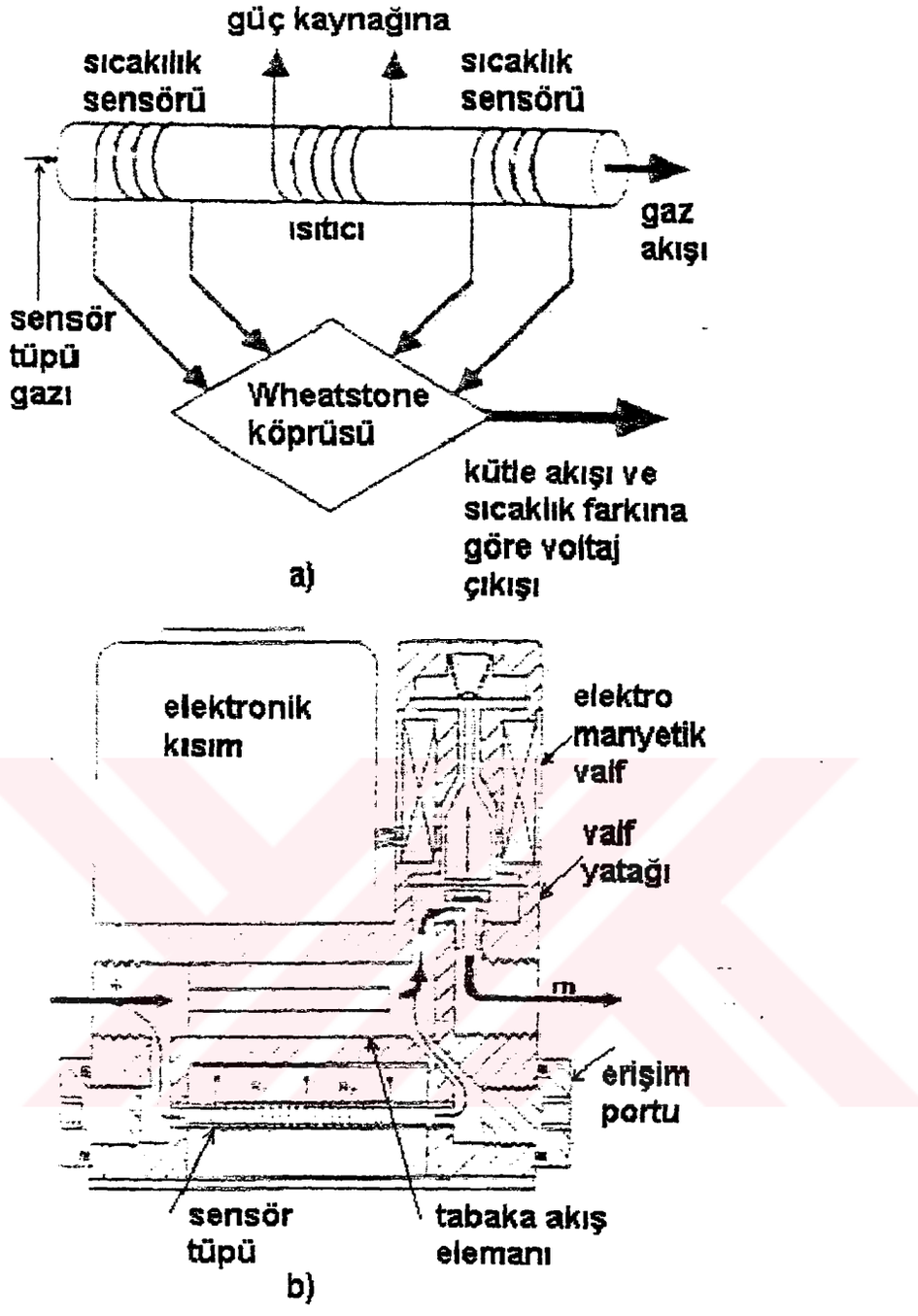



**Şekil 2. 28. PECVD sisteminin diyagramı [12]**

Genellikle CVD sistemleri şu elemanlardan oluşur: a)gaz kaynağı, b)gaz besleme katları, c)kütle-akış kontrolörleri (sisteme giren gazları ölçerler), d)bir reaksiyon odası (veya reaktör), e)filmin oluşturulacağı pulu ısıtan mekanizma(bazı sistemlerde ek enerji eklenmesi) ve f)sıcaklık sensörleri. LPCVD (Low Pressure CVD: LPCVD) ve PECVD bunlarla birlikte gazın atılmasını ve basıncı düzenleyen pompalara sahiptir.

### 2.1.8.3.2 Kütle-Akış kontrolörleri

CVD reaktörleri ve diğer işlemlerin sistemleri (örneğin; difüzyon fırınları) işleme giren gazların kontrol edilmesini sağlar. İşlem gaz akışı genel olarak direk kontrol edilir. Kütle-akış kontrolörü bir kütle akış metre, bir kontrolör ve bir valften oluşur. Belirtilen oranda gaz akışını sağlamak üzere gaz kaynağı ile oda arasına yerleştirilirler.




**Şekil 2. 29. Kütle akış kontrolörünün (a)çalışma prensibi**

**(b)kesit görünüşü [12]**

Kütle-akış kontrolörünün kalbi kütle akış metresidir. Kütle-akış metresi ikiye ayrılır: Diferansiyel basınç ve ısı tipi. Diferansiyel tipinde akış oranı akış sınırındaki basınç düşüşü ile ayarlanır. Isı tipi hızlı cevap zamanlı (örneğin; (2-3) sn) ve düşük maliyetli olduğundan yarı iletken uygulamalarında geniş olarak kullanılır.

Isı tipi kütle akış metresinin çalışma prensibi akan gazların ısı transferi kabiliyetine dayanır. Bir kütle-akış kontrolörünün şeması Şekil 2.29' da gösterilmektedir. Kütle-akış metresi, büyük gaz akış tüpüne paralel olan küçük bir sensör tüpünden oluşur. Isıtma bobinleri sensörler

etrafındadır. Sıcaklık sensörleri (genellikle direnç termometresi) ısıtılan noktaların alt ve üst kısmına yerleştirilir. Gaz akışı olmadığında ve ısı girişi sabit olduğunda her iki sensördeki sıcaklık eşittir. Gaz akışı sensör tüpünün sıcaklık dağılımını değiştirir. Isıtıcının alt kısmının sıcaklığı üst kısmından yüksektir. Her bir direnç termometresi Wheatstone köprüsünün dengesiz bir koluna bağlanır ve sıcaklık farkı voltaja çevrilir. Akış oranı belirlendikten sonra kontrolörün kurma değeri ile karşılaştırılır. Gerekli ise kontrolör valf değeri ayarlanarak akış belirlenen değerde tutulabilir.

Kütle-akış kontrolörün bazı özellikleri a)parazitik RF alanı bağışıklığı (örneğin; plazma cihazında), b)zararlı gazları sızdırmazlık, c)zararlı gaz hasarına dayanıklılık ve d)temizlik ve bakımının kolay olmasıdır.

### 2.1.8.3.3 CVD reaktörler

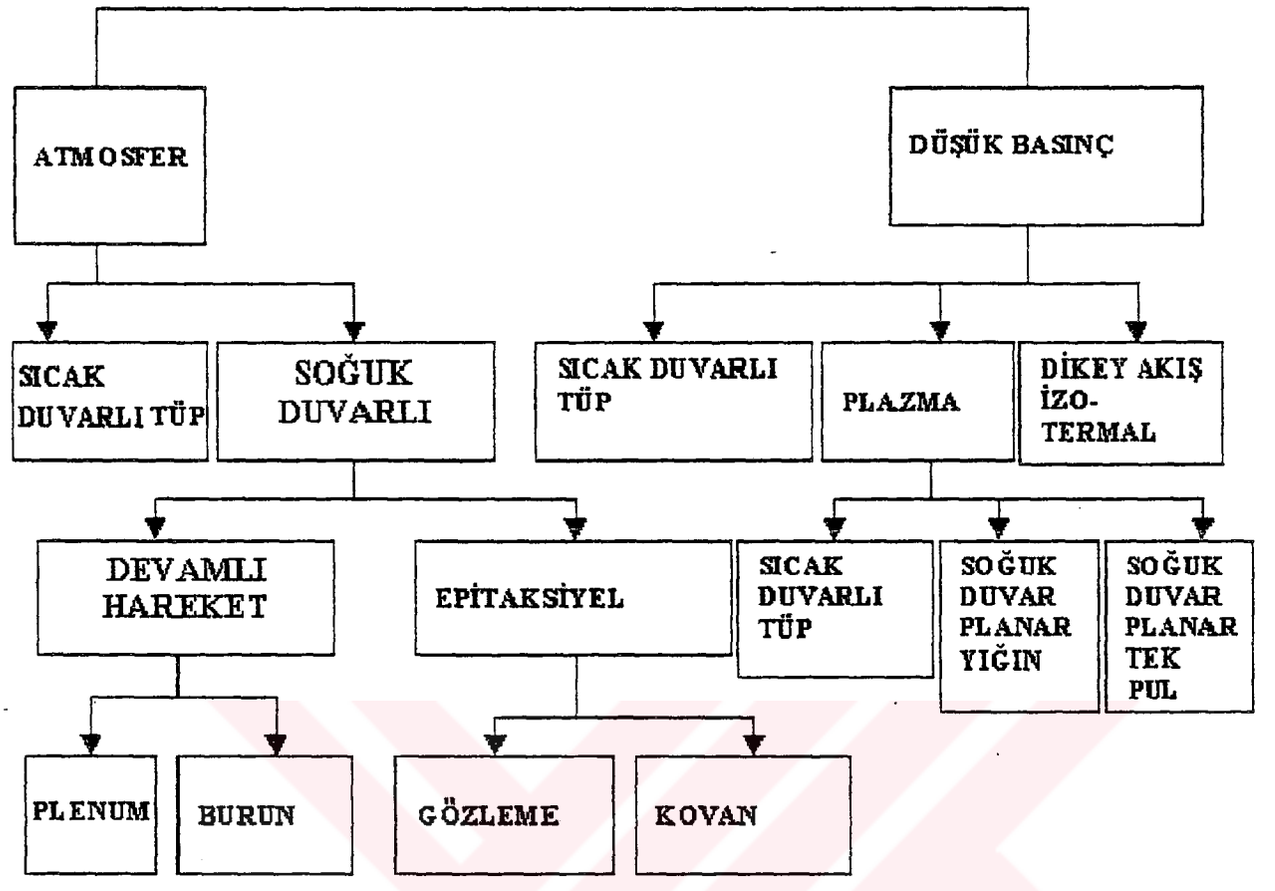
CVD reaktörlerin tasarım ve çalışması bir çok faktöre bağlıdır. Şekil 2.30 CVD reaktörlerin bir grubunu göstermektedir. Reaktörlerde birinci fark sıcak veya soğuk duvarlı olmalarıdır. Bu özellik pulları ısıtma yöntemine bağlıdır. İkincisi, çalışma basıncıdır: a)düşük basınçlı reaktörler (LPCVD:enerji tamamen ısıdır.) ve b)plazma CVD (PECVD: enerji kısmi olarak plazma ile sağlanır. ). Her bir reaktör yine reaktör konfigürasyonuna ve ısıtma yöntemine göre alt gruplara ayrılmaktadır.

Pulları ve tutucuları ısıtma yöntemlerinden dördü a)direnç ısıtma, b)RF ısıtma, c)plazma enerjisi ve d)foton enerjisidir. Enerji reaksiyon gazlarına veya gövdeye transfer edilebilir. Direnç ısıtma bobinleri reaksiyon tüpünü çevrelemişse hem pullar hem de reaksiyon odasının duvarları ısınacaktır . Bundan dolayı, "**sıcak duvar reaktör**" (hot-wall reactor) adını alacaktır. Bu sistemlerde film oluşumu hem reaksiyon odasında hem de gövdede olmaktadır. Bundan dolayı, bu sistemler sık sık temizlenmelidir.

RF veya reaktör içine monte edilen IR lambalar ile elde edilen enerji pul ve tutucuya aktarıldığından reaksiyon odasının duvarları ısınmamaktadır. Bundan dolayı, bu şekilde ısıtılan sistemlere "**soğuk duvarlı reaktör**" (cold-wall reactor) denir. Bununla birlikte, bazı soğuk duvarlı sistemler ısınmakta olduğundan duvarları soğutma önlemleri (örneğin; su ile soğutma) alınmalıdır.

Foton enerjili CVD (PHoton-induced CVD: PHCVD) yüksek enerjili ve yoğunluklu fotonlar kullanarak hem gövde yüzeyini ısıtır hem de reaksiyon gazlarını gaz fazına getirir. Gövde yüzeyinin ısıtılmasında reaksiyon gazları fotonlara açık olup gaz fazı reaksiyonu potansiyeli tamamen elimine eder. Foton enerjisi reaksiyon gazlarının uyarılmasında, enerjinin hem reaksiyon moleküllerine hem de bir katalizöre (örneğin; cıva buharı) transferi için kullanılabilir. Bu teknik oluşturma işleminin gövde sıcaklığından düşük (örneğin; oda) sıcaklıklarda gerçekleşmesini sağlar. PHCVD filmler iyi adım kaplamaya sahip olmakla beraber düşük sıcaklıktan dolayı düşük yoğunluğa ve moleküler kirliliğe sahiptirler. Enerji kaynağına bağlı olarak iki çeşit PHCVD reaktörü vardır: a)UV lamba ve b)lazer. UV lamba reaktörü foton ve reaksiyon yolları arasında enerji transferini sağlamak için genellikle cıva gazını kullanır. 2537°A' da UV radyasyonu cıva atomları tarafından toplanır ve enerji reaksiyon gazlarına transfer edilir. Oluşturma oranı diğer düşük sıcaklıklı tekniklere oranla daha yavaştır. Lazer PHCVD reaktörü frekans ayarlı ve yüksek yoğunluklu ışık kaynağı kullanmaktadır. Ayarlanabilirlik oluşturma reaksiyonunun kontrolünü sağlar. Yüksek yoğunluklu lazer enerjisi reaksiyon oranını artırır. Lazer PHCVD CVD yazma (yani lazer kontrolü ile model oluşturma ) olasılığını da beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte,

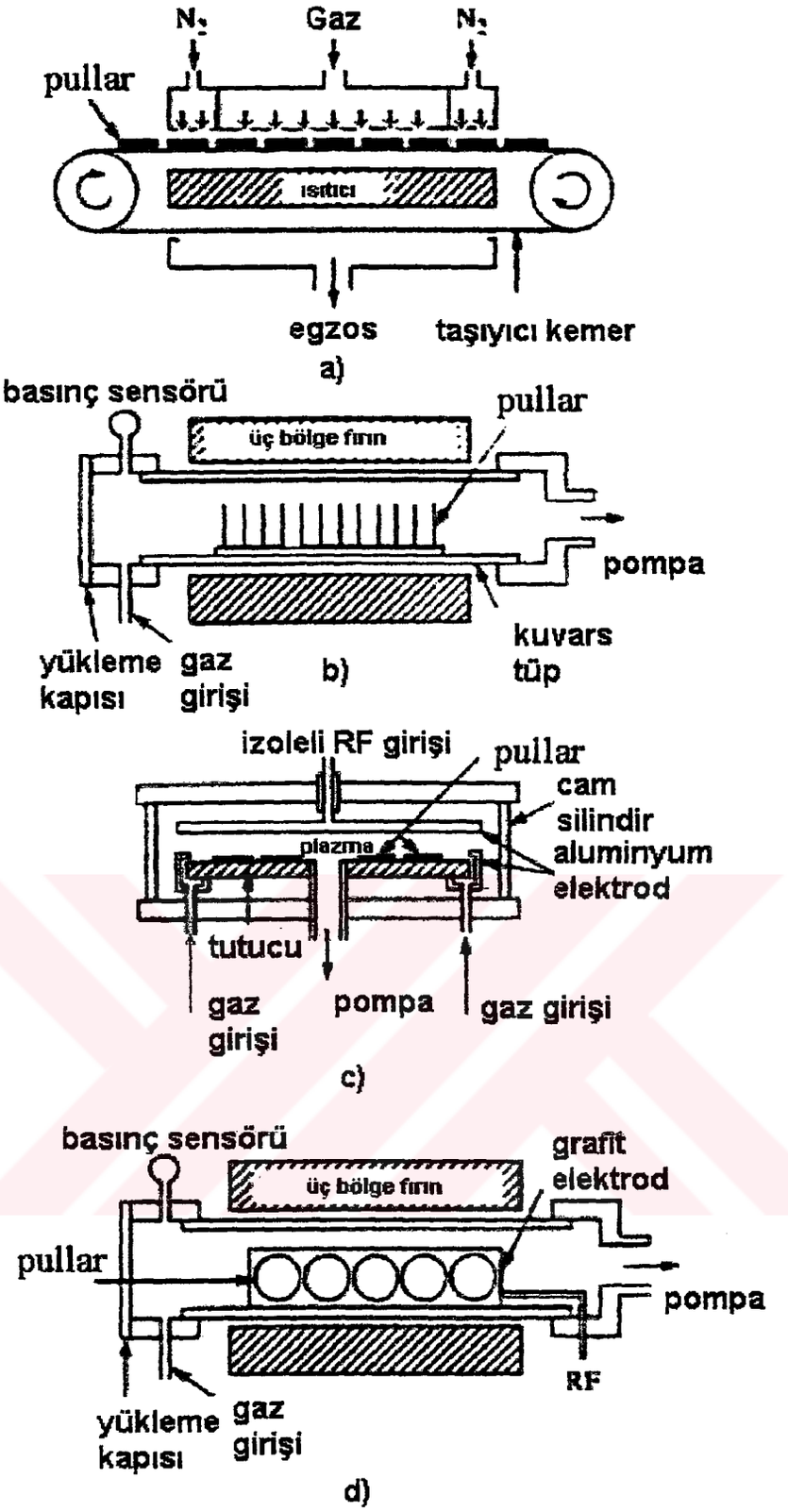
PHCVD oluşturma oranları mikroelektronik uygulamaların üretimine uyarlanmak için çok düşük seviyedir.




**Şekil 2. 30. CVD reaktör çeşitleri [12]**

Reaktör geometrisi basınç ve enerji kaynağı ile belirlenir ve verim için önemli bir faktördür. Atmosfer basınçlı kütle transfer reaktörü sınırlı rejime sahip olduğundan her bir pula aynı gaz yoğunluğunu dağıtılacak şekilde tasarlanır. Bunun sonucu olarak pullar asla dikey olmayıp yatay yüzeyde düz olmalıdırlar. LPCVD reaktörler kütle transfer oranı ile sınırlandırılmamışlardır. Yani pullar yan yana birkaç mm ara ile kuvars reaksiyon tüpüne yerleştirilebilir. Kuvars pul tutucu 200 pul kapasiteye sahiptir. LPCVD reaktörlerde yüzey reaksiyonu sınırlı olduğundan sıcaklık kontrolü çok hassas olmalıdır. Tablo 2.3 çeşitli CVD reaktör tasarımlarının karakteristik ve uygulamalarını özetlemektedir. [12]

Farklı CVD reaktör sistemleri Şekil 2.31' de görülmektedir. Şekil 2.31.a' da sürekli atmosfer basınçlı reaktör gösterilmiştir. Bu çeşit reaktör pozisyon tabakası $SiO_2$'nin oluşturulmasında kullanılır. Reaksiyon gazları reaktörün merkez bölümünden akarak Nitrojen perdede toplanırlar. Gövde sürekli olarak sisteme beslenerek büyük çaplı pullar kolayca işlenebilir. Bununla birlikte, atmosfer basınçlı reaktörde yüksek gaz akış oranı gerekmektedir.




**Şekil 2. 31. CVD sisteminin 4 çeşidi (a)atmosfer basınçlı reaktör (b)sıcak duvarlı LPCVD (c)paralel plakalı plazma CVD (d)PECVD [14]**

Sıcak duvarlı ve düşük basınçlı sistem Şekil 2.31.b de görülmektedir. Genellikle poli Si, $SiO_2$ ve $Si_3N_4$ oluşturmada kullanılır. Reaksiyon gazları üç bölgeli fırın tüpünün bir ucundan diğer ucana doğru pompalanır. Sıcaklık 300-1150°C ve basınç 30-250 Pascal' dır. LPCVD' de mükemmel doğrusallık elde edilir ve birkaç yüz pul aynı anda işlenebilir. Sıcak duvar sisteminin dezavantajı oluşturulan film aynı zamanda tüpün iç yüzeyine de oluşmaktadır. Tüp

periyodik olarak temizlenmeli veya değiştirilmelidir. Buna rağmen, sıcak duvar LPCVD sistemi yarı iletken endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Tablo 2. 3. CVD reaktörlerinin özellik ve uygulamaları [12]**

| İŞLEM | AVANTAJ | DEZAVANTAJ | UYUGULAMA |
|---|---|---|---|
| APCVD | Basit rektör<br>Hızlı çöktürme<br>Düşük sıcaklık | Zayıf adım kaplama<br>Parçacık kirliliği | Düşük sıcaklıklı oksit, katkılı ve katkısız |
| LPCVD | Mükemmel saflık ve doğrusallık<br>Uygun adım kaplama<br>Büyük pul kapasitesi | Yüksek sıcaklık<br>Düşük çöktürme oranı | Yüksek sıcaklıklı oksit, katkılı ve katkısız, $Si_3N_4$, poli-Si, W, $Wsi_2$ |
| PECVD | Düşük sıcaklık<br>Hızlı çöktürme<br>İyi adım kaplama | Kimyasal ve parçacık kirliliği | Düşük sıcaklıklı yalıtıcı, metal ve pasivasyon (nitrat) |

CVD reaksiyonu Şekil 2.31.c' de görüldüğü gibi plazma reaktör ile de gerçekleştirilebilir. Plazma oluşumda düşük sıcaklıklarda bile reaksiyon gerçekleşebilir. Bu plazma oluşumunda alt elektrot olarak davranan Al plakaya yerleştirilir. Pullar yüksek yoğunluklu lamba veya direnç ısıtıcı ile 400°C' ye ısıtılır. Üst elektrot olan ikinci Al plaka pul yüzeyine yakın olarak yerleştirilir. Gazlar pullar arasından akar ve merkezdeki çıkışa doğru pompalanır. RF sinyali üst plakaya uygulanarak plazma oluşturulur. Bu sistemin kapasitesi sınırlıdır ve pullar elle yüklenmelidir. VLSI fabrikasyonunda ana problem üst plakadan pul üzerine düşecek maddelerdir.

Şekil 2.31.d' deki fırın plazma sistemi çok sayıda pulu aynı anda işleyebilir. Özel bir elektrot düzeneği pulları gaz akışına paralel olarak tutmak için kullanılır. Plazma alternatif elektrot grupları arasında kurulur. [14]

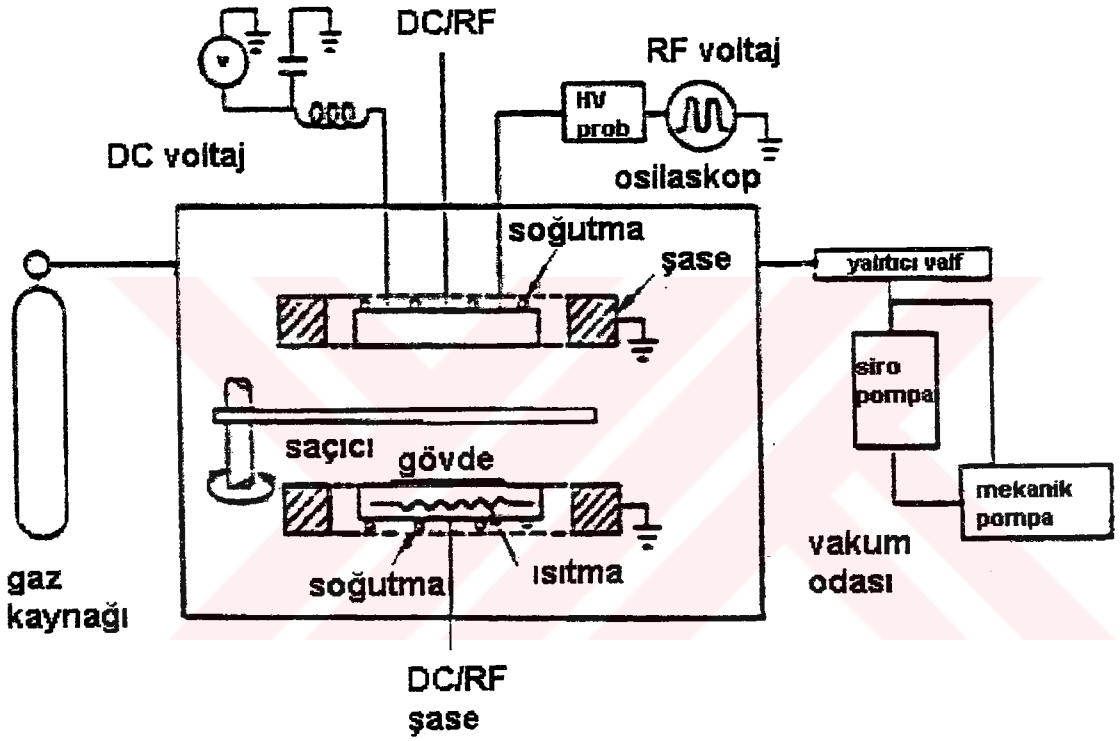
### 2.1.8.4 Saçılma Oluşturma Cihazı

Bir saçılma sisteminin verimi şu faktörlere bağlıdır: En büyük oluşturma oranı, tek pul veya yığın işlemi, pompalama zamanları, ön-işleme zamanları, güvenirlik(yani cihazın işlem yüzdesi) ve bakım. Oluşturma oranını artırmak için genel olarak yüksek güçlü ve optimal hedef tasarımlı magnetron saçılma kullanılır.

Saçılma sisteminin şeması Şekil 2.32' de görülmektedir. Sistem şu elemanlardan oluşur:a)elektrot ve saçılacak hedeflerin bulunduğu saçılma odası, b)pul ısıtıcı, RF saçılma aşındırma elektrotları ve yük kilitleme fonksiyonunu içeren ön-işleme odası, c)vakum pompaları, d)güç kaynakları(DC ve RF), e)saçılacak hedef, f)saçılacak gaz kaynağı ve akış kontrolörü, g)görüntüleme cihazı(basınç ayarları, voltmetreler, gaz analizörleri), h)pul tutucu ve mekanizması ve i)mikrobilgisayar kontrolörü. Diğer cihazlarda farklı çalıştıkları için sadece a, b, c, d ve e elemanları hakkında bilgi verilecektir. Geriye kalan alt sistemler diğer yarı iletken cihazlardaki gibi çalışırlar.

Saçılma odası saçılma sisteminin kalbi olmakla birlikte, her bir cihaz tasarımının tek benzersiz parçasıdır. Bundan dolayı, çeşitli sistem konfigürasyonları karşılaştırıldıktan sonra saçılma odaları tartışılacaktır.

Ön-işleme odası (veya istasyon) normalde pulların ilk girdiği bir odadır. Sistem tasarımına bağlı olarak ön işleme odası (Pre Process Chamber:PPC) bir çok prosedüre bağlıdır: a)PPC' in pompalanması, b)pulların ısıtılması ve c)saçılma aşındırma veya başka şekilde (örneğin; plazma aşındırma ) ile pul yüzeyinin temizlenmesi. Pompalamanın amacı saçılma odasının yükle kilitlenmesidir(Pullar dışarıya gönderilmeden önce saçılma odasına yüklenir). Oluşturma tamamlandıktan sonra pullar aynı PPC veya yük kilitleme odası ile sistemin dışına gönderilir. Saçılma odası saçılma işlemi olmadığında normalde yüksek vakum altında tutulur. Pul ısıtmanın bir çok amacı vardır:kirlerin çıkarılması ve adım kaplamanın geliştirilmesi gibi.




**Şekil 2. 32. Saçılma sisteminin bazı elemanlarının şeması [12]**

Vakum pompaları saçılma sisteminin önemli bir parçasıdır. Temizlik açısından çoğu saçılma üreticisi saçılma işlemleri arasında saçılma odasını yüksek vakumda tutmak için siropompa(cyropumps) kullanır. Bu pompa normalde saçılma işleminde odayı devamlı pompalamak için de kullanılabilir(1 Pascal). Pompa boğumlu olduğundan pompalama hızı azalır. Saçılma işleminde pompalamanın amacı oluşan gazları dışarı atmak olduğundan pompalama hızının azalması istenmez. Bundan dolayı, bazen yüksek su buharı pompalama hızını sürdürmek için saçılma odasına Meisner tuzağı yerleştirilir. Bazı sistemlerde saçılma işlemi sırasında yüksek hacimli hidrojen elde etmek için Titanyum süblimasyonlu pompalar kullanılır. Böylece siropompa uzun süre kullanılabilir.

Yük kilitlemeli PPC de vakum, pompa veya turbo moleküler pompalar ile oluşturulur. Yük kilitleme <1mtorr pompalanarak PPC' den saçılma odasına $N_2$ girişi önlenir. Yük kilitlemeyi boşaltmak için yüksek vakum pompaları kullanılır.

Saçılma sisteminde güç kaynağı DC veya RF olabilir. DC güç kaynakları 20kWlık olduğu halde RF güç kaynakları yaklaşık 3kWlıktır. Sonuç olarak DC magnetron saçılma RF magnetron saçılmadan daha yüksek oluşturma oranına sahiptir ve bundan dolayı, yüksek oluşturma oranlı işlemlerde tercih edilir. DC güç kaynakları oluşan arkların zarar vermesini önleyebilmelidir. Buna rağmen, RF güç kaynaklarında ark söz konusu değildir. Ark olduğunda güç kaynağı çok kısa bir süre kapalı kalarak zararları önleyebilmelidir. DC magnetron uygulamalarında doyumlu reaktör güç kaynakları kullanılarak ark etkisi önlenebilir.

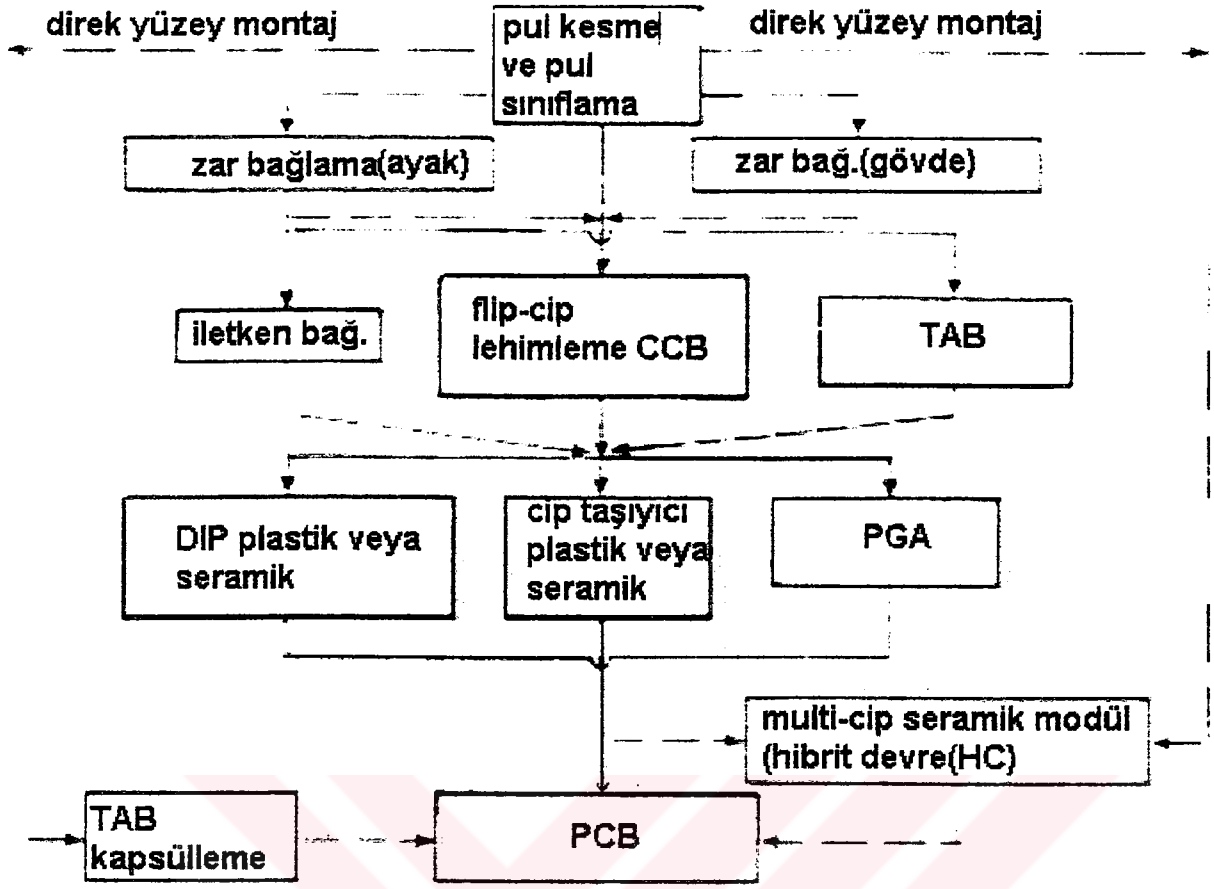
Hedef gövde üzerine saçılacak malzemedir. Hedef şekilleri oluşturulacak malzeme ve saçılma sistem tasarımına bağlıdır. Yuvarlak hedefler birkaç inch olduğu halde dikdörtgen hedefler birkaç feet uzunluğunda olabilir. Hedefler katoda monte edilirler. Enerjinin 70%' i hedefin ısıtılmasına ayrıldığından hedef soğutulmalıdır. Çoğu metal hedefler yüksek saflıkta vakum malzemeler üretir(örneğin; 99.999;5-9lu, 99.9995;5-9lu 5 ve 99.9999;6-9lu saflıkta Al hedefler. 4-9lu saflık genellikle yarı iletken metalizasyonunda kabul edilemez.). Bazı uygulamalarda düşük alfa parçacığı yayan elementler talep edilir(örneğin; düşük Toryum ve Uranyum). İstenilen diğer hedef özellikleri a)hedef malzemenin yüksek yüzdeli kullanımı, b)hedef değişimlerinde işlem gerçekleştirebilme ve c)hassas karışımdır.

Hedefin ön saçılması film oluşturmadan önce yüzeyin temizlenmesi için yapılır. Hedef yüzeyinin kiri ile oluşturma işlemini önleyen kapak kullanılabilir. Hedef yüzeyi temiz olduğunda saçılma oluşturma başlatılabilir. Yüzey temizlenene kadar hedef yüzeyinde ark oluşabilir. Yani güç artırılırken hedeflerin yavaş yavaş yerleştirilmesi ve arka sebep malzemelerin dışarı saçılması geneldir.

Si VLSI fabrikasyonunda PVD işleminde en önemli yöntem saçılma oluşturma olmaya devam edecektir. İşlem teknolojisi geliştikçe saçılma oluşturma cihazları da gelişmelidir. Cihaz tasarımında aşağıdaki tehlikeler doğacaktır: a)pul büyüklüğü artmakta ve yüksek verimde filmlerin pul üzerine oluşturulması, b)makinelerin yüksek seviyede temiz olarak çalışması, c)yüksek verim(>90%), d)otomatik ve bilgisayar kontrollü makineler, e)adım kaplama ve doğrusal oluşturulmuş filmler, f)saçılma aşındırma yerine yeni alternatif teknikler ve g)çok seviyeli ara bağlantı teknoloji ve çok tabakalı filmler(örneğin; Ti:W/Al-Cu veya Ti/Al-Si-Ti/Al-Si/Ti)kullanılması). Saçılma cihazları böyle karışık filmleri yüksek verimle oluşturabilmelidir. [12]

### 2.1.9 Tümdevrelerin Paketlenmesi Ve Kapsüllenmesi

IC paketleme elektriksel olarak kırmığı dış dünyaya bağlamakla birlikte çevresel koruma, optik performans ve güvenirliği sağlar. Şekil 2.33' de görüldüğü gibi kırmıklar bir çok şekilde paketlenebilir. Koyu çizgilerle gösterilen işlemler mutlaka gerçekleştirilirken kesik çizgilerle gösterilenler geçilebilir. Paketlemede plastik, seramik ve metal malzemeleri kullanılır. Ara bağlantılar işlenmiş pullar kırmıklar olarak kesildikten sonra bir çok şekilde yapılabilir. İletken bağlama veya flip-kırmık teknoloji ile kırmıklar gövdeye bağlanabilir(DIP veya kırmık taşıyıcı ayak çerçevesi gibi). Kırmıkla yüklenen gövdeler kirliliği önlemek için kılıflanırlar veya kapsüllenirler. TAB kırmığı ayak çerçevesine bağlamak için alternatif olarak kullanılabilir. Flip-kırmık ve TAB genellikle büyük sayıda G/Ç' lı ve yüksek üretimli ürünlerde kullanılırken kalıp işlemi ile gerçekleştirilen plastik kapsülleme çok az sayıda dış bağlantılı ve düşük oranda üretimli ürünlerde kullanılır.




**Şekil 2. 33. Paketleme şeması (Sürekli çizgiler zorunlu kesik çizgiler isteğe bağlıdır.) [15]**

Multi-kırmık bağlantılı ağlarda hibrit devreler veya modüller alternatif olarak kullanılırlar. Hibrit devrelerde pasif elemanlarla aktif elemanlar birleştirilmiştir ki, hibrit adını buradan alır. Bu paketleme teknolojisinin temel avantajı her bir kırmık ayrı ayrı paketleme gerektirmediğinden yüksek yoğunluğa sahip olmasıdır. Tipik olarak Al seramik boyut-kararlı gövde olarak kullanılır. Bu gövdeler 4*4 inch' dır. Boyut sınırı işlem kısıtlamalarından (görüntüleme ve fotolitografi gibi.) ve malzeme hassasiyetinden kaynaklanır. Bununla birlikte, bu seramik gövdeler genellikle hava geçirmez olarak kılıflandığından metal kapı kılıflama boyut sınırı olarak kabul edilebilir. Bağlantı yolları hem ekran baskılı (kalın film uygulaması) hem de oluşturmalı (ince film uygulaması) olabilir. Bir çok hibrit gövde kalın film teknolojisi kullanılarak üretilir. CVD ve aşındırma işlemleri gibi oluşturma işlemleri ile yapılan ince film hibritler seramik gövdede ince bağlantı ağları oluşturmak için kullanılır. Son zamanlarda, hibrit sistemlerin ara bağlantıları seramik üzerinde metal/polimerik dielektrik (örneğin; poliimid) çok tabakalı yapılar kullanılarak oluşturulmuştur. Seramikte güçlü yollar oluşturulurken ara bağlantıları üstteki ince film tabakalar oluşturur.

En son seviye ara bağlantılı paketlenmiş kırmıklar veya hibrit modüller Baskı Devre Bord' una (Printed Circuit Board:PCB) monte edilirler. Geleneksel olarak epoksi cam fabrik ve novolak kağıt reçine (novolac/paper resins) malzemeleri seçilir. 18*24 veya 20*20 inch boyutlu bordlar üretilebilir.

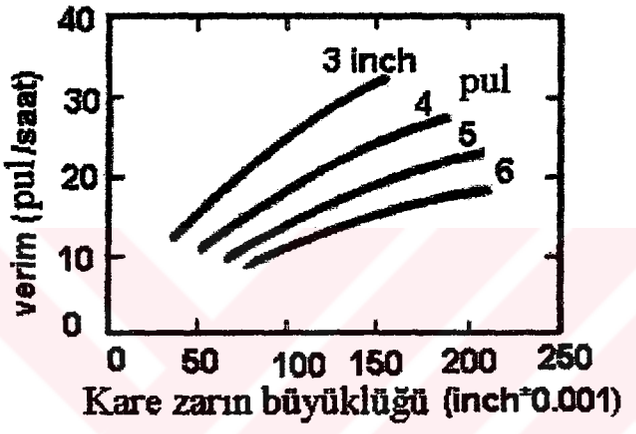
Tabakalı bakırın film olarak oluşturulması ile bağlantı yolları oluşturulur. Modeller kalın tabaka sıvı direnç veya kuru film dirençli litografi ile elde edilir. Multi tabakalı yapılar dielektrik tabakalar ile tabakalanmış ve modellenmiş tabakaların yığınlanması ve yapıştırılması ile üretilir. İletim pastası ile doldurulmuş veya elektro-plakalanmış delikler iç

tabaka ara bağlantısını oluşturur. Paketleme teknolojisi kırmığın gövdeye, hibrit devrelere ve PCBlere bağlanması doğrultusunda gelişmektedir.

Paketleme işleminde çeşitli malzemeler seçilebilir Temel sistemlerin malzemesi seramik veya plastiktir. Önceki hava geçirmez kaplama olarak görev yapar. Plastik PCB gövde, zar bağlama yapıştırıcısı, izole boyası ve kalıp kapsülleme gibi bir çok uygulamalarda kullanılır. Metaller ve bileşikleri elektrik bağlantısı, ısı bağlantısı, paketleme, lehimleme, kapak kılıflama ve kılıflayıcı olarak kullanılır. Bundan dolayı, tümdevrelerin paketlenmesi malzeme biliminin ana konularındandır.

### 2.1.9.1 Pul Dilimleme ve Zar İşlemi

Tekrarlama modelleri ile üretilen pullar elektriksel olarak test edilir. Kalitesiz zarlar dilimlemeden sonra çıkarılmak üzere mürekkeplenir. Kaliteli zarlar zar bağlama işleminde

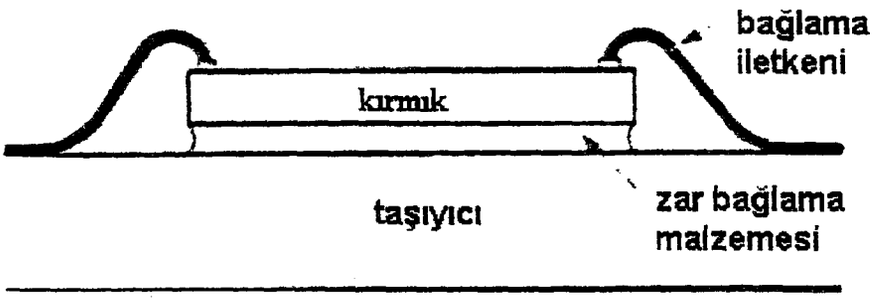



**Şekil 2. 34. Dilimleme işleminde pul verimi [15]**

otomatik olarak seçilirler. Dilimleme sık olarak elmas uçlu testere ile yapılmasına rağmen, alternatif olarak lazerle de yapılabilir. Pullar dilimleme makinesi ile sıralandıktan sonra polyester şerit veya film kırmıkları ile tutulurlar. Pratik olarak pullar tam olarak kesilmeyip, eğri bir yüzeyde dilimlendikten sonra döndürülerek kırılırlar. Kesme belirlenen modelde çok hassas olarak ve devreye zarar vermeden yapılmalıdır. Tipik olarak verim bıçak tasarımına ve malzeme yapısına bağlıdır. Şekil 2.34, çeşitli büyüklükteki pul kesim oranlarını vermektedir. Zar büyüklüğü azaldıkça pul başına daha fazla kesim gerektiğinden üretim oranı da düşmektedir. Eğriler pul çaplarını göstermektedir.

### 2.1.9.2 Zar Bağlama

Kesilmiş bir zar, zar bağlama işleminden geçtikten sonra taşıyıcı veya ayak çerçevesine monte edilir ve iletkenlerle ara bağlantılar gerçekleştirilir. Zar, zar ısı iletimini ve mekanik kararlılığı sağlamak için zar bağlama malzemesi ile gövdeye bağlanır. Zar bağlama yapışkanı yeterli derecede iletken ise elektriksel topraklama bu işlemlerle yapılır. Şekil 2.35, gövdeye bağlı zar kesitini göstermektedir.




**Şekil 2. 35. Zar bağlama ile taşıyıcıya bağlı ve iletken ile ara bağlantılı kırmığın kesit görünüşü [15]**

Bu uygulamalarda dört ana malzeme kullanılır: Katı ve yumuşak lehim(eutectic die bonding), metalli polimerler ve camlar. Au-Si, Au-Sn ve Au-Ge katı karışımları çok iyi sürüklenme direncine sahiptirler. Bununla birlikte, ısı işlemlerindeki ısı uyumsuzluğu kullanımda veya test işlemlerinde kırmık üzerinde yüksek basınç oluşturur ve kırmık çatlamasına veya yarığına neden olur. Pb-Ag-In ve Pb-Sn yumuşak lehimler bu problemi önlemektedir. Buna rağmen, karışım plastik akış problemine sahiptir.

Metalli epoksiler ve poliimidler diğer alternatiflerdir. Genellikle daha ucuzdurlar, işleme basıncını azaltırlar ve epoksiler çok düşük işlem sıcaklığı gerektirirler. Gümüş yükleme elektrik ve termal iletkenliği artırır. Bundan dolayı, 1 mil kalınlığındaki tabaka için zar bağlama tabaka direnci 100-150mΩ/□ ve hacim direnci $500*10^{-6}$ Ω-cm' den büyük olmamalıdır. Polimerik zar bağlama malzemeleri ağırlık doldurucunun 60-75% 'ini içerir. Bu miktar doldurucunun devamlılığını sağlar. Bir çoğu 150°C den daha düşük sıcaklıkta işlenebilir. Bununla birlikte, poliimid zar bağlama 340-450°C gerektirir. Zar bağlama malzemesinin sıcaklığı oluşturma eşiği altına çekilirse polimer malzemeler uygulanabilir aday olacaktır. Bu durum plastik paketlemede gerçekleştirilmiştir. İşlem kolaylığı metal polimerli zar bağlama malzemelerini daha da esnekleştirmiştir. Bu genel zar bağlama malzemelerinin yanında cam yapıştırıcılar geliştirilmiştir. Bunlar yüksek işlem sıcaklığı gerektirirler ve devreyi aşındırabilecek oksitlemeye ihtiyaç duyabilirler. Son zamanlarda gümüş yüklü cam yapıştırıcılar seramik paketlemedeki metalik karışımların yerini almaya başlamıştır.

### 2.1.9.3 Birinci Seviye Ara bağlantı

Kırmık güvenle yerleştirildikten sonra kırmık içindeki devre dış dünyaya bağlanmalıdır. Bu aşamada bir iletim yolu IC bağlama yuvasından pakete doğru iletken bağlama, TAB ve flip-kırmık teknoloji ile bağlanır.

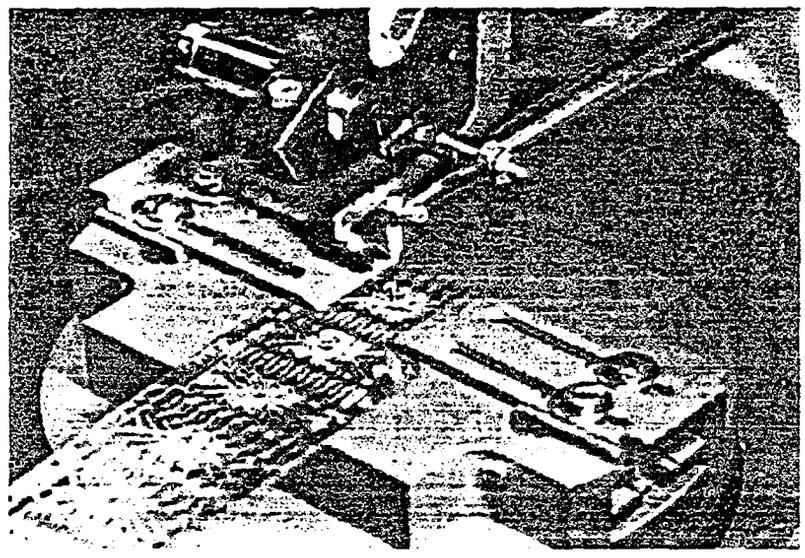
#### 2.1.9.3.1 İletken Bağlama

Ara bağlantıda baskın olarak kullanılan iletken bağlama genellikle orta sayıda G/Ç' lı kırmıklarda kullanılmasına rağmen, 200 G/Ç' lı (Giriş/Çıkış) devrelerde de üretimde olduğu rapor edilmiştir. Altın veya Al iletken kırmıktaki bağlama yuvaları (2 mil) ile gövdenin (paket, modül veya bord) bağlantı noktası arasına bağlanır. Şekil 2.36, iletken bağlayıcı ile kısmen bağlanmış kırmığı göstermektedir. Ultrasonik veya kapasite deşarjı altın veya Al



MARMARA ÜNİVERSİTESİ

iletkeninin kısa bir parçasını eritmek için kullanılır. İletkenler dikey bir yük ile bağlama yerine yerleştirilmiş kama ucundan yaklaşık olarak 1 mil dışarı çıkmıştır. Erimiş top (önce kısa eritilmiş parça) uygulanan yük ve ısı veya ultrasonik enerji ile kırmık bağlama yuvasına (pabuç) yapıştırılır. Kama istenilen noktaya veya gövdedeki iletim hattına doğru hareket ederken iletim yolunu iletkene bağlar.



**Şekil 2. 36. İletken bağlayıcı ile gövdeye bağlanan kırmığın fotoğrafı [15]**

Kamanın kenarı, ısı veya ultra ses ile kesilmiş iletken ile gövdenin bağlama yerini eritip kaynaştırarak iletkeni tam olarak bağlar. Her iki uç güvenle bağlandıktan sonra iletkenin yeni bir parçası ölçülür ve işlem tekrarlanır. Geçmişte ve hatta bu günlerde bile operatörler dikiş makinesine benzer iletken bağlayıcı önünde oturarak bu işlemi gerçekleştirirler. Bilgisayar kontrollü düzenekler ve otomasyon geliştirilmiş devreler de ara bağlantıları gerçekleştirmek için kullanılır. Otomatik bağlama makineleri modern paketlemelerde kullanılır.

G/Ç sayısı ile ara bağlantı teknolojisinin önemini kavramamız gerekir. Rent kuralı devre karışıklığı ile G/Ç yoğunluğu arasındaki ilişkiyi ortaya koyar:

$N=A.G^{r}$ .....(2.1)

Burada, N: G/Ç sayısı, G:kapı sayısı ve A, r: sabit.

Lojik dizilerde devreler $10^{5}$ den fazla kapı içerirler. A= 4.5 ve r= 0.4 alınırsa, bu devreye en iyi uyan G/Ç sayısı 500 olacaktır. Bir kırmık için güvenle 500 tane kontak oluşturmak kolay iş değildir. Açıkça görüldüğü gibi eleman alanı küçülürken G/Ç sayısı artarak ara bağlantı için gerekli alan kırmık alanının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Pahalı Si alanını azaltmak için bağlama büyüklüğü ve alanı azaltılmalıdır. Bağlama aralığı (pitch) 200μm' dır. Geliştirilmiş verim ve hassasiyetle ara bağlantı gerçekleştirilirse bu sayı düşecektir .Bu seviyede bağlantı aralığı 100 mil olmaktadır(SOIC' de bu aralık 50 mil' dır.).

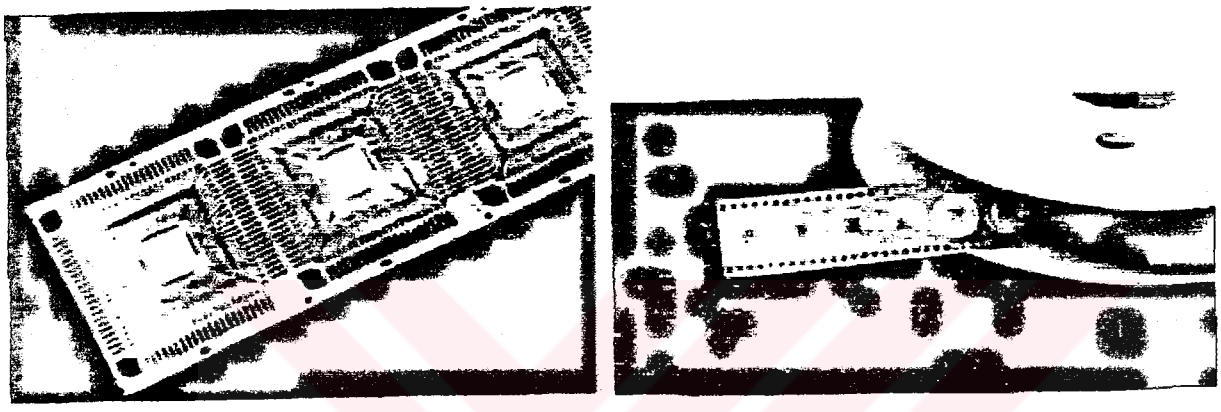
### 2.1.9.3.2 Şerit Otomatik Bağlama (TAB)

İletken bağlama son zamanlarda iki yeni teknoloji ile desteklenmektedir. Şerit Otomatik Bağlama ve flip-kırmık teknolojisi. TAB, kırmık ile yerleştirildiği yer arasında yapılan ara bağlantılara alternatiftir. 1970 lerden beri sürdürülen geliştirme çalışmaları sonucu TAB



MARMARA ÜNİVERSİTESİ

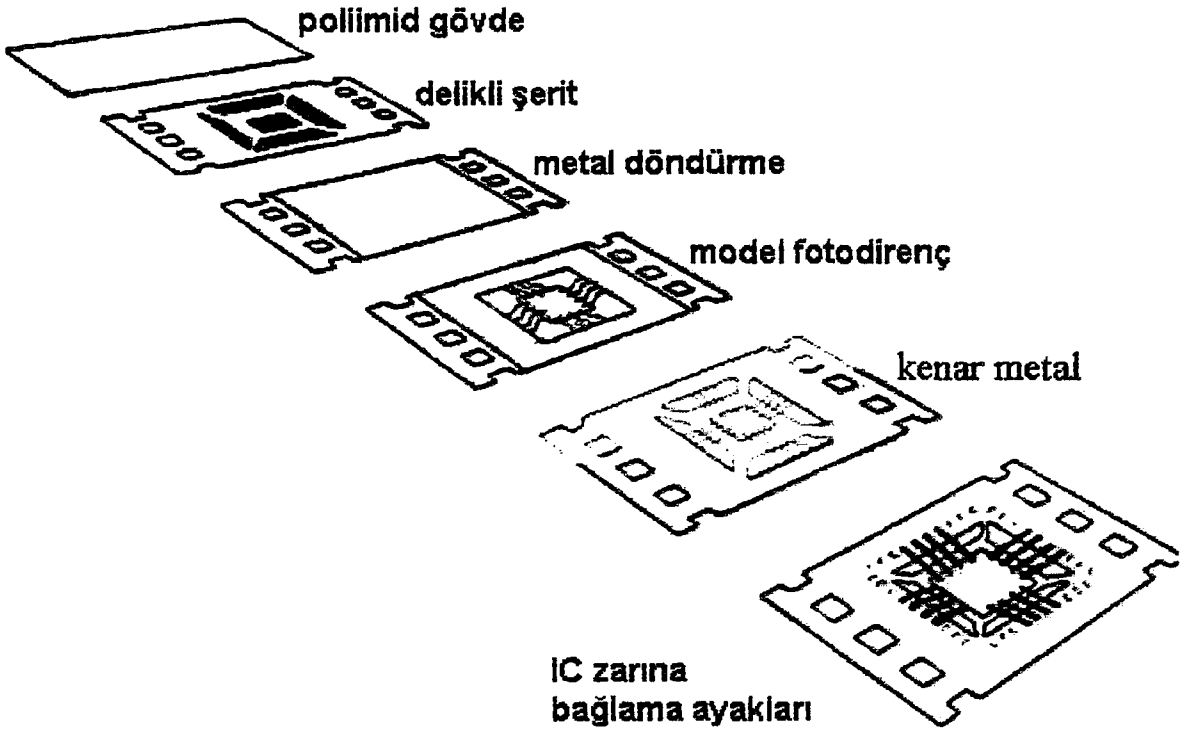
otomatik iletken bağlayıcı ile rekabet gücü artırılmıştır. Amerika' da TAB konusundaki önemli araştırmalardan dolayı yarının teknolojisi olarak değerlendirilmektedir. TAB ile bağlanan bir çok kırmık taşıyıcılara monte edilir. Bununla birlikte, yüksek seviye entegrasyonu sağlamak için bazı kırmıklar direk olarak yüzey montaj ile borda bağlanabilirler. TAB işleminde kullanılan şeritler bir makara oluştururlar. Şerit görünüşü Şekil 2.37.a da görülmektedir. Esnek bir destek üzerindeki basit bir polimer şerit olan basılı tekrar modüllerine dikkat edin. Her bir model kırmık ile birleştirilir. Kırmık bir film projektörüne benzeyen TAB makinesi ile yerleştirilir(Şekil 2.37.b). Şerit çok tabakalı olabilir. Üzerinde litografi ile oluşturulmuş metal tabakalı şekil olan polimer destek bulunur. Etkili ara bağlantı yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden genellikle poliimid tercih edilir. Bununla birlikte, milar(mylar) da kullanılabilir. Şekil 2.38 tipik olarak TAB şeridinin üretim işlemlerini göstermektedir.



**Şekil 2. 37. (a)TAB in yakından görünüşü (b)diğer bir TAB' in yakından görünüşü [15]**

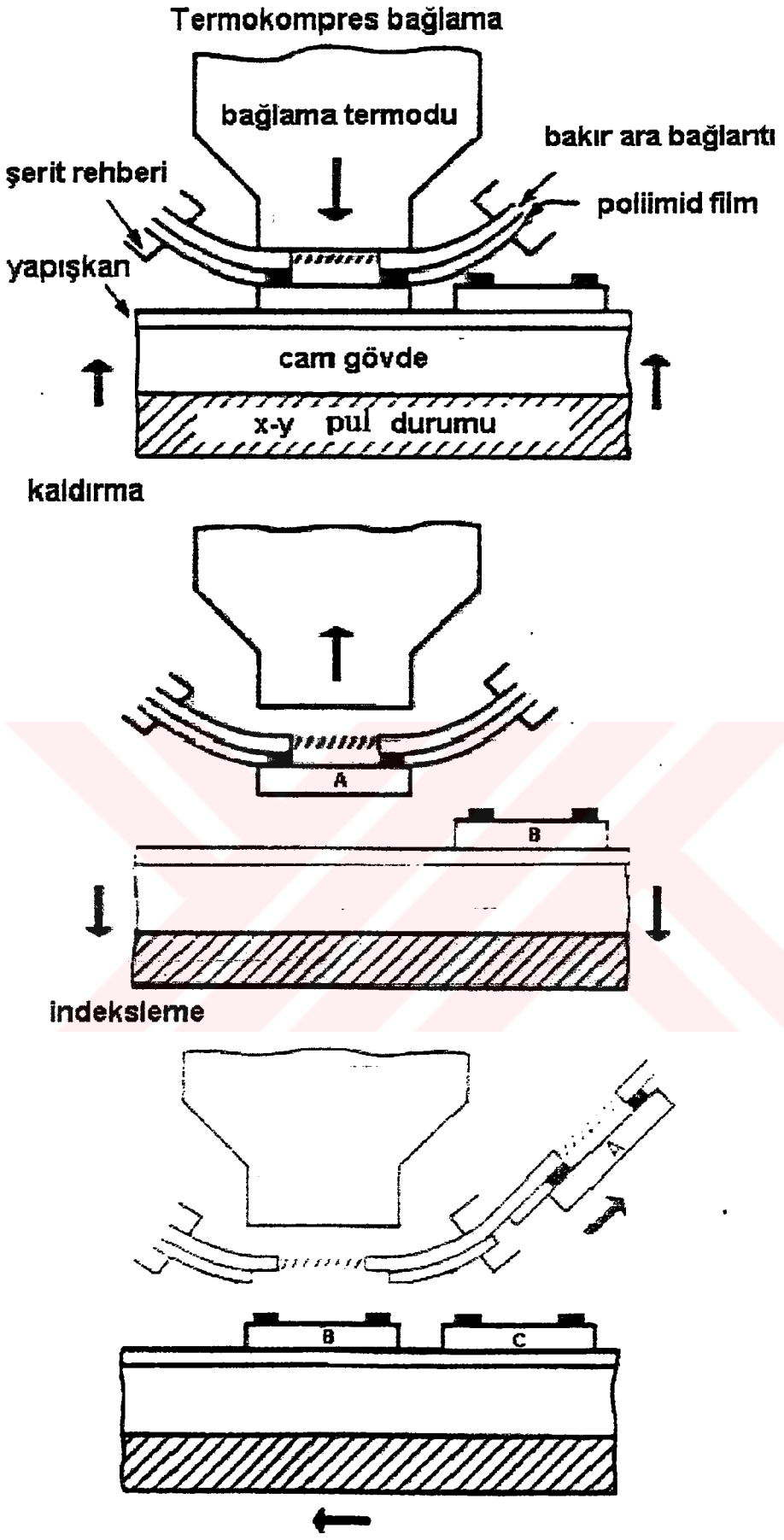
Boş bir film önce merkez açma ve dişlileri (zincir dişlisi) oluşturmak için delinir. Merkez şerit destek üzerinde döndürülen metal film ile kaplanır. Litografi işlemi ile metal modellenir. Litografi ile elde edilen modeller mekanik olarak elde edilenlerden daha hassas olduğundan ara bağlantılar ince ve birbirlerine yakın olmakla birlikte geleneksel ayak çerçevesi teknolojisine göre daha keskindir. 2 mil ayak kalınlığı için 2 mil ayak genişliği yapılabilir.

Plastik gövde mekanik destek sağlayıp gövdedeki hatlar ayrıdır. Yüksek entegreli IC ve multi-kırmık paketleme için büyük avantaj sunar. Yanma testleri ile (bağlanan kırmıkların enerjilendirilmesi) zayıf bağlanmış kırmıkları belirlenir. Test edilebilir tabakalı TAB şeritleri iki tabaka ve üç tabaka olmak üzere ikiye ayrılır. Birincisi, metal tabakaya ve gövdeye sahipken ikincisi ara yapışkan tabakasına sahiptir.




**Şekil 2. 38. TAB üretimi işlem akışı [15]**

Şekil 2.39 detaylı olarak bağlama işlemlerini göstermektedir. Termal kompres cihazı (termod) kırmığın bağlama yuvasının üzerine ayarlanmış olan iç ayakların üzerine iner. Isı ve basınç ile bağlama işlemi gerçekleştirilir. Bağlantı dişli mekanizmalı makara ile yapıldıktan sonra pul transfer edilir ve yeni zar ara bağlantı için yerleştirilir. Şeride bağlanan kırmık kaldırılır ve çalışma bölgesinden uzaklaştırılır. Yanma testine tabi tutulur. Dış ayak ara bağlantısı benzer termal kompres işlemi ile gerçekleştirilir. Modeller litografi ile oluşturulduğundan ayarlamalar ticari kırmıklar için yapılır. Gerçekte TAB işlemi ara bağlantıya esneklik kazandırır. İdeal olarak basit bir işlemle yüksek seviye ara bağlantıyı tamamlayacak direk yüzey montajına uygundur. Diğer önemli faktör TAB ayaklarının şeklidir. Düz geniş ayaklar düşük endüktans ve dirence sahip olduğundan voltaj sıçraması, sinyal eğriliği ve propagasyon gecikmesi azalır. Bakır ağlar Al ve altın iletkenlerden daha düşük dirence sahiptir. Tablo 2.4 TAB ara bağlantı-teknolojisinin bazı genel özelliklerini vermektedir. Görüldüğü gibi TAB' in gelecek uygulaması direk bord üzerinde kırmık ve yüksek sayıda G/Ç' lı büyük kırmıklardır.




**Şekil 2. 39. Ayak bağlama [15]**

**Tablo 2. 4. TAB ara bağlantı teknolojisinin genel özellikleri [15]**

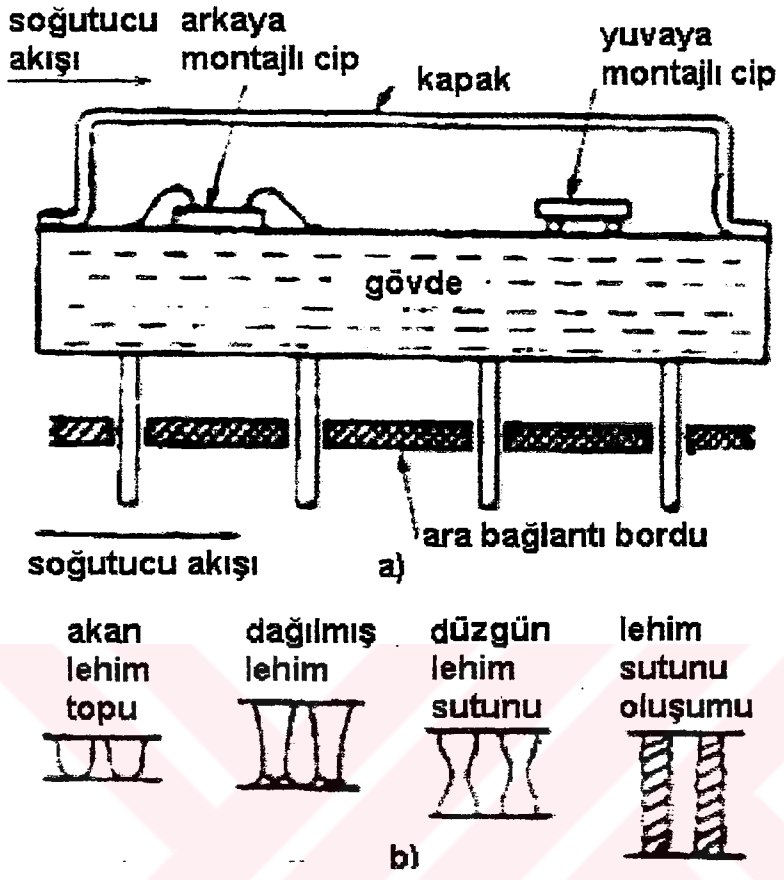
| | |
|---|---|
| Ayak izi | 300-400 $mil^2$ |
| Ayak sayısı | 200 |
| Bord montajı | Yüzey montaj teknolojisi |
| Ön test/Yanma | Kolay |
| Pasivasyon | Kaplama teknolojisine bağlıdır (oksit, nitrat, organik) |
| Ayak mesafesi | 3 mil hat/2.5 mil boşluk |
| Çözünürlük sınırı | 2 mil hat/2 mil boşluk |
| Cu kalınlık aralığı | 0.0005inch-0.002inch |
| En büyük desteksiz ayak | 10*baz kalınlığı =<0.060inch |
| Güç seviyesi(Watt) – VLSI | |
| CMOS(şimdi) | 0.5-1 |
| ECL(şimdi) | 4-12 |
| CMOS(gelecek) | 1-2.5 |
| ECL(gelecek) | 8-25 |
| Bord | Çok tabakalı yüksek yoğunluk |

### 2.1.9.3.3 Flip-Kırmık Teknolojisi

Bu teknolojide kırmığın aktif yüzü ters çevrilir. Böylece bağlama yuvaları kırmığın monte edileceği gövdedeki ayakların uçları ile yüz yüze gelir. Gövde çok tabakalı taşıyıcı, modül veya bir bord olabilir. Lehim malzemesi yuvaya eritildiğinde bağlanan iki nokta ara bağlantıyı oluşturur. Isıtmadan sonra lehim eriyerek iki parça birbirine bağlanır(Şekil 2.40). Sinyaller en küçük ara bağlantı ile direk olarak gönderilir. Bu teknik iki bağlantı arasında en az temizliğin istendiği yüksek yoğunluklu ara bağlantılarda kullanılır.

Buna ek olarak bağlama yerleri kırmığın perimetresi ile sınırlandırılmaz, fakat merkeze de yerleştirilebilir. Yüksek yoğunluklu ara bağlantılı flip-kırmık teknolojisinin avantajı tasarımdaki üç engelinin kısmı olarak dengelenmesidir. Birincisi, kırmık lehimi ile gövde birleşimindeki termal uyumsuzluğun neden olduğu soğuk lehim. İkincisi, kırmık ile gövde

arasında oluşturulan bağlantıları inceleme zorluğu. Sonuncusu ise flip-kırmık ara bağlantı ile bağlanan kırmığın arka kısmındaki özel ısı dağıtma mekanizmaları.




**Şekil 2. 40. (a)İki kırmık montajlı modül ve (b)flip-kırmık için ara bağlantı teknoloji örneği [15]**

### 2.1.9.4 Kapak Kılıflama

Kapak, paketleme malzemesi olarak inorganik ve polimerler kullanılarak yapılır. Kapalı ve yüksek güvenirlikli elemanlarda metal ve cam kılıflar kullanılır. Cam kılıflar $PbO\text{-}ZnO\text{-}B_2O_3$ çeşitleri olduğu halde zar bağlamada kullanılan malzemeler metal kılıflardır. Hava geçirmezlik, vakum sızıntı testleri ile belirlendiği gibi paketin yaşam süresi ile de belirlenebilir. Ana problem, kılıflamadan önce kırmık boşluklarından suyun çıkarılmasıdır. Hava geçirmezliğin gerekmediği uygulamalarda organik kılıflama kullanılabilir.

### 2.1.9.5 İkinci Seviye Ara Bağlantı

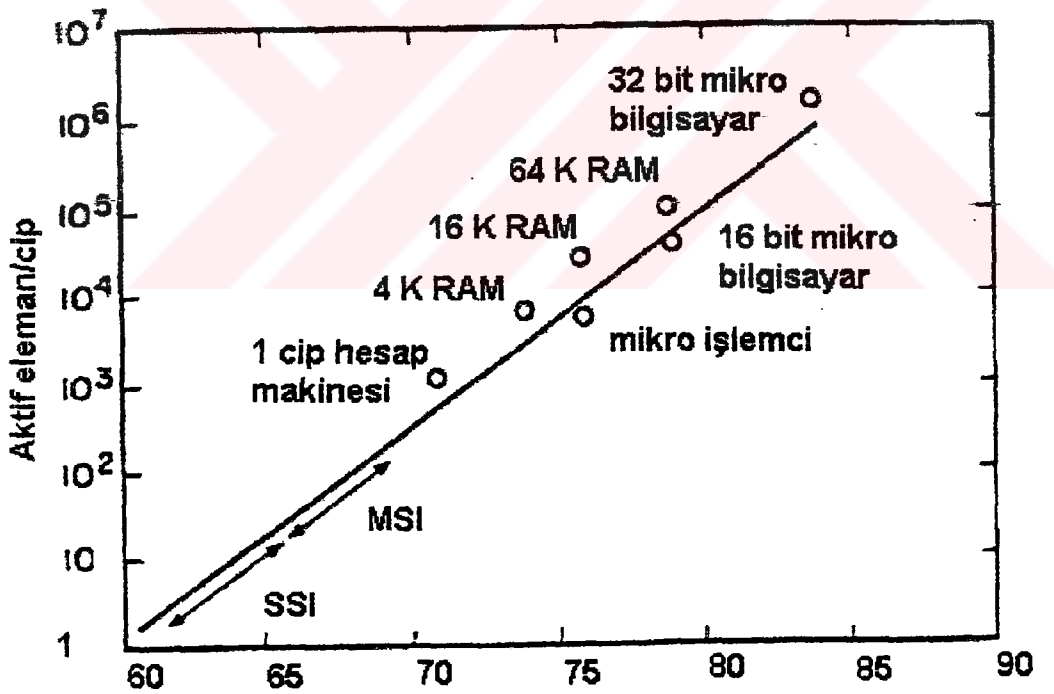
Kırmık, birinci seviye ara bağlantıdan sonra konfigürasyon ve paket fonksiyonuna göre kapsüllenmeye tabi tutulabilir. Seramik paketli ve yüksek güvenirlikli devrelerde paketler veya modüllerin kapakları kılıflanmıştır. Kırmığın harcadığı güçten dolayı oluşan ısıyı çevreye yayma çalışmaları yapılmıştır. Paketler veya modüller diğerleri ile birlikte ara bağlantı ağlı PCB' ye bağlanırlar. Bu ikinci seviye ara bağlantıdır. Bir çok paketler (DIP,

PGA ve SOIC) direk olarak veya yüzey montaj ile PCB ye bağlanabilecek şekilde tasarlanırlar. Kırmık taşıyıcı gibi bazı paketler önce bir modüle veya hibrit bir devreye bağlandıktan sonra PCB ye bağlanır. Amaç, PCB, hibrit veya yüksek performanslı paketler üzerine direk yüzey montajlı ve yüksek seviye entegrasyonu başarmaktır. [15]

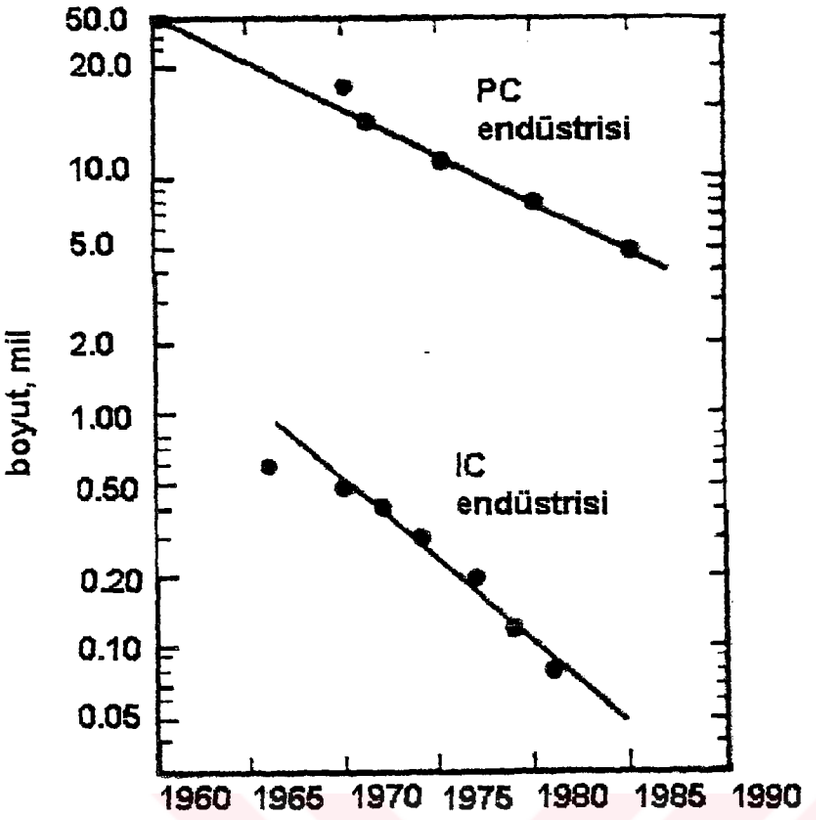
### 2.1.9.6 Ara bağlantı

Malzeme seçimi ve hazırlanmasına girmeden önce bugünkü noktayı özetlemek yararlı olacaktır. DIP paketlemedeki iletken bağlamalı kırmıklar geçerliliğini kaybetmektedir. Bu durum geliştirilmiş IC fabrikasyonu ile devre yoğunluğunun arttırılmasından kaynaklanır.

Şekil 2.41 devre yoğunluğunun artışını göstermektedir. Şekil 2.42 IC boyutu ile baskı devre endüstrisinin karşılaştırılmasını göstermektedir .VLSI ile yüksek G/Ç' lı ve paketlemeli kırmıklar mümkün olmuştur. Flip-kırmık ve TAB gelişmeleri devam etmektedir. Bununla birlikte, ara bağlantı ve paketleme makul maliyette olmalıdır. Paketleme teknolojisi, paketleme-kırmık maliyeti oranını sabit tutmak için devamlı olarak geliştirilmelidir. Bundan dolayı, bord (board) veya multi-kırmık modülleri gibi yüksek seviye ara bağlantı elemanları üzerine yüzey montajlı kırmıklar üretme eğilimi artmaktadır. Modül ve bord fabrikasyonu böyle gövdelerin üzerindeki yüzey montajlı kırmıkların gelişimi ile aynı seviyede olmalıdır. Gövdede bir çok kırmık bulunduğundan paketleme teknolojisinin özü ara bağlantı olup paketleme ile ara bağlantı bir tek teknoloji olma eğilimindedir.




**Şekil 2. 41. Tümdevre endüstrisinde elde edilen aktif eleman/kırmık sayısı [15]**




**Şekil 2. 42. Baskı devre(PC) endüstrisi-tümdevre(IC) endüstrisinin yıllara göre gelişimi [15]**

**Tablo 2. 5. Yüksek performanslı IC paketleme gereksinimleri [15]**

| IC Gelişimi | Paket Gereksinimi |
|---|---|
| LSI/VLSI devreler >10.000kapı, >300 I/O | Yüksek yoğunluk, çok tabakalı ara bağlantı |
| Yüksek Hız (GaAs) | Kısa gecikme zamanı |
| Dijital devreler >1GHz, <200ps yükselme zamanı | Kontrollü karakteristik empedansı, düşük parazit |
| Yüksek güçlü yoğunluk Z>5W/cip | Yüksek sıcaklık iletkenlikli malzemeler, verimli termal tasarım |
| Yüksek güvenirlik | Isı geçirmez kılıflama, radyasyonsuz malzeme |

Devre karışıklığı, güç harcaması ve güvenirliğin artması ile paketleme ile gerçekleştirilen tüm fonksiyonlar çok önemlidir: Isı harcama veriminin artması, ön test kabiliyeti, bakım esnekliği, hava geçirmezlik ve elektrik/dielektrik optimizasyonu hedeflenmektedir. Bunun için paketleme malzemesi titizlikle seçilmelidir. Bu özellikler Tablo 2.5' de özetlenmiştir. Bu tabloda yüksek performanslı paketlemenin bazı genel özellikleri verilmiştir.

### 2.1.9.7 Yüksek Performanslı Paketleme

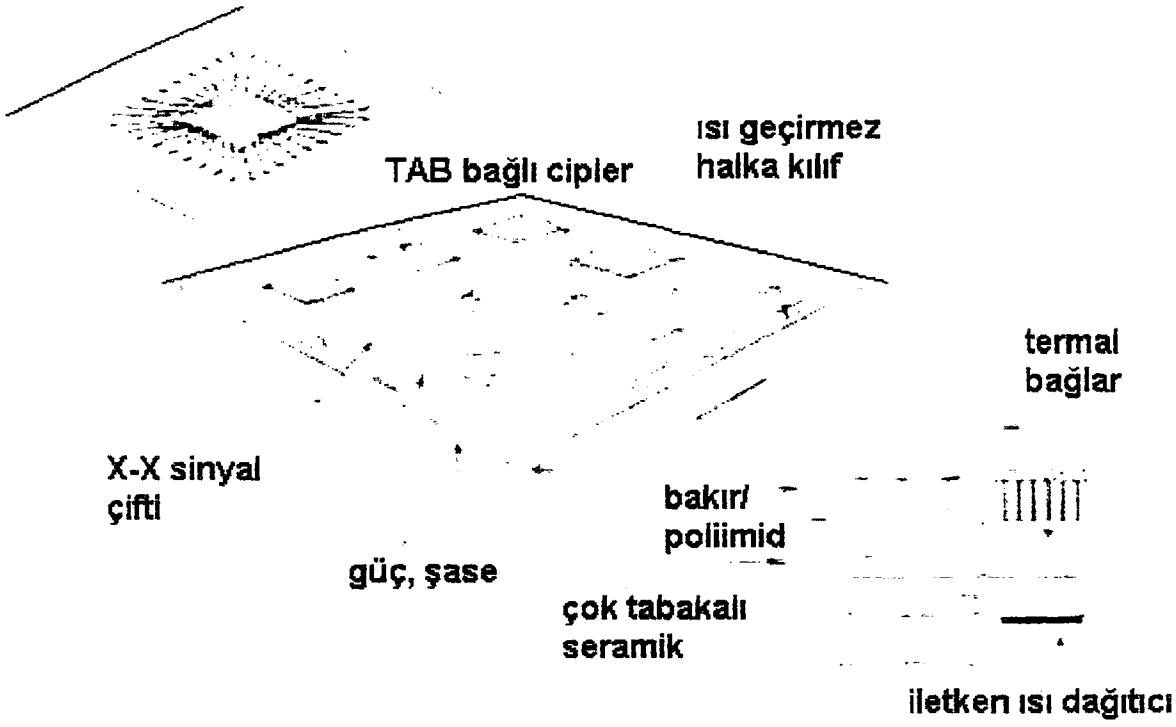
Paketleme konusunda son olarak bazı gelişmelerden bahsedeceğiz. Bu kategoride IBM' in Termal İletim Modülü (Thermal Conduction Module:TCM)' nü inceleyeceğiz. TCM' in ara bağlantı başarısının anahtarı C-4 lehimli flip-kırmık teknolojisidir. C-4 Kontrollü Çöktürme Kırmık Kontağı (Controlled Collapse Chip Contact:CCCC) yerine kullanılır. C-4 Molibden alaşımı olup 350°C' de gerçekleştirilir. Flip-kırmık teknolojisi ile aynı anda TCM' in merkezindeki bir çok sayıda ara bağlantı gerçekleştirir. Bundan dolayı, karışık devrelerde ideal seçenektir. Bununla birlikte, kusur veya çatlakları belirlemek zor olduğundan doğru bağlamayı sağlamak zordur.

TCM bir çok süper özelliklere sahiptir. Her bir kırmıkta 120 G/Ç olan 133 kırmığı aynı modülde bağlayabilir. Bu işleme kare şeklinde kesilmiş polyester şerit üzerine yeşil tabakaların dökülmesi ile başlanır.

Bağlantı delikleri bilgisayar kontrolü ile delinir. Her bir delik tek bir insan saçı kalınlığındadır(150μm). Her bir tabakaya 35000 delik delinir. Molibden lehim ipekle ekranlanır, delikleri doldurur ve düz bağlantı modeli oluşturur. Daha sonra 33 yeşil tabaka yığınlanır. Tümü Hidrojen fırınında 1600°C' den geçirilerek istenilen 3-D bağlantılı ağa dönüştürülmüş Molibden porselen elde edilir. Sonunda, 33 ara bağlantı/dielektrik tabakalarından oluşan 9 cm genişliğinde kare elde edilir. İletim ağı güç rölesi, şase ve x ve y tabakalarından oluşan sinyal dağılımı olarak bölünebilir. Porselen parça, 1800 pini aynı anda bağlandığı pirinçle lehimleyen fırına getirilir. Altın iletkenler (60μm çaplı) bilgisayar kontrollü ultra sonik iletken bağlayıcı ile bağlanırlar. Bu ayrık bağlama yeniden çalıştırma ve mühendislik değişikliklerini kolaylaştırmak için yapılır. Kırmıkların bağlama yuvaları C-4 lehimi ile çevrelenmiştir. Bu işlem buhar oluşturma ile gerçekleştirilir. Delinmiş maskeler pul yüzeyini koruyarak işlemin sadece yuvalarda gerçekleşmesini sağlarlar. Kırmıklı modüller akış fırınında ısıtılarak ara bağlantı işlemi tamamlanır. Daha sonra mekanik ısı iletim çubukları (piston) ve kapaklama yapılır. Burada başka bir güç işlem vardır: Böyle çok sayıdaki kırmıklarda oluşan ısıyı dağıtmak. Akordeon gibi kısa silindir çubuklar ile kapaktan alt kısma doğru ulaşılarak ısı dağıtılabilir. Isı kapak içi Helyum sirkülesi ile de dağıtılabilir. Bu yapı pistonlar ile direk kırmık kontağına izin vermekle beraber modülün hava geçirmezliğini de sağlamaktadır. Modül kırmıkları 29260 G/Ç ile bağlar ve sinyal ve gücü 1800 pine dağıtır. Daha sonra 20 tabaka içeren cam-epoksi karışımı PCB' ye direk olarak bağlanır. Her biri fotolitografi ile modellenir ve bakır plakalıdır. Borda 20000 delik delinir ve modülün pinlerini dikey olarak bağlamak için modül pinleri delikler arasından plakalanır. Sonunda böyle dört bord ana bilgisayardaki (Main Frame Computer) Merkezi İşlem Birimini (Central Processing Unit:CPU) oluşturur. Cam-fiber-epoksi dielektrikli levhalama teknolojisi ve bakır devreler geliştirilmiştir.

Paketleme alanında son gelişme Multi Kırmık Modülü (Multi Chip Modules:MCM) için seramik gövdede bakır /poliimid ara bağlantısıdır. Poliimid çok tabakalı seramik gövdeye püskürtülür veya döndürülerek boyanır.

x ve y sinyal çifti geleneksel litografi ile poliimid tabaka içerisinde oluşturulur. Bağlantı delikleri reaktif iyon aşındırmalı ve Cr/Cu/Cr metalurji saçılma ile oluşturulur. Seramik üzerinde poliimid kullanılması poliimidin süper dielektrik özelliklerini ortaya çıkarır. Bundan dolayı, düşük propagasyon gecikmesi, yüksek empedans ve düşük parazit oluşur. İşlenebilirlik ve düzlemsellik özellikli polimer kullanımı bu yaklaşımı yüksek performanslı IC paketlemede mümkün kılmaktadır. Kırmıklar son multi tabakalı yapıda TAB ile bağlanmıştır. Şekil 2.43 bu ince film çok tabaka paketleme teknolojisini göstermektedir. MCM yaklaşımı yüksek yoğunluklu paketleme için popüler olmaktadır.




**Şekil 2. 43. Seramik modül üzerindeki poliimid görünüşü [15]**

Yüksek performanslı paketlemede diğer yaklaşım pul ölçekli entegrasyon(Wafer Scale Integration :WSI)' dur. Bu durumda kırmık tüm pulu çevreler. Ara bağlantı hatları direk olarak IC işlemleri sırasında oluşturulur. Maalesef, çok büyük boyut ve IC işlemedeki sebepsiz kusurlardan dolayı devre kusurları önlenememiştir. Ek olarak termal yönetim ve sinyal grafikleri tehlike göstermektedir. [15]

### 2.1.9.7.1 Yüksek Bağlantılı Paketleme Mimarisi

1993' de SIA (Semiconductor Industry Association :SIA) gelecek yüzyıldaki tümdevrelerin özelliklerini belirlemiştir. Tablo 2.6, bir yılda hat genişliğinin 7 kat azaldığını göstermektedir.

Bu tablodan geleneksel yüksek-multi-kırmıklı CPUların geçmişte kalacağı görülmektedir. Bununla birlikte, çok seviyeli ve ön bellekli (cache memory) tek kırmık entegrasyonu mümkün olacaktır. Yeni kuşak mikroişlemcili Intel (P6) multi-kırmık güzel bir örnektir.

SIA tarafından verilen aşağıdaki altı bilgiyi göz önüne alalım:

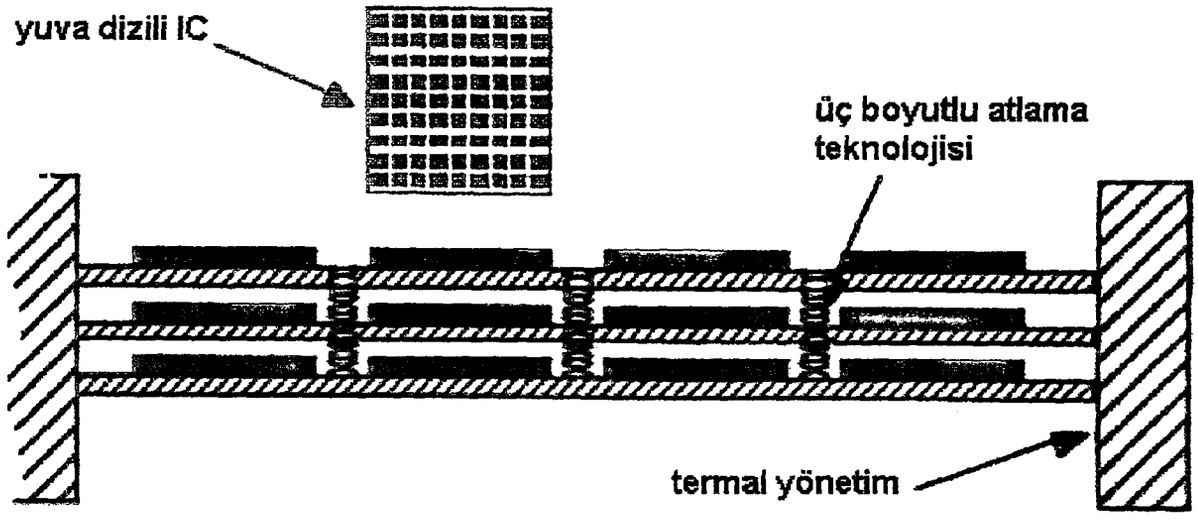
| | 1995 | 2001 | 2007 |
|---|---|---|---|
| Kırmık alanı/lojik $mm^2$ | 400 | 800 | 1250 |
| G/Ç sayısı | 750 | 2000 | 5000 |

Tablo 2. 6. SIA 1993 tahmini [16]

| | 1992 | 1995 | 1998 | 2001 | 2004 | 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alan(μm) | 0.5 | 0.35 | 0.25 | 0.18 | 0.12 | 0.1 |
| Kapı/cip | 300K | 800K | 2M | 5M | 10M | 20M |
| Bit/cip -DRAM | 16M | 64M | 256M | 1G | 4G | 16G |
| Bit/cip –SRAM | 4M | 16M | 64M | 256M | 1G | 4G |
| Pul maliyeti($/cm$^2$) | $4.00 | $3.90 | $3.80 | $3.70 | $3.60 | $3.50 |
| Cip alanı ($mm^2$) lojik/mikroişlemci- | 250 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1250 |
| Cip alanı($mm^2$)DRAM | 132 | 200 | 320 | 500 | 700 | 1000 |
| Pul çapı(mm) | 200 | 200 | 200-400 | 200-400 | 200-400 | 200-400 |
| Kusur yoğunluğu(kusur/$cm^2$) | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | 0.004 | 0.002 |
| Ara bağlantı seviye sayısı –lojik | 3 | 4-5 | 5 | 5-6 | 6 | 6-7 |
| Maksimum güç(W/zar) –yük. Per. | 10 | 15 | 30 | 40 | 40-120 | 40-200 |
| Maksimum güç(W/zar)-taşınabilir | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Güç kaynağı voltajı(V) –masaüstü | 5 | 3.3 | 2.2 | 2.2 | 1.5 | 1.5 |
| Güç kaynağı voltajı(V) –taşınabilir | 3.3 | 2.2 | 2.2 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| G/Ç sayısı | 500 | 750 | 1500 | 2000 | 3500 | 5000 |
| Performans (MHz) –cip dışında | 60 | 100 | 175 | 250 | 350 | 500 |
| Performans (MHz) –cip üzerinde | 120 | 200 | 350 | 500 | 700 | 1000 |

Alan iki kat arttığında IC perimetresi sadece 1.4 kat artarken G/Ç sayısı 2.66 kat artmaktadır. Gövdenin IC' ye bağlı olduğu IClerde G/Çlar iki boyutlu dizi oluştururlar. Bu yapı gövde bağlantılarının eleman bağlantılarına çok yakın olmasına neden olur.

Gerçekte aynı IC üzerinde bağlantı yuvaları arası yapılan bağlantı bazen bord seviyesinde gerçekleştirilebilir. Gövde ve Si sandviçli paketleme teknolojisi 3-boyutlu paketleme sisteminin temelini oluşturabilir. Geleneksel yüksek performanslı tek CPU oluşturmak için büyük sayıda IClerin bağlanması tarih olacaktır. Şekil 2.44' da üç boyutlu paketleme teknolojisi gösterilmiştir. [16]




**Şekil 2. 44. IC yuvalı bölge dizisinden oluşan üç boyutlu paketleme [16]**

## 2.2 Bilgisayar Entegreli Üretim

Bilgisayar entegreli üretim (Computer-Integrated Manufacturing:CIM) bilgisayar kontrollü üretim demektir. CIM bütün üretim işlemlerini bir araya getirir. Bu ürünlerin ayrı ayrı kontrolünü, bütün işlemleri ve hemen hemen her parçanın ana bilgilerini de içerir.

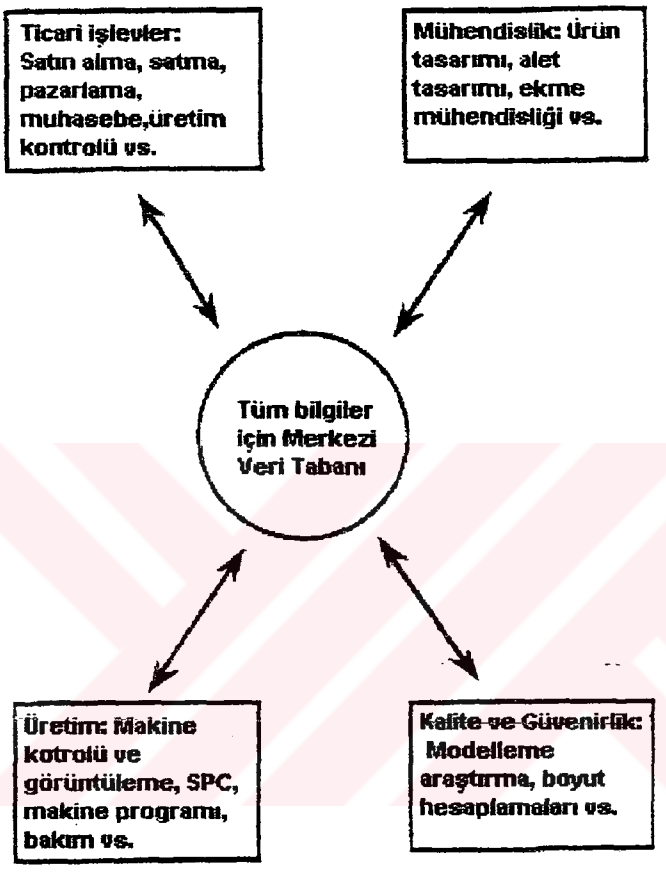
Fabrika otomasyonu bilgisayar komutları ile çalışan NC cihazları ile başlamıştır. İşlemler bilgisayar kontrollü olduğu halde işlemler arasında herhangi bir bağlantı yoktu. CNC teknolojisi ile işlemler bir bilgisayarla yürütüldüğü halde her şey hala ayrı olarak yapılıyordu. Bir sonraki adımda çalışma hücreleri vardır. Sonunda ürünlerin toplam otomasyonu sağlanmıştır.

Üretim sahasında bu gelişmeler yaşanırken ürün tasarım gelişimi de bilgisayarla yapılır hale gelmiştir. Tarihsel olarak tasarım alanında mavi iz kullanıldı. Bir parçayı oluşturmak için tasarım mühendisi parçayı tasarladıktan sonra geleneksel çizim tekniği kullanarak mavi izi oluşturuyordu. Bu iz doğrultusunda parça üretiliyordu. İster elle üretilsin isterse CNC ile üretilsin iz gerekli idi.

Son on yılda bilgisayar grafik alanında büyük gelişmeler oldu. Bugün bilgisayarda çizim yapmak için gereken bilgisayar sisteminin değeri 4000-100.000 Dolar (ABD) arasındadır. Bu teknoloji Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design:CAD) veya Bilgisayar Destekli Çizim(Computer-Aided Drafting:CAD) olarak adlandırılır. CAD alanı bugünün tasarım ve çizimini getirmiştir. Bundan böyle parçalar mavi iz üzerine çizilmeyecektir. Bütün parça bilgilerinin bulunduğu bilgisayar dosyaları ana çizimi oluşturur. Bu dosyalar CAD sistemleri arasında transfer edilebilir. Üretici parçayı görmek isterse telefon hattı ile bilgisayar dosyası kendi CAD sistemine transfer edilebilecektir.

CAD dosyaları CNC cihazında birleştirilir Böylece ürün tasarımı ile üretimi arasında direk bağlantı sağlanmış olur. Bu bağlantı Bilgisayar Destekli Üretim(Computer-Aided Manufacturing:CAM) sistemi olarak adlandırılır. CAM, bilgisayar dosyalarının CAD sisteminden üretim sistemine direk olarak bağlanmasıdır.

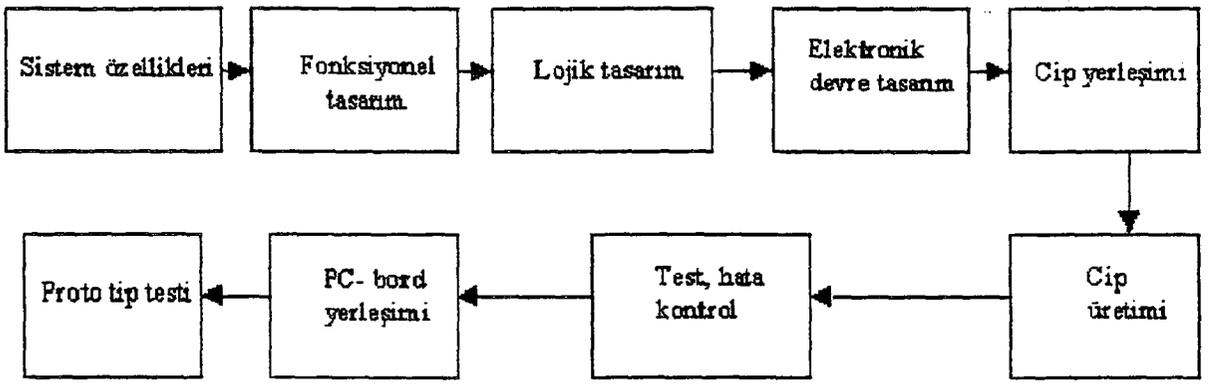
CAM adımından sonra CIM gelir. CIM bütün bilgisayarların ve otomasyon kontrollerinin tamamen bilgisayar kontrollü bir üniteye bağlanmasını içerir ve üretim aşamasındaki işlemleri yönetir. Bütün CAD ve CAM sistemleri, otomasyon kontrol sistemleri, hesap ve bilgi sistemleri, kalite kontrol bilgileri, pazarlama ve bilgi alma, cihaz tabloları ve hemen hemen tüm işlemlerin tüm diğer bilgileri tek bir bilgisayar ağını oluşturur. Bu ağ üretimi planlamak ve gerçekleştirmek için gerekli olan tüm bilgileri içerir. Şekil 2.45 CIM sisteminin blok diyagramını göstermektedir. Bu geleceğin tam otomasyonlu fabrikasıdır. [17]




**Şekil 2. 45. CIM İşlemi [17]**

### 2.2.1 Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayarlar sistemlerin gelişim ve tasarım aşamalarının tamamında kullanılmaktadır(Şekil 2.46). Önceleri tasarım otomasyon (Design Automation:DA) olarak adlandırılmasına rağmen insan olmadan sistemi tamamlamak en hızlı bilgisayarlarla bile imkansız olduğundan bu çalışmaya Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design:CAD) denmiştir. Tasarım, simulasyon, test vb. prosedürler CAD programı olarak adlandırılırlar.




**Şekil 2. 46. LSI/VLSI sisteminin gelişim ve tasarımındaki çeşitli aşamalar [18]**

CAD programının geliştirilmesinin amacı tasarım ve geliştirme süresini kısaltmak, tasarım hatalarını en aza indirmek, tasarım değişikliklerini yapmak, tasarım doğrulanması ve testi sürelerini kısaltmaktır. Kırmıklar ve dijital sistemler karmaşıklaştıkça tasarım ve geliştirme süresi artmakta, daha fazla insan gücü gerektirmekte ve orantılı olarak tasarım ve geliştirme maliyeti artmaktadır. Bundan dolayı, CAD kullanarak ürün maliyeti, tasarım ve geliştirme süreleri azaltılabilir.

CAD programının önemi tasarımdaki yerine göre değişir. Örneğin; SPICE2 elektronik devre simulasyonunda zorunlu bir programdır. Bununla birlikte karışık görevleri yerine getiren CAD programları daha az bir öneme sahiptir. Bazen uygun CAD programları geliştirilmeyebilir. Şekil 2.46' deki farklı adımlar için uygun CAD programları verilmiştir:

i. Sistem Özellikleri, Fonksiyonel ve Lojik Tasarım

Bir dijital sistem tasarlanacağı zaman sistem performansı belirlenmelidir. Buna sistem özellikleri denir. Daha sonra sistem alt ünitelere ayrılır.. Alt üniteler arasındaki fonksiyon ilişkilerini belirleyen fonksiyon tasarımı bu aşamada gerçekleştirilir. Bilgisayar sistemi en iyi şekilde alt ünitelere dayandırılarak tasarlanabilir. Mimari genellikle fonksiyon tasarımı ve sistem özelliklerini içerir. Daha sonra alt üniteleri oluşturan lojik tasarıma ihtiyaç vardır.

Sistem özellikleri, fonksiyon ve lojik tasarım hala CAD kullanımının en zor kısmıdır. Çünkü büyük oranda elle yapılırlar. CAD programları ile lojik tasarım gerçekleştirilmesine rağmen, zaman entegre alanından daha önemli olduğunda sonuç hayal kırıklığı olmuştur. Örneğin; ALERT programı ile gerçekleştirilen lojik tasarım insan ile gerçekleştirilenden 160% daha fazla kapı gerektirmektedir. İnsan gücü ile daha fazla zaman gerektiğinden entegre alanı arttıkça bu durum tersine dönmektedir.

ii. Lojik Simulasyon

Sistem mimarisi veya lojik ağ tasarlandıktan sonra performans ve hatalar CAD programları ile kontrol edilir. Buna '**lojik simulasyon**' denir. Aynı zamanda CAD programları genellikle ağın tehlike içerip içermediğini de kontrol eder. Bazı lojik simülasyon programları piyasaya sunulmuştur. Elektronik devre tasarımı, yerleşimi ve prototip pul üretiminin hatalarını kırmık üretildikten sonra bulmak fazla zaman ve maliyet gerektirdiğinden lojik simülasyon önemlidir.

iii. Bölme ve Kırmık Üretimi

Lojik tasarım tamamlandıktan sonra tüm ağ her bir ağ IC kırmığı olacak şekilde bölünür. Her bir kırmığa bağlanacak pin sayısı sınırlı olduğundan bir kapı grubu ile ara bağlantılar mümkün olduğu kadar bir tek kırmığa kümelenecek şekilde bölünür.

Daha sonra her bir kırmığın iç tasarımı gerçekleştirilir. Tüm kırmık alanı, farklı ağlar farklı alanlara gelecek şekilde alanlara bölünürler. Yüksek hız performansını koruyarak tüm kırmık alanı minimum olacak şekilde ağlar bu alanlara yerleştirilir. Böyle bir kırmık planı tasarlayıcısı her bir ağın ne kadar alan kullanacağını tam olarak bilemez (her bir ağın alanı sadece elektronik devre ve yerleştirme tasarımından sonra belirlenir). Sadece tecrübeli tasarımcılar iyi bir tahmin yapabilirler. Bazı ağlar belirli bölgeye uymazlarsa kırmık alanı elektronik devre tasarımı ve yerleşim tasarımı yeniden tekrarlanır.

iv. Elektronik Devre Simülasyonu ve Analizi

Lojik ağlar elektronik devrelere çevrilmelidir. Tasarımcıların hız, güç, lojik operasyon çeşidi ve sinyal seviye toleransı gibi elektronik devre gerekliliklerini belirleyen transistor boyutu ve akım büyüklüğü gibi parametreleri tanımlayan ve elektronik devre gerekliliklerini karşılayan CAD programını kullanması en akıllı yöntemdir. Tasarımcılar yerleşim planından devre parametrelerini elde ettikten sonra CAD programı ile devreyi analiz ve simüle ederek tasarımı tamamlarlar.

CAD programı, elektronik devrenin simülasyonu ve analizinde elektronik devreyi karakterize eden doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin kompleks nümerik analiz hesaplarını gerçekleştirir. Gereken hassasiyet ve zamanda geliştirilmiş bir çok nümerik analiz teknikleri kullanılır. CAD programları genellikle geçiş davranışı analizi, DC ve AC performansı, sıcaklık, sinyal distorsiyonu, gürültü bağışıklığı, duyarlılık ve parametre optimizasyonunu içerir.

TAP, ECAP(IBM) ve NET1 SSI ve MSI' da kullanılmak üzere 1964 ve 1972 arasında, ASTAP(IBM) ve SPICE CAD programı LSI için 1973' de geliştirilmiştir. CIRCUS2, SPICE2, TAP, NETII, SUPEB SCEPTRE ve UCCAP gibi CAD programları hala kullanımdadır. Bu programların çoğu birkaç transistor içeren devrelerde kullanılır. Özellikle SPICE2 ve versiyonları endüstride geniş olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen programları LSI/VLSI kırmıklarında kullanamayız. MOTIS Bell Labs tarafından 1975' de geliştirilmiştir. MOTIS, 1000 MOS hücreli ve MOTIS-C, 2.500 MOS hücreli devrelerde kullanılır. Bu iki programda MOS devre geçici ve sınırlı olmasına rağmen, verim iki kat artmıştır. MOSTAP aynı zamanda lojik simülasyonu da gerçekleştirir. [18]

## 2.3 Üretim Teknolojisi

5. 10 yılında yarı iletken endüstrisi devrim gelişmelerinden sonra evrim gelişmesini üretimde gerçekleştirmiştir. Ürün ve işlem geliştirme endüstride fazla yer kaplamasına rağmen, iş dünyasına yenilikler getirmiştir. Yüksek verimle birlikte yeni işlem ve cihazlar tüm üretkenlikle ölçülmektedir. Alt çizgiyi yükseltme stratejileri cihaz fiyatlarını maksimize etme, otomasyon, maliyet kontrolü, bilgisayar otomasyonlu üretim, bilgisayar entegrasyonlu üretim ve istatistiksel işlem kontrollerini içerir.

### 2.3.1 Fabrika Ekonomisi

Yarı iletken endüstrisi 1940lardan sonra ticari ürünler sunarak başlamıştır. Üretim laboratuar çalışmalarından biraz önce olmakla birlikte laboratuar çalışanları teknolojistler tarafından eğitilmiştir. 1970lerde tümdevrelerin toplam fabrika masrafı yılda 1 milyar Dolar (ABD) dır. Üretim manzarası üretim çalışanlarının kullandığı çok özel oda temizleme cihazları ile

değişmiştir. 2000-3000 $feet^2$ fabrikasyon bölgesi 2-3 milyon Dolar (ABD) ile kurulabilir. VLSI çağı, pul fabrikasyon bölgesinin değerini ve görünüşünü değiştirmiştir. Boyut aynı olmasına rağmen, masraf 100 milyon Dolar (ABD) a çıkmıştır. Gelişmelerin çoğu 10. ve 1. sınıf temizlenen odalar, özelleştirilmiş ve otomatikleştirilmiş cihazlar ve işlem kontrol sistemleri sayesinde gerçekleştirilmiştir.

1990ların ortalarında piyasaya yüksek bellek ve mikroişlemciler sunulmuştur ve 1-2 milyar Dolar (ABD) fabrikasyon masrafına ulaşılmıştır. Etiket değeri işlemleri yürüten faktörler göz önüne alındığında sürpriz değildir. Piyasa daha yüksek kabiliyetli ve daha hızlı devre talep etmektedir. Yani daha fazla transistorlu (ve diğer elemanlar) ve daha küçük alan kaplayan kırmıklar talep edilmektedir. Bu seviyede üretkenliği ve verimi sürdürmek yüksek maliyette büyük pullar gerektirir. Küçük toleransla büyük pulları işleyecek cihazlar pahalıdır. Büyük pul boyunca (veya tek pulu işleyen cihazlarda) gereken doğrusallığı sağlayacak gelişmelere ihtiyaç vardır. Otomatik tutma cihazları bu amaca hizmet etmektedir. Küçük ve çok yakın paketlemiş elemanlar kirliliğe karşı çok duyarlı olduğundan elbette bütün malzemeler ve işleme süresi temiz tutulmalıdır. Bu seviyelerdeki testler ve tanımlamalar ürün kalitesini ve hızla büyük hacimlere doğru gelişen işlem kontrolünü arttırmalıdır.

ULSI işlem adımlarındaki gelişme örnek olarak verilebilir. Pullar yarı iletken elemanlar için çok uygun olmasına rağmen, yarı iletken olmayan devre elemanları pul yüzeyi üzerindeki tabaka kullanılır. Elemanların küçük ve birbirine yakın olarak sıkıştırılması problemlere neden olmuştur. Bu problemler topografik gölge problemlerini planarizasyon tekniği ile çözmek gibi yeni ek işlemlerle çözülmelidir. Ek işlemler ürün stoku maliyetini ve işlemleri artırır.

Bütün bu maliyetin artması her bir kırmık fiyatını rekabet ve geliştirilmiş üretkenlik ile birlikte azaltmaya devam etmektedir. Kırmık üreticileri verimi, ürünü ve kontrol masraflarını tüm seviyelerde geliştirmeye devam etmektedirler. İşlemlerde, maliyette ve piyasadaki değişmelere rağmen, fabrikasyon bölgesinin tüm finansal ölçümü aynıdır: Fabrikasyon pazarlanan (imalattan halka satış) zar fonksiyonu başına düşen maliyettir. Bu değer tüccar karını aştığı zaman ölçü pazarlanan zar başına düşen maliyet olur. Mega-kırmık dünyasında transistor maliyeti belirleyici parametre olmaktadır.

### 2.3.1.1 Pul Fabrikasyon Maliyeti

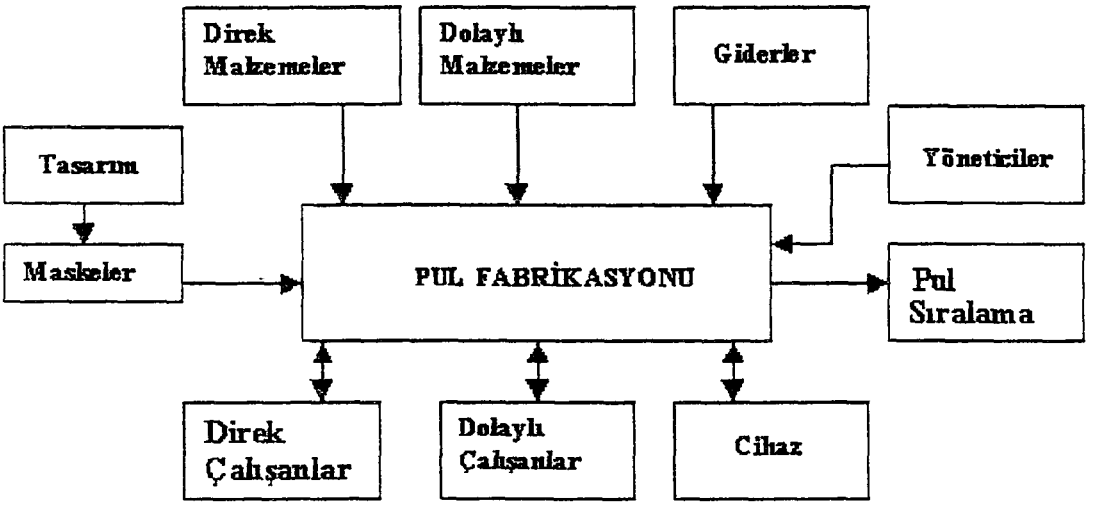
Fonksiyonel zar üretim maliyetini bir çok faktör etkiler(Şekil 2.47). Genellikle sabit ve değişken olmak üzer iki sınıfa ayrılabilir. Sabit maliyetler pazarlanan veya yapılan zar maliyetidir. Değişken maliyetler ise üretilen ürün hacmine bağlı maliyetlerdir.

Sabit Maliyetler

i. Üst tabaka: yönetim ve bina
ii. Cihaz

Değişken Maliyetler

i. Malzemeler: Direk ve dolaylı
ii. Laborant
iii. Ürün




**Şekil 2. 47. Fabrika maliyet faktörleri [19]**

Üst tabaka:
Üst tabaka maliyetleri yönetici ve çalışanlar ile bina giderlerinden oluşur. Şirket büyümesinin önemli bir gerçeği yönetici personel sayısının üreticilerden daha hızlı artmasıdır. Şirket büyüdükçe şirket içi bilgiler artacaktır. Müşteri ve bayilerden gelen bilgiler artacaktır. Bu iki gereklilik üründen ziyade bilgileri işleyen çalışanların sayısını artırmıştır. Endüstrileşmiş ekonominin yaklaşık 50%' si bilgi işlemeyi içerir. Ana üst tabaka masrafı tasarım çalışmalarıdır. Pahalı CAD sistemleri ve büyük profesyonel tasarım takımı ile devre tasarım maliyeti göz önüne alınmalıdır. Büyük sayıda farklı devrelerin tasarlandığı ve üretildiği ASIC fabrikasyonunda tasarım maliyeti artmaktadır.

Bina maliyetleri ve giderleri ana bir masraf unsurudur. Fabrikasyon bölgesi toplam bina alanının sadece 20% sini kapladığı halde masrafların büyük çoğunluğunu oluşturur. Havalandırma, kimyasal depolama, dağıtma ve temiz odaların maliyeti ana masraflardır. ULSI fabrikasyonu için gerekli temiz oda masrafı foot$^2$ alanı için binlerce dolardır. Kesin zemin maliyeti, seçilen temizlik stratejisinin bir faktörüdür. Tamamı temiz bir oda hibrit bir küçük çevreden daha pahalıdır. Son zamanlarda cihaz masrafı temiz odalardan daha fazla olmaktadır.

Malzemeler:
Üretim malzemeleri direk ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Direk malzemeler kırmık üzerinde veya içinde direk olarak kullanılan malzemelerdir. Pul malzemesi, eklenilen tabaka malzemesi ve paketleme malzemeleri direk malzemelerdir. Dolaylı malzemeler maskeler, reticleler, kimyasal maddeler, destek malzemeleri ve diğer ürüne girmeyen, fakat işlemlerde kullanılan malzemelerdir.

Cihaz:
Elemanların ve pulların fabrikasyonunda direk olarak kullanılan cihaz masrafıdır. Sabit masraf olarak veya değer kaybı gider olarak masraf hesaplarında gösterilir. Değer kaybı, makinelerin eskidikçe değerini kaybetmesi veya kullanılamaz hale gelmesi demektir.

Laborant:
Laborantlar direk ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Direk laborant gerçekten pulları ve cihazları kullanan çalışanlardır. Dolaylı laborant yönetici. mühendis, teknisyen ve ofis çalışanları gibi destek personelidir.

Verim:
Tüm fabrikasyon verimi değişik maliyetlerin son zar maliyetini nasıl etkilediğini belirler. Eğer zar verimi düşükse zar maliyeti artar. Zar fiyatını sabit masraflarla birlikte gerekli malzemelerin maliyeti belirler. Verim maliyet ile birlikte hesaplandığı zaman zar maliyet verimi olarak adlandırılır. Zar verimini hesaba katmadan üretilen pul maliyetine zar maliyeti verimsizliği denir.

Zar maliyeti pul büyüklüğü, zar büyüklüğü ve pul sıralama veriminin bir fonksiyonudur.

300 zarlı, 6 inch pul çaplı ve 300 Dolar (ABD) değerindeki bir pul üretim maliyeti her biri 1 Dolar (ABD) olmak üzere zar maliyeti verimsizliğine dönüştürülebilir. Eğer zar sınıflandırma verimi 50% ise zar maliyeti her biri için 2 Dolar (ABD) olacaktır(300 Dolar (ABD) pul maliyeti 150 zara bölünmüştür).

Maliyet Dağılımı:
Verimsiz zar maliyetini etkileyen tüm faktörler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir(Tablo 2.7). Yüzdeler pul ve yüzey büyüklüğü, otomasyon derecesi ve işlem adımları sayısı ile değişebilir.

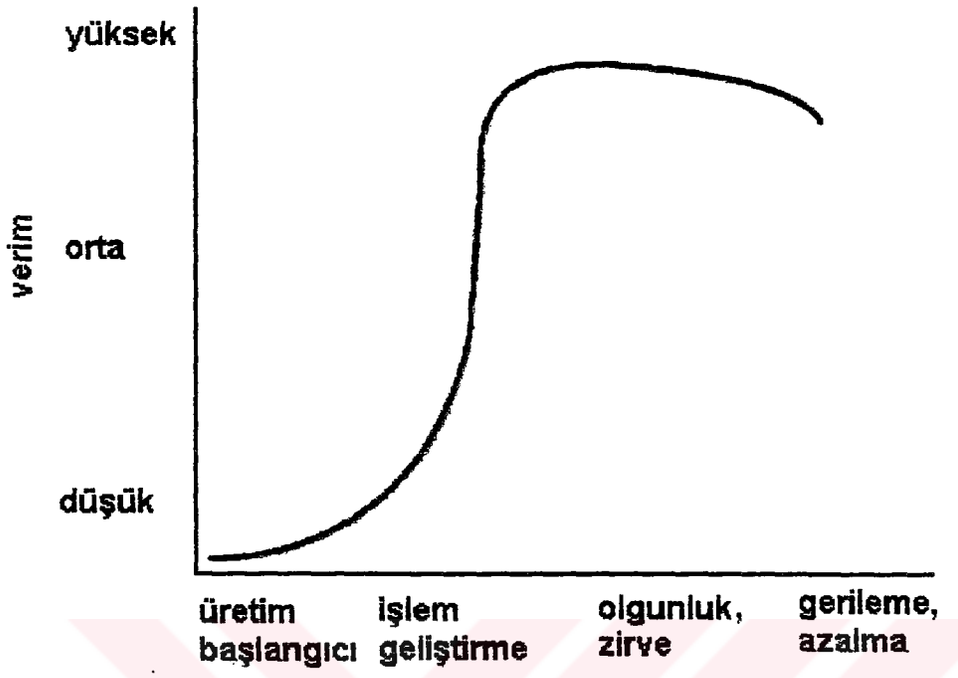
**Tablo 2. 7. Verimsiz zar maliyetini etkileyen faktörler [19]**

| Faktör | Katkı, % |
|---|---|
| Yöneticiler ve kullanımlar | 8 |
| Malzemeler(toplam) | 44 |
| Cihaz aşınması | 25 |
| Çalışanlar | |
| Direk | 17 |
| Dolaylı | 6 |

Gerçek pul ve zar maliyeti:
Bütün pul maliyeti faktörleri tartışmalarında gerçek maliyet merak konusudur. Bu değer devrenin kompleksliği ve olgunlaştırma periyodundaki ürünün yeri ile belirlenir(Şekil 2.48). İşlem ve ürünlerin olgunlaştırılması verimi artırır ve cihazın eskimesini yavaşlatır. Yeni ürünler operatörlerin öğrenme eğrisini, cihaz çalışma zamanını ve yeni işlemlerin geliştirilmesini gerektirir. Pul hacmi ve çeşidi maliyet üzerindeki ana etkenlerdir. DRAMlar gibi yüksek hacimli ürünler yüksek üretim verimliliğine sahip olduğundan pul veya transistor en düşük maliyete sahiptir. Diğer taraftan, ASIC pulları daha küçük üretimden dolayı yüksek maliyete ve değişik ürün karışımı için gerekli yüksek tasarıma ve işlem maliyetine sahiptir. Maliyet aralığı basit ve ayrık ICler için 100 Dolar (ABD) olup geliştirilmiş ürünler için birkaç yüz dolardır.

Değer Şekilleri:
Mali maliyet şekillerinin yanında fabrikasyon bölge verimliliği değerin bir çok şekilleri ile belirlenir. Birincisi, operatörün işlediği pul sayısıdır. Bu sayı yaklaşık olarak 16 dır. İkincisi,

bir şekil ise fabrikasyon bölgesinin foot$^2$ 'sine düşen pul sayısıdır. Bu sayı fabrikasyonun foot$^2$' sine ayda yaklaşık olarak iki pul düşer.




**Şekil 2. 48. Pul üretim kaybı-üretim olgunluğu grafiği [19]**

Verimin Gelişmesi:
Geleneksel ticaret faktörlerine çok fazla önem verildiği halde işlem ve pul verimine daha az önem verilir. Verimin geliştirilmesi etkisi dolar bazında belirleyici olabilir. Tablo2.8' deki verim değerlerini göz önüne alalım. Hat 2 pul fonksiyonunun verim gelişiminin 5% artması tüm verime 38%' den 40.4%' e yani 1.2% artmasına neden olur. Fabrikasyon bölgesi ayda 10.000 pulla başlarsa, her pulda 350 zar varsa ve her bir zarın satış fiyatı 5Dolar (ABD) ise getireceği gelir;

10.000pul başlangıç*350 zar/pul*0.012(1.2%*$5)=$210.000/ay

olacaktır.

**Tablo 2. 8. Fabrikasyon verimini geliştirmenin verime etkisi [19]**

| İşlem | Değişiklik | Fabrikasyon | Sınıflandırma | Montaj | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|
| Temel hat | | 0.80 | 0.50 | 0.95 | 0.38(38%) |
| | Fab. 0.81 | 0.81 | 0.50 | 0.95 | 0.384(38.4%) |
| | Fab. 0.85 | 0.85 | 0.50 | 0.95 | 0.404(40.4%) |

### 2.3.1.2 Üretim Stratejileri

Üretim stratejileri pul veya transistor başına düşen maliyeti azaltma, fabrikasyon bölgesi yerleşimi, kirlilik kontrol sistemi, cihaz ve otomasyon seviyesi, işlem kontrol programları ve malzeme yönetme şemalarını içeren bir çok faktöre bağlıdır. Aşağıda bu etkenlerin her biri incelenecektir.

#### 2.3.1.2.1 Kirlilik Kontrol Sistemi

Kullanımda olan iki ana kirlilik kontrol sistemi vardır. Bazı üreticiler 1. sınıf veya çok iyi hava kaliteli tamamen temiz bir oda inşa eder. Bu yaklaşım en yüksek bina maliyetine sahip olup süreklilik ve kirlilik kontrol programları gerektirir. Pul izolasyon teknolojisi (Wafer Isolation Technology:WIT) veya küçük çevre kullanımı diğer bir yaklaşımdır. Temiz kutular ve cihaz ara fazları yüksek yatırım gerektirir, fakat fabrikasyon bölgesi düşük sınıf değerlerinde olabilir.

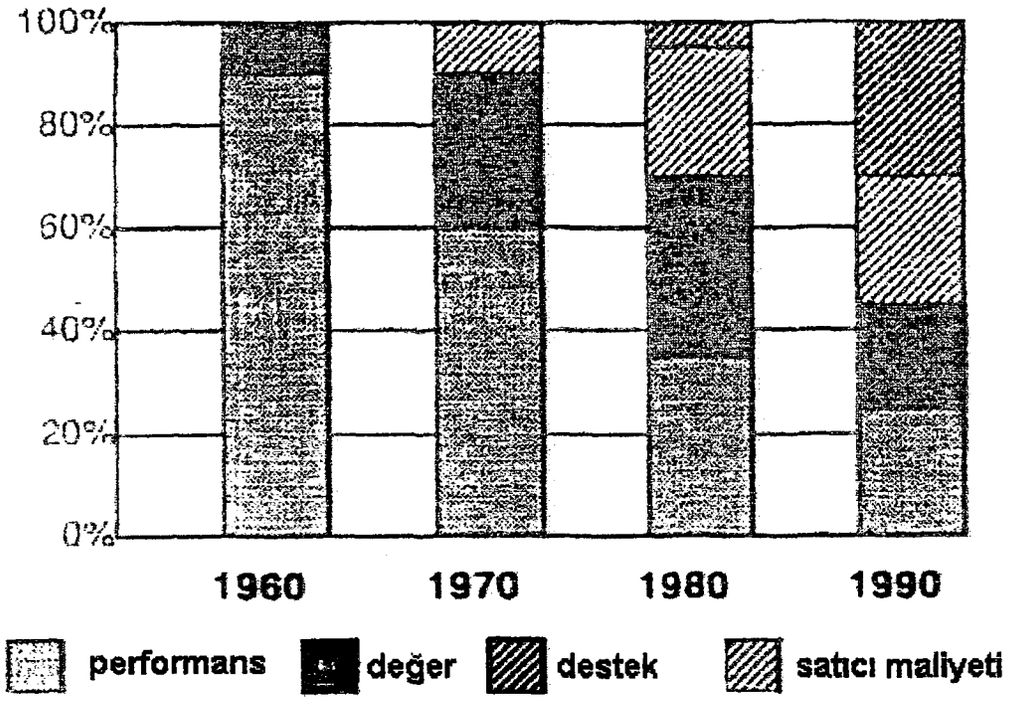
#### 2.3.1.2.2 Cihaz

Uzun yılar sonunda yarı iletken işlemi laboratuar çalışmalarında geliştirilmiş ve özelleştirilmiş cihazlar kullanan tam üretime doğru değişmiştir. Yarı iletken özel cihazların gelişimi ULSI çağındaki gelişmeleri beraberinde getirmiştir ve teknolojinin dünya çapında yayılmasını sağlamıştır. 1970lere kadar bir çok temel cihaz elle kontrol ediliyordu. İşlem verimliliği '**işlem çimdiklemesi**' olarak adlandırılan işlemleri mühendislerin monitörde gösterme ve ayarlama işlemine bağlıdır. IBM' in yarı iletken makineleri için kullandığı alet (tool) terimi endüstriyel bir kelime olmuştur. Aletler geliştirildikçe aletlerin maliyeti ana masraf haline gelmektedir. ASA- bilgi hesabı dünyadaki kırmık ticaretinin 804 milyar Dolar (ABD) ve cihaz malzemeleri ticaretinin 77 milyar Dolar (ABD) olduğunu göstermektedir.

##### 2.3.1.2.2.1 Cihaz Seçim Faktörleri

Şekil 2.49' de görüldüğü gibi alet seçiminde bir çok etken söz konusudur. Etkenleri performans ve ekonomi olmak üzere iki ana sınıfa ayırabiliriz. İstenildiği şekilde cihazın ürün üretme kabiliyetine "**performans**" denir. Ekonomik faktörler ise fiyat, maliyet ve destek (teknik destek gibi) tir. Şekil 2.49 endüstrinin üretim çağına geçmesiyle bu faktörlerin nasıl değiştiğini göstermektedir.

Performansa verilen önemin azalması bir kriter olarak seçilse bile her bir alet işlem gerekliliklerini sağlayacak temel kabiliyetlere sahip olmalıdır. Eğer makine doğru ürünü her zaman üretemiyorsa artık kullanılamaz hale gelmiş demektir. Diğer performans faktörleri de tekrarlanabilirlik, esneklik, modernleştirilebilme, çalıştırma ve kurma kolaylığı, güvenirlik ve kullanma süresidir. Tekrarlanabilirlik aynı ürünü her zaman ve uzun süreli çalışmada üretebilmektir. Esneklik makinenin çeşitli ürün ve işlemleri gerçekleştirebilme kolaylığıdır. Bu özellik ASIC ve diğer küçük fabrikasyonlar için önemlidir. Modernleştirebilme (güncelleme) pul çapını büyütmek gibi gelecekteki işlem gerekliliklerine ayak uydurabilme kabiliyetidir. Bu faktör en son üretim teknolojisinin geçerli olduğu ASIC işlerinin fabrikasyonunda çok önemlidir. Fabrikasyon bölgesinde aynı veya benzer ürünler uzun süre üretildiğinden güncelleme kabiliyeti az bir öneme sahiptir.




**Şekil 2. 49. Cihaz satın alma faktörlerinin değişimi [19]**

Çalıştırma ve kurma kolaylığı iyi tasarımlarla operatör hatalarını en aza indirme ve kolay kullanılabilmedir. Kurma bir aletin kullanıma hazır hale getirilebilmesi için gereken zamanı ve üretim zamanı kayıpları ile ilgilidir.

Bir çok şirket cihazları günün 2/3' ünde bazen de haftanın 6 gününde kullanırlar. Programsız kullanım ve programsız aksaklıklar işlem akışını durdurur ve maliyeti artırır. Bu etkenlerin tümüne "**kullanım süresi**" faktörü denir. Kullanım süresi programlı kullanım frekansı ve süresi, ortalama kayıp zamanı (Mean Time Failure:MTF) ve ortalama tamir (bakım) zamanından (Mean Time Repair:MTR) oluşur. Makinelerin maliyeti ve bakımı yüksek masraf değerlerine ulaşır. Satıcı makinenin uzun süre çalışmasını (MTF) bozulduğunda kısa sürede tamir edilmesini (MTR) ve bakım gerektirmeyecek şekilde uzun süreli çalışmasını sağlamalıdır. Makinenin işlemleri gerçekleştirmesi için gereken malzemeler de masrafa dahildir. Malzemeyi israf eden makineler parayı da israf ederler.

Satıcı desteği önemli bir faktördür. İşlem teknolojisi ve cihaz gelişimi kırmık üreticileri ve satıcıları arasında sıkı bir işbirliğini gerekli kılmıştır. Makine geliştirme masrafı işlem mühendislerinin kullandığı bilgilere ve makinenin ayrıntılı özelliklerine bağlıdır. Yönetici Tom Peters modern şirketlerin "**bıcak ağzında**" (fuzzy edge) olduğunu görmüştür. Bu bağlamda şirketler gerekli cihaz ve malzemeleri geliştirmeli, bu cihaz ve malzemelerin bilgilerini elde ederken müşteri ve satıcısına güvenmelidir. Bu durum yarı iletken endüstrisinde tam olarak uygulanabilir. Model Japonya yarı iletken endüstrisi tarafından başarı ile gerçekleştirilmiştir.

#### 2.3.1.2.2.2 Satın Alma Maliyeti

Cihaz satın alma kararı satın alma maliyet (Cost Of Ownership:COO) modelinin geliştirilmesine bağlıdır. Bu model cihaz, işlem ve kullanım süresi boyunca alıcının toplam masrafını belirleyen ilgili faktörleri bir araya getirir. Cihazın ilk satın alınma fiyatının ötesinde cihazlar, kapladıkları yer, kullanacakları malzeme ve güç miktarlarına, pul özelliklerine, bakımına, tamirine ve bozulma oranlarına göre ayrılırlar. Cihaz satın alma için SEMATECH tarafından geliştirilmiş bir COO formülü aşağıda verilmiştir:

$$CW=(\$F+\$V+\$Y)/(L*TPT*Ytpt*U) \quad (2.2)$$

Burada;

CW: cihaz ve işlemlere bağlı olarak belirlenen bitirilmiş pul maliyeti,
$F: cihaz satın alma fiyatını, bina masraflarını ve diğerlerini içeren sabit maliyeti,
$V: cihaz çalışıyorken veya işlemler gerçekleştiriliyorken oluşan malzeme, laborant ve işlem maliyeti,
$Y:pul kayıpları maliyeti,
L: cihazın çalışma zamanı,
TPT: bakım gereklilikleri, kurma, pul testi ve diğer nedenlerden dolayı maksimum değerden düşürülen pul verimi(saat),
U: işlem zamanını maksimum değerden düşüren cihaz kullanımı faktörü,
Ytpt: verim faktörünü

gösterir.

Her bir denklem parametresi belirli bir işlem için yan faktörlerin göz önüne alındığı formüllerden hesaplanır. COO formülü çeşitli aletlerin ticari özelliklerini belirlemede bir metottur. Örneğin; bir aletin masrafı fazla olabilir. Bu dezavantaj düşük çalıştırma maliyeti veya uzun süre bakım gerektirmeyecek olması ile dengelenebilir veya bir alet yüksek verime sahip olabilir, fakat bir çok ayarlama ve kalibrasyon gerektirebilir.

### 2.3.2 Otomasyon

Endüstri geliştikçe teknoloji kararlı hale gelecektir. Bununla birlikte piyasa talepleri de artacaktır. Bu iki durum işlem otomasyonunun öncüsüdür. 1940lardan beri petrol rafinelerinin otomasyonu işçi sayısını 5 kat azaltmıştır. Cihazların pulları kasetler içinde işlemeye başladığı 1970 yılından beri yarı iletken otomasyonu gelişmektedir. Bundan sonra otomasyon ile fabrikasyon işlemlerinin "**insansız gerçekleştirilmesi**" rüyası gerçekleşmektedir. Otomasyon cihazlarla başlamış olup tüm fabrika seviyesine doğru yayılmaktadır.

#### 2.3.2.1 İşlem Otomasyonu

Birinci otomasyon seviyesi işlem otomasyonudur. Bir çok yarı iletken cihaz işlemin sadece bir kısmını otomatik olarak gerçekleştirir. Fotodirenç makinesi otomatik olarak direnci dağıtır ve doğru hız ve zamanda dirençlemeyi yapar. Otomatik gaz akışını kontrol eden cihaz gerekli zaman, basınç ve miktarda gazı yayar. İşlem otomasyonu insana bağlı olmayan işlem ve ürünleri gerçekleştirir. Çoğu cihazlar bilgisayar programlı komut seti tarafından kontrol edilir. Bu programlara "**menü**" (recipe) denir. Menü operatör veya bilgisayar ile makineye yüklenir.

### 2.3.2.2 Pul Yükleme Otomasyonu

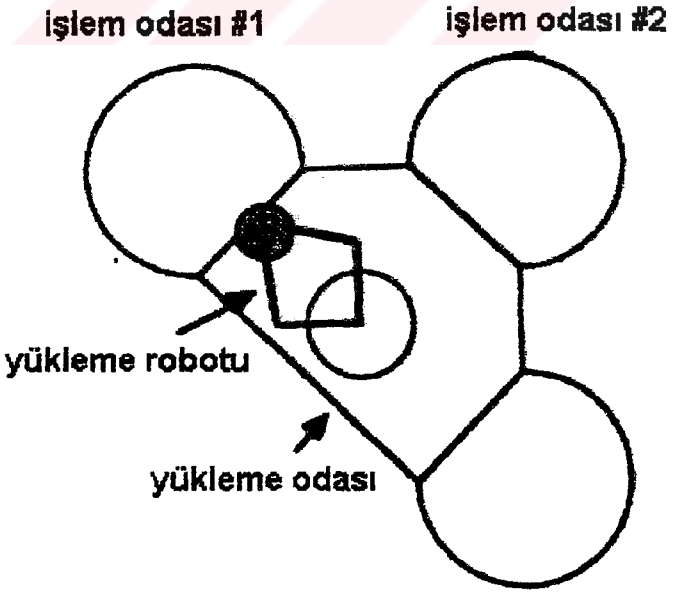
Sonraki seviye otomasyon pul yükleme ve boşaltmadır. İlk pul tutucu ve transfer aracı olarak pul kaseti kullanılıyordu. Kasetler makineye bir çok mekanizma ile yerleştirilebilir. Asansör, pul çıkarıcı veya robotlar pulu belirli işlem odasına veya diğer bölgelere yerleştirirler. İşlem tüpleri gibi bazı işlemlerde kaset işlem odasına yerleştirilir. Bu seviye otomasyon "**tek buton işlemi**" (one button) olarak adlandırılır. Tek buton ile operatör yükleme sistemini çalıştırır ve pullar işlenerek kasete tekrar iade edilirler. İşlem sonunda makine bir ışık veya sesle operatörü uyararak kaset çıkarılır.

Bazı makineler makine verimini artıran her zaman işlenecek yeni pullar hazırlayan tampon(buffer) yükleme sistemine sahiptirler. Operatör kasetleri makineye yükler ve başlatma butonuna basar. Makine gereken işlemleri yapar.

### 2.3.2.3 Kümeleme

İki veya daha çok işlem adımının bir tek ünitede birleştirilmesi diğer bir otomasyon seviyesini gösterir. Genellikle bu seviye "**kümeleme**" olarak adlandırılır. Endüstri uzun bir zamandır kümelendirilmektedir. Fotodirenç döndürücü makinesi uzun zaman önce yumuşak fırınlama modülleri ve iz cihazları ile birleştirilmiştir.

En son kümeleme tasarımı (Şekil 2.50) teknik ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Teknik açıdan bakıldığında bazı kümelenmiş işlemler aşındırmadan sonra ve metal oluşturmadan önce temizlenen bir Si pul gibi iyi ürünler verir. Bir diğer işlem avantajı ise aynı odada farklı malzemelerin ard arda oluşturulmasıdır. Bu durumlarda oluşturma işlemi pul adımları arasında havaya maruz kalmadığından çok iyidir. Pul yükleme ve boşaltma adımı gerçekleştirilmezse temizlik ve maliyet kesinlikle önemli oranda artmaktadır.



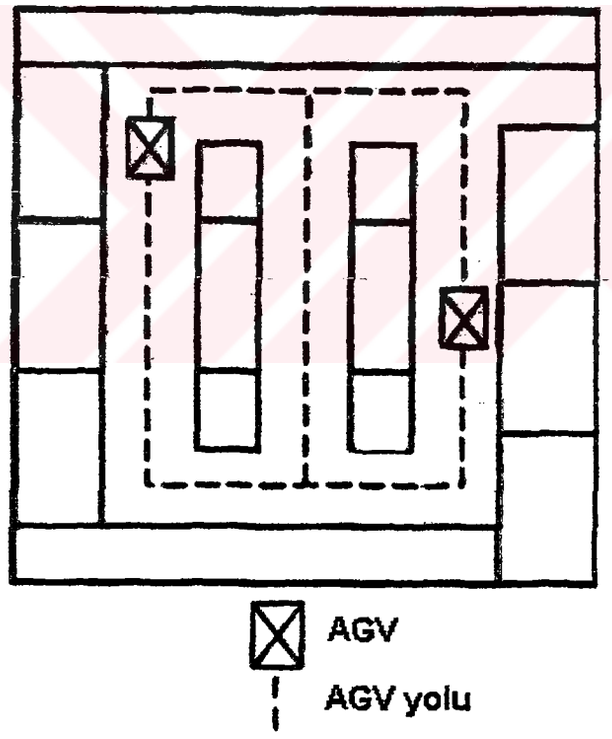

**Şekil 2. 50. Üç odalı kümeleme aleti [19]**

Vakum işleminde iki veya daha fazla işlem sadece bir tek vakum pompasında gerçekleştirilirse, zaman ve temizlik faktörü artmaktadır. Bir kümede iki veya daha çok işlemin ard arda gerçekleştirilmesine "**tümleşik işlem**" denir. Ekonomi açısından bakıldığında verimi artırmak için kümeleştirilen işlemlere "**paralel işleme**" denir.

Kümeleme bu açık yararlarına rağmen, sakıncalarını da beraberinde getirir. Kümelenmiş işlemlerin avantajını belirlemek kolaydır, fakat aynı çeşit işlemlerin kümelenmesi kenetleme, elektronik ve tek bir alet programından daha iyi programlara ihtiyaç duyar. Bakım veya tamir için makine kapatıldığında üretim kapasitesinin büyük bir kısmı durmaktadır. Diğer bir engel ise küme modülleri aynı satıcı tarafından sağlanmadığında meydana gelir. Satıcılar sorumluluklarını yerine getirirken yavaş hareket ettiklerinden müşteriler tek bir sorumlu satıcıyı tercih etmektedirler.

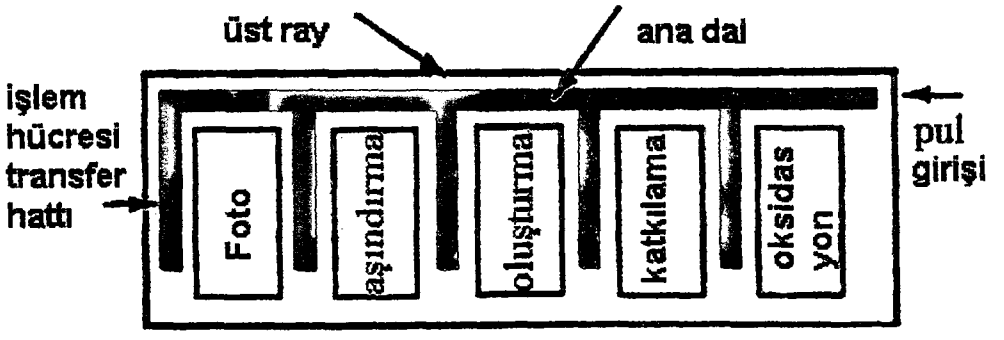
### 2.3.2.4 Pul Dağıtma Otomasyonu

Üçüncü seviye otomasyon pulların otomatik olarak getirilmesi, yüklenmesi ve makineden çıkarılmasıdır. İlk dağıtım sistemi insan dağıtımını iki katına çıkaran robot kartlardır(Şekil 2.51). Otomatik kılavuzlu araç (Automated Guided Vehicles:AGV) olarak adlandırılan bir sistemde kartlar adalar boyunca hareket eder ve makinenin ihtiyacı olduğunda pul kasetlerini dağıtır.




**Şekil 2. 51. Otomatik kılavuzlu araç pul dağıtım sistemi [19]**

Diğer bir yaklaşım ise ana bir rayın (sinyal köprüsü de denir) kullanılmasıdır. Pul kasetleri cihaz bölgesine iletilir(Şekil 2.52). İkinci bir sistemde (genellikle bir robot) kasetler raydan çıkarılır ve cihaz tamponuna yerleştirilir. Makineler geleneksel yerleşim yerine koy içinde gruplanırlarsa sistem en verimli şekilde çalışır.




**Şekil 2. 52. Üst ray pul dağıtım yerleşimi [19]**

### 2.3.2.5 Kapalı Kontrol Sistem Otomasyonu

Endüstri en son seviye toplam otomasyona girmektedir: Kapalı devre geri besleme sistemi. Kapalı devrenin iki yönü vardır: Birincisi, bazı cihazlar üzerindeki sensörlerle kritik işlem parametrelerini ölçerler.

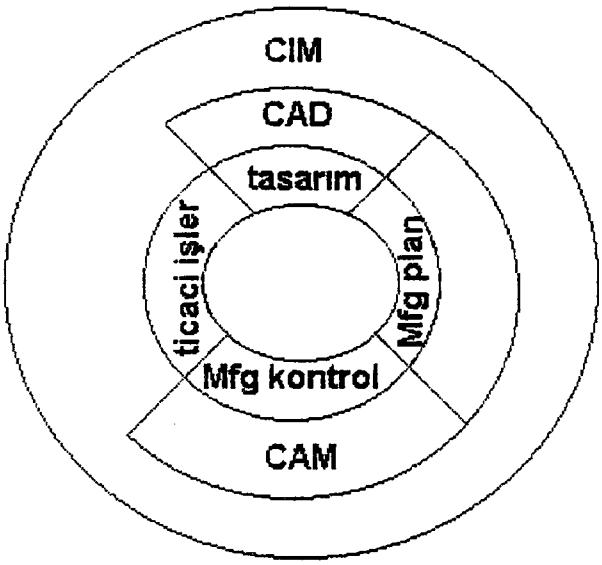
Elektronik geri besleme devreleriyle aletler işlem özelliklerini gerçekleştirmek için kendi kendilerini ayarlarlar. Bir çok işlem için bu otomasyonunun gerçekleştirilmesi zordur. Böyle bir otomasyon ısıtılmış tüp fırın ve saçılma odası gibi yerlerde çalışan sensörler gerektirir. Böyle bir işlem bölgesi maskeleme bölgesidir. Burada tanıma sistemleri üretilen plakaları tasarım kriterleri ile karşılaştıracak yeterlikte geliştirilmiştir.

İkincisi, bazı aletlerin sahip olduğu ve bağlandığı otomatik denetleme veya ölçme alt sistemleridir. Alt sistem oluşum esnasında önemli parametreleri ölçer. Ölçümleri standartlar ile karşılaştırır ve bilgiyi tekrar geri besler. Bu işlem sonunda özellik dışı aleti çalıştırılabilir veya işlem parametreleri ayarlanabilir. Kapalı devre işlemi ve makine kontrolünün gelişimi "**insansız işlem gerçekleştirme**" pul fabrikasyonu fabrikasının gerçekleştirilmesi için gereklidir.

### 2.3.2.6 Fabrika Otomasyonu

Yüksek seviyeli işlem alet otomasyonu, ürün stok kontrol sisteminin gelişimi, yüksek seviyeli merkezi kontrol ve bilgi paylaşımını gerektirir. Çoğu şirketler maliye, çalışanların bilgileri ve dokümanlarını içeren bilgisayar tabanlı yönetim bilgi sistemine (Management Information Systems:MIS) sahiptir. Bu sistemler tüm üretim çevresine yayılmaktadır ve "**Bilgisayar Entegreli Üretim**" (Computer Integrated Manufacturing:CIM) olarak adlandırılmaktadır.

CIM bütün fabrika işlemlerinin bilgisayarlaştırılması ve bu işlemlerin bir bilgisayar tasarım kontrol ve dağıtım sistemine entegrasyonudur. CIM' deki bağımsız ve ilgili tüm işlemler Şekil 2.53' de gösterilmiştir. CIM' in ana özellikleri ticari fonksiyonlar, ürün tasarım (maske ve devre), üretim planlama(stok, sunma vb.), üretim kontrolü ve fabrikasyon işlemleridir. Tam bir CIM sistemi bütün seviyelerle iletişim halindedir. Beş fonksiyonel bölgenin her birinin elde ettiği bilgiyi ihtiyacı olan herhangi bir birim kullanabilir.




**Şekil 2. 53. Bilgisayar kontrollü fabrika sistemi [19]**

Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design:CAD) ve bilgisayar destekli üretim (Computer Aided Manufacturing:CAM) CIM siteminin iki alt sistemidir. CAD' in rolü maskeleme ve devre tasarımında tartışılmıştır. CAM sistemin bir parçasıdır ve üretim işlemlerinin planlamasını ve kontrolünü yapar. Bir CAM sistemi bir bilgisayar ağı, otomatik işlem cihazları ve malzeme dağıtım sisteminden oluşur.

Kavram olarak CIM sistemi müşteri talebi olduğunda işlemleri başlatır. Bilgisayar talebi alır ve CAD sisteminin tasarıma başlamasını sağlar. Aynı zamanda gerekli miktarda malzeme siparişi verir ve dağıtım zamanlarını programlar. Bu alt sistemler bilgisayar destekli işlem planlama (Computer Aided Process Planning:CAPP) ile çalıştırılır. CAM programı ile her bir işlem menüsü kendi cihaz bilgisayarına yüklenir. İşlem başladıktan sonra CAM sistemi işlemdeki pul (Wafers In Process:WIP) sayıcısını kontrol eder ve sipariş programına göre gerekli ön kararları verir. Aynı zamanda cihaz performansı izini takip eder, bakım ve onarımını programlar.

CAM sisteminin önemli bir özelliği ürünlerin ekranda görüntülenmesi ve rapor edilmesidir. Önemli ölçme sistemleri direk olarak fabrika bilgisayarına bağlanmıştır. Eğer zayıf ürün problemi ile karşılaşırsa sistem bunu mühendis ve şeflere haber verir ve gerekli olursa kayıpları önlemek için malzeme yeniden düzenlenebilir. Üretim sonunda sistem maliyeti, ürünü ve müşteri listesini hesaplar.

CIM sistemi içindeki diğer paketler işlem modelleme, güvenlik sistemi ve binanın ekranda görüntülenmesidir. Binanın görüntülenmesi, fabrikadaki güç harcaması ve çevresel faktörleri içerebilir. Bazı CAM sistemleri depodaki sıvı ve gaz seviyelerini ekranlar ve otomatik olarak alarm verir veya yeniden düzenler.

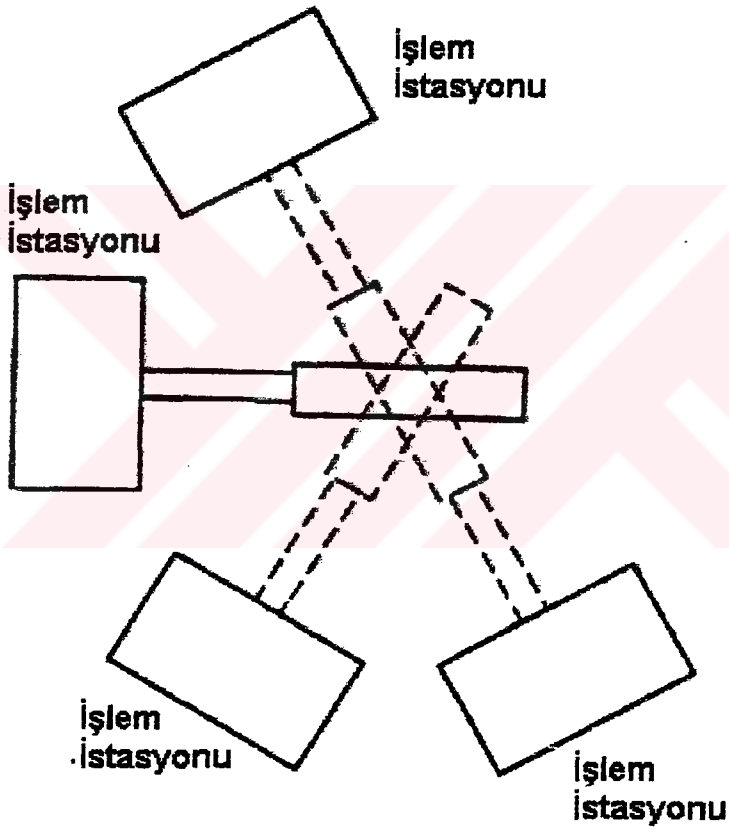
Bu faktörlerin görüntülenmesi ve hassas kontrolü masrafı önemli miktarda tasarruf edebilir. İşlem modelleme belirli bir tasarımı belirli işlem değişiklikleriyle test eden bir sistemdir. Bilgisayar bir çok değişikliği yürütebilir ve fabrikasyonda yapılacak değişiklikleri simüle eder. İyi modelleme pul işleme alınmadan önce tasarım ve işlemdeki zayıf noktaları belirleyebilir. Güvenlik görüntülemesi giren ve çıkan çalışanları ve pahalı ürün ve malzemelerin görüntülenmesini içerir. Güvenlik sistemi yangın ve diğer tehlike kontrollerini de içerebilir.

### 2.3.2.7 Fabrikasyon Yerleşimi

Geleneksel fabrikasyon işlemi cihazların sıralandığı koy veya tünel işlemidir(Şekil 2.52). Bu sistemde personel trafiğinden ve diğer işlem bölgelerinden kaynaklanan kirliliği azaltmak için işlem bölümleri ayrı odalarda gruplanır.

Otomasyon, temizlik göz önüne alındığında malzemelerin işlenmesindeki en verimli yol düşünülmektedir. Robotlar seçimlik malzeme taşıyıcıları olmaktadırlar. Yarı iletken işlemi asla taşıyıcı sistemine bağlanamaz. Farklı yükleme mekanizması ve pulları gruplandıran bir çok istasyon vardır. Robotlar ile aynı anda büyük çaplı pulların işlenmesinden dolayı pul ağırlığı artmıştır.

Bir cihaz yerleşim seçimi de işlem adalarıdır. Belirli bir işlem parçası için çeşitli cihazlar tek bir yükleme boşaltma robotunun çevresinde gruplanır (Şekil 2.54). Cihazlar tek veya kümeler halinde olabilir.




**Şekil 2. 54. İşlem adasında robotla pul dağıtımı [19]**

### 2.3.2.8 Yığın-Tek Pul İşlemi Karşılaştırması

İşlem geliştirmenin ikinci on yılında amaç çok büyük pul yığınları üretmekti. Küçük ölçekli ekonomi bu hedefin arkasındaydı: İşlem zincirinde daha fazla ürün üretmek. Buna rağmen, büyük çaplı pullar VLSI ve ULSI devrelerin manzarasını değiştirmiştir. Büyük pullar büyük işlem adaları gerektirirler. Bazı işlemler özellikle oluşturma adımları küçük bir odada kolayca kontrol edilebilir. Hızlı işlem zamanlı fabrikasyon (ASIC ve küçük hacimli elemanlar) tek pul işleminin esnekliğini kullanabilir.

Üretkenlik, yığın işlemeye oranla geliştirilmiş işlem kontrolünde dengelenir. Büyük çaplı pullar bir dereceye kadar yardımcı olabilir(300mm pullar 150mm pulun dört katı alana sahiptir). Alet tasarımı tek pul işlem üretkenliğini artırabilir.

Diğer taraftan, tek pul işleme yüksek seviye tekrarlanabilirlik gerektirir. Aynı büyüklükte pullar için tek pul işleyici 25 kere gerçekleştirilirken bir yığın 25 pulu bir kerede gerçekleştirir. Bunun yanında cihazlar çok pahalıdır. Her bir tek pul işleyici yığın cihazları ile aynı elemanlara sahiptir.

### 2.3.3 İstatistiksel İşlem Kontrolü

İşlem kontrolünü takip etmek ve ürünleri geliştirmek için SPC (Statistical Process Control: SPC) güçlü ve gerekli bir yöntemdir. SPC istatistiğe dayanır ve matematik kullanılarak gerçekleştirilir.

Birinci soru 'İşlem kontrolünün amacı nedir?' dır. Cevap basittir: Tasarım ve çalışma özelliklerine uyan ve yüksek verimde ürün üretmek. Bu basit amacı gerçekleştirirken pul durumlarını da içeren bir çok parametre işlemlere engel teşkil etmektedir.

**Tablo 2. 9. Tabaka direnci okuma(Ω/□) [19]**

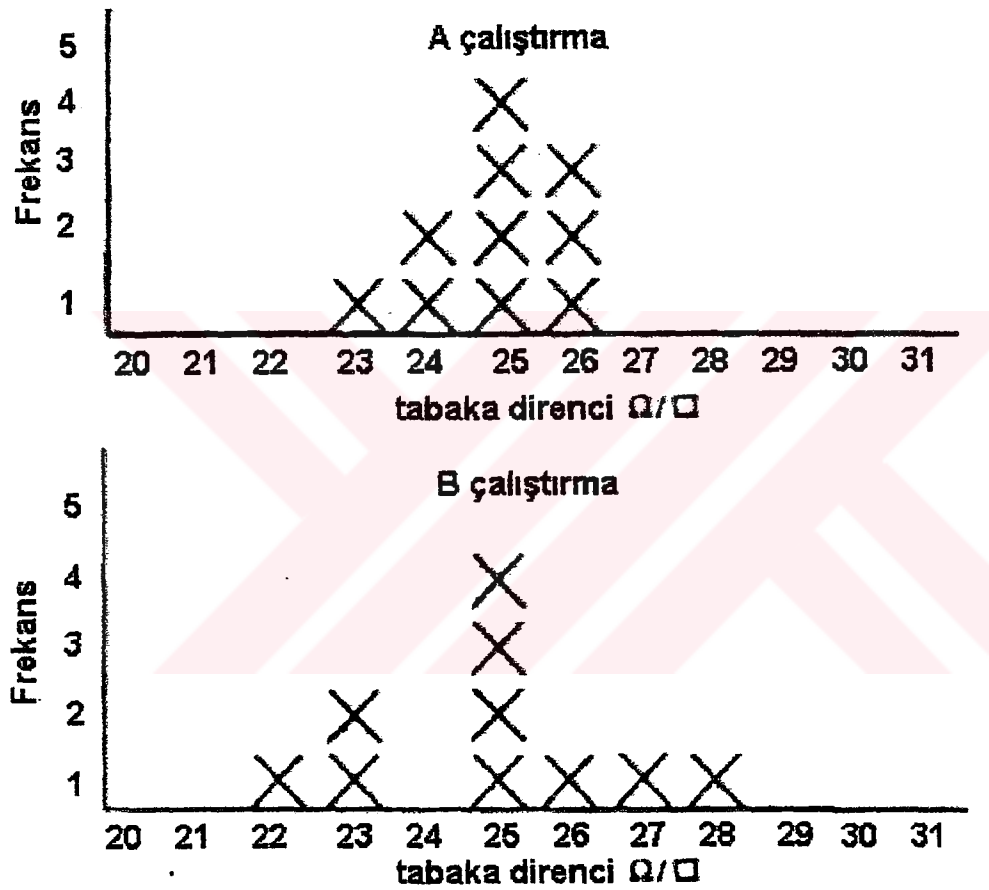
| Okuma sayısı | A çalıştırma | B çalıştırma |
|---|---|---|
| 1 | 25 | 28 |
| 2 | 24 | 25 |
| 3 | 26 | 23 |
| 4 | 23 | 26 |
| 5 | 25 | 25 |
| 6 | 26 | 22 |
| 7 | 25 | 23 |
| 8 | 24 | 25 |
| 9 | 25 | 27 |
| 10 | 26 | 25 |
| Averaj | 24.9 | 24.9 |
| Aralık | 26-23=3 | 28-22=6 |

İşlemler görüntülenmeden ve ayarlanmadan gerçekleştirilmez. İşlem kontrolü gerekli değişiklik bilgilerini sağlar. İstatistiksel işlem kontrolü kırmık üretimindeki işlemleri matematiksel prensiplere dayanarak gerçekleştirir. İşlem kontrol tekniği basitten karmaşığa doğru değişmektedir. En basit ve en yaygın metot grup sayılarının ortalamasının hesaplanmasıdır. Aynı zamanda averaj değerleri popülasyondaki bilgi dağılımını da vermektedir.

Örneğin; iki grup olarak verilmiş A ve B sütunları (Tablo 2.9) aynı averaj değerlerine sahiptir. Bu sayılar A ve B fırınlarındaki pul tabaka dirençleri ise dar dağılımdan dolayı A fırınının en

fazla kontrol işlemine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu gerçek bilgilerin şekli Şekil 2.55' de görülmektedir. Çizimler "**histogram**" olarak adlandırılır ve histogramlar basit averaj hesaplamalarının bilgi dağılımını gösterir. Averaj hesaplamaları ve histogramlar istatistikseldir. Genellikle işlemlerin kontrollü olup olmadıklarını belirlemede birinci olarak histogramlar kullanılır.

Histogramlar gücünü Gaussian dağılımı olarak bilinen matematik dağılımından alır. Ünlü matematikçi Gaussian ismini aldıktan sonra orijini ilginçtir. Gauss farklı astronotlar tarafından belirlenen farklı yıldızların yerlerini bir araya getirmiştir. Yıl zamanı ve yeryüzünde yapılan gözlemlerin hesaba katıldığı gözlemlere gerekli ispatlamaları yapmak istemiştir. Bütün doğrulamalar yapıldıktan sonra belirli yıldızların yerlerinin hesaplanmasında fikir birliğine varılacağını ummaktaydı. Bütün bunlardan sonra bir yıldızın bir zamanda sadece bir yerde olduğunu ve bu yeri tespit edebileceğimiz sonucuna varmıştır.

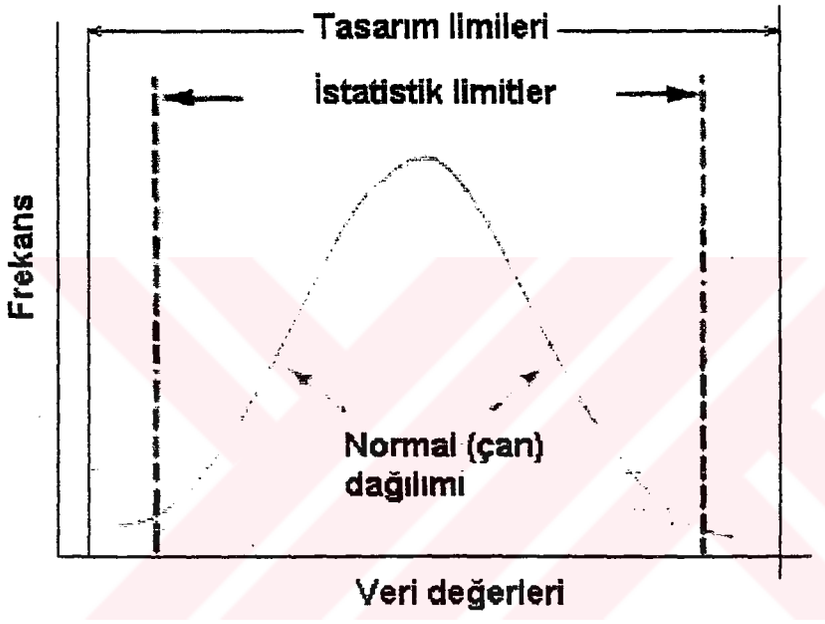



**Şekil 2. 55. Tabaka direncinin frekans dağılımı [19]**

Elde edilen bilgiler bu hipotezi doğrulamamıştır. Bütün doğrulamalardan sonra her bir yıldız için hala birkaç sayıda yer vardır. Buna rağmen, Gauss projeyi bırakmayıp istatistiğin temelini ve dağılım olasılığını kurmuştur. Olasılık kavramının çok zor olmadığı anlaşılmaktadır. Gauss' un analiz ettiği bilgilerle bir yıldız için hesaplanan değişik yerler çizilebilir. Orta noktayı hesaplayarak yıldız yerini merkezden en uzağa doğru çeviren bir daire çizilir. 100% olasılıkla yıldızın yerinin bu daire içinde olduğu sonucuna varmıştır. Aynı zamanda yıldızın yerinin küçük dairelerde olma olasılığının 1 den küçük olduğu sonucuna varmıştır. Gerçekten de daire küçültülürse yıldızın bu yeni sınırlar içinde olma olasılığı küçülecektir.

Aynen yukarıda olduğu gibi çoğu yarı iletken işlemi Gaussian dağılımını izler. En iyi bir örnek ise düzlemdeki çıkıntıların yüksekliğidir. Tüm bu çıkıntılar ölçülür ve histogramı çizilirse dağılım çan şeklinde bir eğri olacaktır. Bu eğri normal eğri olarak adlandırılır(Şekil 2.56). Olasılık açısından bakıldığında averaj yüksekliğe yakın çıkıntıların olasılığının yüksek olduğu ve çok kısa veya çok uzun çıktıların olasılığının küçük olduğu görülmektedir. Dağılım olarak gösterilebilecek matematiksel durumlar insanların boyu, IQ dağılımları, tabaka direnci gibi parametrelerin dağılımıdır.

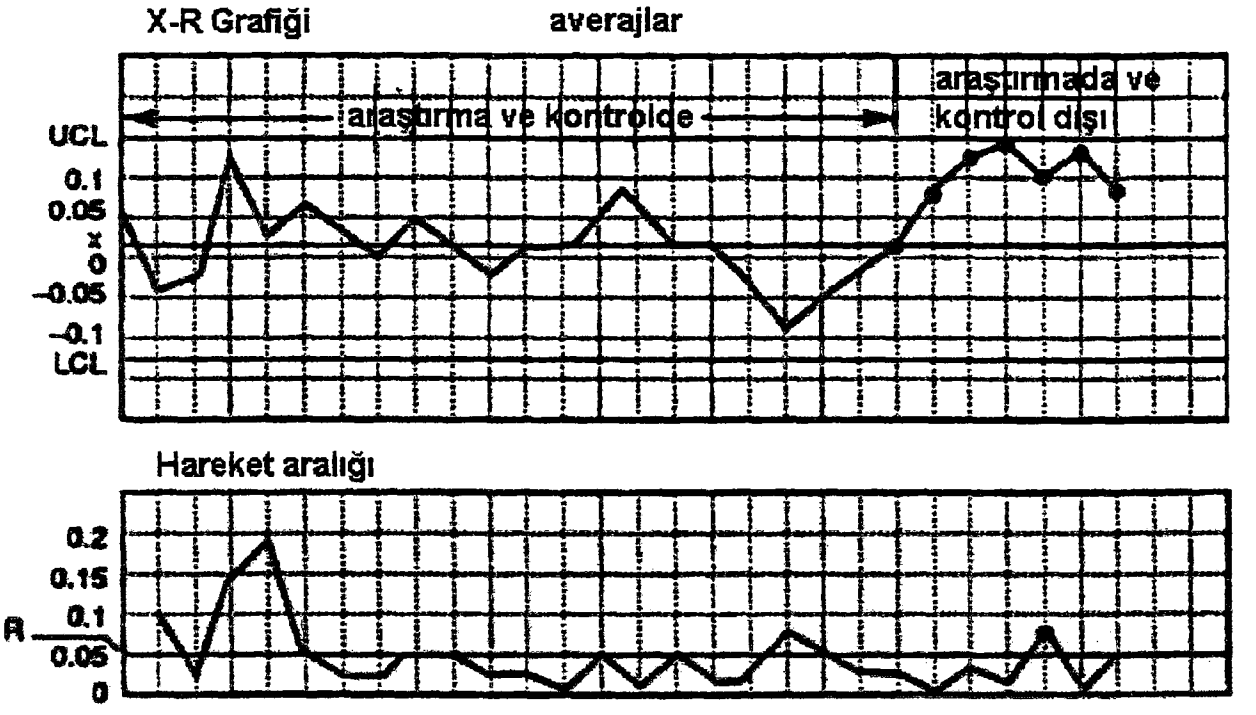
Diğer bir kullanışlı istatistiksel yöntem pareto çizelgesidir. Histogramın bir şekli olmakla birlikte x ekseni tabaka direnci gibi bazı parametreleri sürekli göstermeyip ilgisiz bölümlere bölünmüştür. Kusur araştırma sonuçları pareto çizelgelerine iyi bir örnektir. X ekseninde kusur sınıflarının listesi vardır. Her bir kusur çeşidini gösteren dikey sütunlar her bir kusur çeşidinin frekansını da gösterir. Operatör veya işlem mühendisi çizelgeden hangi kusurun en fazla olduğunu ve hangi işlemin geliştirilmesi gerektiğini görebilir.




**Şekil 2. 56. Normal dağılımın tasarım limitleri ile karşılaştırılması [19]**

Şimdiye kadar anlatılan istatistiksel yöntemler işlem gerçekleştikten sonra kullanılır. Gerçek zamanlı işlem kontrolünün en güçlü istatistiği X-R kontrol çizelgesidir(Şekil 2.57). Çizelge iki parçadan oluşur. Y ekseni parametre değerlerini gösterir. Üst grafik parametrelerin daha önceki averaj değerlerini gösteren yatay bir çizgiye sahiptir. Averajın her bir yanında daha önceki bilgilerin hesaplanan kontrol limit çizgileri vardır. Kontrol limiti işlem kontrolünün altında olduğunda her bir bilgi aralığının sınırları belirlenir. Aynı zamanda çizelgede olabilecek en büyük bilgi noktalarını gösteren işlem ve tasarım limitleri vardır. Alt grafik bilgilerin averaj değerine olan mesafesinin hesaplanması ve çizilmesi ile oluşturulur. Bu değerler işlemdeki kontrol miktarını ileri derecede belirlerler.

X-R çubuklu kontrol çizelgesinin değeri belirleyici gücünden gelir. Kontrol altındaki bir işlem averaja göre düzenli bir model şeklinde değişen bilgi noktalarını üretir(Şekil 2.57' in üstü). Kısım B' deki bilgi noktaları kontrol limit aralığının üstüne kaydırılmıştır. Bu kontrol altındaki işlem doğal olmayan bir modelidir. Böyle bir durumda çizelgeleri kontrol eden üretim operatörü ilgili personeli uyarır. Böylece pula zarar verecek kontrol ve tasarım limitleri aşılmadan işlem kontrol altına alınır.




**Şekil 2. 57. X-R kontrol çizelgesi [19]**

Diğer bir istatistiksel yöntem çok değişkenli deney analizidir. Bir çoğu ölçülen kalite kontrol parametreleri (tabaka direnci, hat genişliği, jonksiyon derinliği v.s.) işlemdeki değişkenlerdir. Örneğin; hat genişliği; direnç çözeltisi, film kalınlığı, pozlandırma radyasyon süresi ve yoğunluğu, fırınlama sıcaklığı ve aşındırma faktörlerine bağlıdır. Her hangi biri veya tümünün etkisi "**özellik dışı şartını**" belirleyecektir. Çok değişkenli değerlendirme mühendislerin her bir değişkenin katkılarını belirleyen ve ayıran testler yapmalarını gerektirir.

Bir işlem için SPC sistemi tasarlamak için uygun istatistiksel yöntemi, popülasyon parametresi veya belirleyicisini seçmek gerekir. İdeal olarak yığınlardaki pul üzerindeki tüm zarlar (günlük giren ve çıkan) gereken özellikleri sağlamalıdır. Yığındaki pul çevresinde puldan pula ve aletten alete değişiklikler olduğundan, gerçekte, popülasyon parametrelerini bir araya getirmek her zaman kolay olmayabilir. Her bir zar ölçülmediğinden doğru bir örnek noktası seçilir ve örnekleme seviyesi istenilen hedeftir.

### 2.3.4 Ürün Stoku Kontrolü

Fabrikasyon masraf kontrolü ve ürünle ilgili kritik bir sorun da ürün stoku ve kontrolüdür. İşlem adım sayısının artması işlem zamanını ve işlemdeki pul sayısını (WIP) arttırmıştır. Problem, şirketlerin satın alacağı pulun parasını ödemesine rağmen, elemanlar pazarlanıncaya kadar ücretlerini alamamalarıdır. Bu süre ayrı devreleri üreten üretim zincirinde 2-8 ay arasında değişir. ASIC devrelerini gerçekleştiren sisteme farklı devreler eklendiğinde fabrikasyon daha da ağırlaşmaktadır. Yük hakkında bir fikir sahibi olmak için 50 adım ve her bir adımda 4 alt adım olan toplam 200 işlemlik bir CMOS zinciri düşünün. Genellikle, tam verim alabilmek için yüksek maliyetli cihazlar tampon stok kullanırlar. Eğer her bir tamponun her biri 25 pul içeren 4 kasete sahipse WIP' in toplam ürün stoku 40.000 pul olacaktır. Büyük çaplı pul masrafı 100 Dolar (ABD) ise toplam ürün stok masrafı 4 milyon Dolar (ABD) olacaktır.

WIP cihaz problemleri ve işlem saklama özelliği üretkenliği etkiler. İstasyondaki ürün stoku ile işlemlerin bir kısmı bitirilmişken pulların son işlemleri yapılabilir. Düşük WIP' de bu problemler açık olarak görülebilir ve problemler tam olarak belirlenebilir. WIP aynı zamanda tüm fabrikasyon ürünlerini de etkiler. Endüstriyel deneyimler sonucunda işlemdeki pul büyüklüğünün pul sıralama verimini düşürdüğü saptanmıştır.

### 2.3.4.1 Zamanında Ürün Stok Kontrolü

Zamanında ürün stok kontrolü (Just In Time inventory control:JIT) '**Gerekeni gerektiği kadar yap**' felsefesine dayanır. Sistem kavram olarak basittir. Tüm tampon ürün stoku depodan makine tamponuna indirgenmiştir. Verimli çalışmak için satıcı ilişkileri çok iyi kurulmalıdır. Gelen malzemeler yüksek kalitede olmalı ki, JIT sonunda gelen ve giden arasında çok az fark olsun. İkincisi, satıcılar kırmık üreticilerinin daha önce kullandığı ürün stoku yerine yeni arayışlar içindedirler. Kırmık üreticileri kalite, dağıtım ve depolama konusunda verimli olmalıdırlar. Kalite kusurlarını, problemlerini algılayan ve malzemeyi uygun işleme süren sisteme sahip olmalıdırlar.

JIT aynı zamanda işlem akışı uygulamalarına sahiptir. İş tüm alt adımlardan engelsiz olarak geçerse pullar yeni bir işleme tabi tutulmaktadır. Bu sistem yüksek ürün verir ve eğer uygun şekilde dengelenirse işlemlerin bir kısmı kullanılmasa dahi verim artar. Bu sisteme "**talep çekme**" denir.

Etkili JIT prosedürü fabrikasyon bölgesindeki çalışan sayısını azaltabilir. Çünkü çalışanlar zamanlarının çoğunu sıralama, dağıtma ve sınıflandırmaya ayırırlar. Fabrikasyon yerleşimi geleneksel ve doğrusal işlem istasyonu düzenini değiştirebilir. Doğrusal yerleşim ile bir sırada birkaç farklı ürün vardır. Pullar sıranın başına getirilir ve ilk önce giren ilk önce çıkar(First In First Out :FIFO) prensibine göre yerleştirilir.

Pul lotlarının hızlı bir şekilde yerleştirilmesinde problem çıkmaktadır. Genellikle sıcak lotlar her istasyonda işlem önceliğine sahiptirler. Lot kontrol problemlerinin yanında düzenli ürünler sıcak lotlar yerleştirilinceye kadar kuyrukta beklemek zorundadırlar. Bu yerleşim satış tarihinin ve sabit olarak önceliği değiştirilen ürün çeşidinin olduğu ASIC zincirinde daha zor olmaktadır.

JIT-CAM sistemi tüm lotların üretim aşamasında nerede olduğunu belirler. Bilgisayar engel olan işleri düzenleyebilir ve ürün akışını takip edebilir. Bununla birlikte, JIT-CAM sistemi (otomatik dağıtım sistemi ile takım halinde) işlem istasyonları dizilmek yerine gruplandığı zaman çok verimli olabilir. Bu kavram "**çalışma hücresi**" (work cell) olarak adlandırılır ve özellikle bir hücre bir çok sayıdaki farklı ürünleri kullandığında çok verimlidir. Doğrusal yerleşimde bir makine çalışmazsa zincir tamamen durur ve ürün stoku çalışmayan makine önünde birikir.

### 2.3.5 Cihaz ve Malzeme Standartları

Malzeme, ürün ve kırmık üreticilerinin teknik desteği standartlara ihtiyaç duymaktadır. Bir çok endüstride üreticiler rekabet olarak kendi endüstriyel standartlarını kurmaya teşebbüs etmektedirler. Yarı iletken endüstrisi de standart kasetler gibi resmi olmayan bir çok standarda sahiptir.

1973' de SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International: SEMI) standart bir program kurmuştur. Bundan sonra da satıcı ve müşteri birlikte bir standart kurmuşlardır.

Otomasyon sayesinde SEMI cihaz ara fazında iki haberleşme protokolü getirmiştir: SECS I (Semiconductor Equipment and materials international Communication Standart I: SECS I) ve SECS II. Aynı zamanda mekanik ara faz standardı SMIF (Mechanical InterFace Standart:SMIF) ve vakum tip küme cihazları için MESC (Moduler Equipment Standarts Comittee :MESC) vardır.

### 2.3.5.1 Kalite kontrolü ve ISO 9000 Sertifikası

Program kalite kontrolü SPC ve diğer ürünler ile işlem ve personel kalitesini kapsar. Yarı iletken endüstrisinde iki ana kalite bölümü vardır: Kalite kontrolü(Quality Control :QC) ve kalite güvencesi(Quality Assurance :QA). QC genellikle işlem ve pul işleme kalitesini görüntülemek ve kontrol etmek için kullanılan tüm teknikleri içerir. QA müşterinin alacağı ürünlerin özelliklerini sağlama garantisini verir. 1987' de ISO 9000 ortaya konmuştur. Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu(İnternational Organization for Standardization:ISO) ile gereklilikler karşılanır ve bazen standart kurallar yerine "**şemsiye standard**" (umbrella standart) olarak adlandırılır.

ISO 900 yönetmeliği ve standardı ürün, işlem ve yönetim kalite sisteminin geliştirilmesi ve değerlendirilmesinin rehberidir. Şirketler programların en iyi şekilde nasıl yürütüleceğini ve uygulanacağına karar vermektedirler. Sertifika ile müşteri ve satıcılar ürünün bir kalite programına sahip olduğunu anlamaktadırlar. Avrupa Ortak Piyasasında (European Common market:EC) ticaret yapacak şirketlerin ISO 9000 sertifikalı olması gerekmektedir. Amerikada ANSI (American National Standart Institude: ANSI) ve ASQC (American Society for Quality Control: ASQC) yarı iletken destekçilerinin desteği SEMI sponsorluğunda eşit bir standart geliştirmişlerdir.

### 2.3.6 Sıra Organizasyonu

Çoğu fabrikasyon bölgesi ürün-zincirine göre düzenlenmiştir. Fabrikasyon bölgeleri benzer işlemlerden geçen ürünleri barındıracak şekilde tasarlanır. Örneğin; bipolar zinciri, CMOS zinciri ve diğerleri. Bu düzenleme ile işlemlerden verim alınabilir. Çünkü makinelerin çoğu zamanın çoğunda kullanılmaktadırlar ve çalışanlar birkaç ürün işleyerek deneyim kazanabilirler.

Bu işlem sırasının çalışanları özenle seçilmelidir. İlk sorumluluk fabrikasyon veya ürün yöneticisine düşer. Diğerleri yönetici, mühendis, üretim yöneticisi (veya genel yönetici), tasarım bölümü ve cihaz bakım grubudur. Üretim yöneticisi işlenen pulların özelliklerinden, masrafından ve listelenmesinden sorumludur. Mühendis grubu yüksek verimli işlemlerden, işlemlerin dokümantasyonundan ve günlük işlem raporlarından sorumludur. Üretim ve mühendislik grubu işlemin belirli kısımlarını gerçekleştiren gruplara ayrılırlar. Bu organizasyon, fabrikasyon bölgesinin ana amacı olan karlı kırmık üretmeyi yüksek oranda gerçekleştirir.

İşlem daha fazla otomatikleştirilir ve işlem hücrelerinde düzenlenirse küçük organizasyon takımlarının grupları ve sorumlulukları ortaya çıkmaktadır. Bir hücre operatör, cihaz teknisyeni ve işlem mühendisleri tarafından hazırlanır. Bu küçük gruplar CIM sisteminin sağladığı bilgiler ile alt seviye kararlar alır. Buna rağmen, sadece birkaç şirket bu düzenlemeyi organizasyon yapısı ile şekillendirir ve takımlar arası işbirliğini sağlar. [19]

# BÖLÜM 3 ELEKTRONİK ENDÜSTRİSİ

## Giriş

Bu bölümde Türkiye ve dünya ülkelerinin elektronik endüstrisi ve elektronik endüstrisi ilişkileri ile birlikte birbirlerine karşı tutumları belirlenecektir.

## 3.1 Türkiye Elektronik Endüstrisi

Elektronik, asrımızın başından beri göstermiş olduğu hızlı gelişme sonucu, ülkelerin kalkınmasında büyük rolü olan bir bilim ve endüstri kolu haline gelmiş ve en küçük laboratuardan en büyük endüstri kuruluşlarına ve hatta günlük yaşantımıza vazgeçilmez bir unsur olarak girmiş bulunmaktadır.

### 3.1.1 1970lerde Elektronik Endüstrisi

Elektronik Endüstrisinin Önemi ve Dünyadaki Durum:
Teknolojinin son yıllarda çok hızlı gelişmesi sonunda elektronik endüstri sektörü son derece geniş bir alana yayılmıştır. Bunun nedenlerinden birini yeni bulunan elektronik cihazlar yanında, daha önce başka yollarla elde edilen cihaz ve sistemlerin elektronik imkanlarla hem daha kolay hem de daha üstün vasıflarla elde edilmesi teşkil etmektedir. Örneğin; mekanik hesap makinelerinin yerini elektronik makinelere, ışık optiği ile çalışan mikroskopların yerlerini elektronik mikroskoplarına, eski röleli telefon santrallerinin yerlerini elektronik telefon santrallerine terk etmeleri gibi. Bunun neticesi, asrın başlarında elektronik endüstrisi yalnız radyo endüstrisinden ibaretken bugün bu endüstri en geniş sınırlara sahip endüstrilerden biri haline gelmiştir.

Elektronik Endüstrisi gelişen ülkelerde gelişmişliğin bir ölçüsü olmuştur. Kalkınmada, elektroniğin alt yapı, bilimsel ve teknolojik yönlerden büyük katkıları bulunmaktadır. Bu arada elektronik endüstrisinin savunma endüstrisine olan katkısını da ihmal etmemek gerekir. Bu özellikleri ve diğer taraftan insan gücü ve beyin potansiyelinden büyük çapta istifade etme olanağı ile elektronik endüstrisi gelişen ülkelerin önem ve öncelikle ele aldığı bir endüstri halinde meydana çıkmıştır. Ayrıca elektronik endüstrisini diğer endüstri kollarından ayıran farklı özellikleri mevcuttur:

a) Verim /yatırım oranı yüksek olup, gelişen ülkelerde 3.5-4 civarındadır.
b) İstihdam gücü yüksek olan bir endüstridir.
c) İşçi başına düşen verim büyüktür. Bu verim gelişen ülkelerde 3000-4000 Dolar(ABD) civarında, gelişmişlerde ise 7000 Doların(ABD) üzerindedir.
d) Maliyette en yüksek oran beyin gücüne aittir. Beyin gücünün katkısı dayanıklı tüketim cihazlarından imalat miktarlarına göre %50, profesyonel cihazlarda %70, özel cihaz ve sistemlerde ise %80'in üstündedir.

Yakın bir gelecekte arasına tamamıyla katılacağımız Avrupa Ekonomik Topluluğu ülkelerinde fert baş.na düşen sanayi üretimine elektronik endüstrisi katkısının ortalama değeri 50 Doların(ABD) üstündedir. 1980 yılında bu katkının 100 Dolara(ABD) çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu da ABD ve Japonya'ya gibi elektronikte çok ileri ülkelere göre geri de sayılsalar, Avrupa ülkelerinin ortalamasının ne kadar yüksek olduğunu ve bu ülkelerde elektronik endüstrisinin durumunu açıkça göstermektedir.

Teknolojik ilerlemeler ve gelişmeler sayesinde 20.000 transistorlu bir devreyi 10 $mm^2$ alanında bir kırmık üzerine yerleştirilebilecek elektronik endüstrisi, cepte taşınabilen dört işlemli hesap makinelerinden evlerde kullanılabilen yüksek frekanslı fırınlar ses üstü temizleme cihazları, proton mikroskopları, yakın bir gelecekte röntgenin yerini alacak izotop tarayıcılar bugün gerçekleştirilebilmiş bulunmaktadır. Ayrıca gittikçe otomatikleşen ve netice olarak daha hassaslaşan ve kaliteli imalata yönelen endüstri kollarına elektronik kontrol tamamıyla girmiş, bundan başka bütün bilim dallarında laboratuarlar, tıpta muayene, tedavi ve ameliyat odaları elektronik cihaz ve sistemlerle donatılmıştır.

Elektronik Endüstrisinin Sınırlarının Tanımlanması:
Sınırları bu kadar geniş olan bir endüstrinin kapsamını tarif ederken muhakkak ki bir sınıflama yapmak gerekmektedir. Uluslararası tariflere uygun olarak yapılan sınıflamada elektronik endüstrisi ürünlerin fonksiyonlarına, imalat teknolojisine, kullanılan metot ve tarzlarına göre iki bölüme ayrılmıştır. Buna göre elektronik endüstrisini;

a. Devre elemanları ve yardımcı elemanlar (Komponent ve bu şekilde vasıflanmayan yarı iletken ürünler)
b. Elektronik Cihaz ve Sistemler,

olarak ilk önce iki endüstri kolunda incelemek mümkündür.

Elektronik cihaz ve sistemleri ise;
a. Dayanıklı Tüketim Cihazları Sanayii
b. Profesyonel Cihaz ve Sistemler Sanayii

olarak iki alt sınıfa daha bölünmektedir.

Devre elemanları ve yardımcı elemanlar endüstrisi incelenirse, bunun daha çok kütle üretim yönünde ve teknolojisi çok değişik bir endüstri olduğu görülür. Ancak son yıllarda tümdevrelerin gelişmesi ile bununla ilgili endüstri teknolojisi diğer alt sınıflara da ayrılmış bulunmaktadır.

Elektronik Cihaz ve Sistemleri Endüstrisini de, daha çok ticari gayelerle imal edilen ve bir bakıma kütle üretim şeklinde çalışan Dayanıklı Tüketim Cihazları endüstrisi ve özel hizmetler görmek için nispeten daha az sayıda ve daha sıkı şartlara tabi olarak imal edilen Profesyonel Cihaz ve Sistemler Endüstrisi şeklinde iki alt sınıfa bölmek gerekmektedir.

Profesyonel Cihaz ve Sistemler Endüstrisi uygulama alanları bakımından sınıflandırılırsa bunları;

I. Haberleşme Cihaz ve Sistemleri Elektroniği
II. Savunma Cihaz ve Sistemleri Elektroniği
III. Tıbbi Cihaz ve Sistemleri Elektroniği
IV. Endüstriyel Cihaz ve Sistemleri Elektroniği
V. Bilgi İşlem Sistemleri
VI. Ölçü ve Laboratuar Aletleri
VII. Nükleer Elektronik

gibi alt sınıflara bölmek mümkündür.

Elektronik Endüstrisinin Ülkemizdeki Durumu:
Türkiye'de bugün elektronik endüstrisi maalesef kısıtlı sınırlar içinde kalmıştır. Elektronik Endüstrisi diye vasıflandırılabilecek kuruluşlar azdır. Dolayısıyla, mikroelektronik

endüstrisinden söz etmek imkansız olmaktadır. Özel sektörde Philips, Cihan Komandit gibi lisans ile başlıca radyo ve televizyon alıcıları manyetefon, pikap montajı yapan firmalar ile NET ve Türk Telefon gibi telefon aparey ve santralleri yapan kuruluşlar kamu sektöründe ise daha çok kendi müesseselerinin ihtiyaçlarını karşılamak için kurulmuş PTT Elektronik ve Telekomünikasyon Cihazları Sanayii (eski PTT araştırma laboratuarı ), PTT fabrikası, TEK Akköprü Laboratuarı gibi tesisler bunlar arasında sayılabilir. Bunlardan başka TEM, SELER, OKTAR ve TEKNİM gibi her iki sınıfta da fakat az sayıda cihaz imal eden firmalar ve TUNİK gibi yardımcı elemanlar imal eden kuruluşlar vardır. Ancak bütün bu firmalar bugünkü dünya üretim seviyelerine göre çok düşük bir durum arz etmektedirler. Örneğin; bugün Türkiye'de radyo alıcısı yapan büyük küçük yirmiye yakın imalatçının toplam kapasitesi yılda 500.000'i ancak bulurken, Japonya'da bir tek firmanın aylık imalatı 600.000 radyo alıcısını geçmektedir.

Ancak burada önemli bir noktaya değinmek yerinde olacaktır. O da dayanıklı tüketim cihazları endüstrisinde, karakteri dolayısıyla üretim seviyelerini arttırmak teknolojik imkanlardan ziyade yatırım ile arz ve talep konusu olup, bunların incelenmesi bir plan ve program meselesidir.

Profesyonel Cihaz ve Sistemler Endüstrisinde maliyete en fazla tesir eden faktör beyin gücüdür. Türkiye'de böyle bir beyin gücü potansiyelinin varlığı muhtelif incelemelerle ortaya konulmuştur. Nitekim, çok az da olsa bazı yerli kuruluşlarımız ileri dış ülkelerin seviyesine yakın cihazlar gerçekleştirmişler ve hatta bazıları bunları dışarıya satmak imkanlarını dahi bulmuşlardır. Bütün bu gayretlere rağmen, fert başına düşen sanayi üretimine elektronik endüstrisinin katkısı ülkemizde 1Dolar (ABD)'ı geçmemektedir. Yukarıda bildirilen Avrupa ortalaması olan 50 Dolar(ABD)'la bu rakam karşılaştırıldığında durumun ciddiyeti ortaya çıkmaktadır.

Bugün ülkemizde kullanma bakımından elektronik her alana yayılmıştır. Hastanelerimizde son yılların geliştirdiği modern tıbbi elektronik cihazlar, üniversitelerimizi ve diğer kuruluşların laboratuarlarında en yeni elektronik ölçme cihazları, ordumuzda da Savunma gücümüzün gerektirdiği modern elektronik cihaz ve sistemler bulunmaktadır. Bu listeyi çok daha geniş ve ayrıntılı bir şekilde vermek mümkündür. Ancak bu kalitatif olmaktan ziyade kantitatif bir analiz olur ki burada bu husus konumuz dışına çıkmaktadır.

Yine yukarıda elektronik endüstrisinin önemi ve dünyadaki durum incelenirken özellikle profesyonel cihazlarda beyin gücünün maliyete katkısının % 70'in üzerinde olduğu belirtilmişti. Ülkemizde bulunan ve yukarıda çok açık bir şekilde sayılan bütün elektronik cihaz ve sistemlerin büyük bir kısmı ithal yoluyla elde edilmektedir. Bu sebepten cihazlarla birlikte yabancı beyin gücüne büyük miktarlar ödenmektedir.

Ülkemizde mevcut beyin gücü potansiyelinin kullanılması ile kurulacak bir elektronik endüstrisi, kalkınmamıza bir çok yönlerden önemi ihmal edilemeyecek katkılarda bulunabilecektir:

a. Her şeyden önce ithal yoluyla getirilmiş cihaz ve sistemlerin dahi işletme, bakım ve tamirinin yapılması teknolojik bir sorundur. Bu teknolojinin gelişmesi de ancak o alanda, küçük de olsa bir endüstrinin varlığı ile mümkündür.
b. İthal yoluyla ülkemize giren cihaz ve sistemlerin bundan böyle ülkemizde kurulacak bir endüstri ile gerçekleştirilmesi. Bu endüstri için devre elemanları ithal edilse bile, cihaz maliyetlerinin en az % 70'inde bir kazanç sağlanacaktır.
c. Kurulacak endüstri insan gücü talebinin yüksek olması sebebiyle istihdam problemine kısmi de olsa bir çözüm getirebilecektir.

d. Milli Savunma endüstrimizin elektronik endüstrisi olmadan kurulmasına imkan yoktur. Dolayısıyla bu endüstrinin kurulmasına büyük katkıları olacaktır.
e. Elektronik endüstrisinin gelişmesi sonucunda bu alanda olduğu kadar vasıtalı bir şekilde diğer alanlarda da teknolojik gelişme sağlanabilecektir.

Netice olarak, görülebilir ki elektronik endüstrisinin gelişmesi Türkiye'nin kalkınma sorunlarının çözülmesinde büyük katkıları olabilecektir.

Nitekim üçüncü ve bunu takip eden beş yıllık plan programlarında elektronik endüstrisine önem verileceği ilgililerin muhtelif beyan ve çalışmalarından anlaşılmaktadır. Süratli gelişmeler gösteren elektronik teknolojisine dayanan ve çağdaş medeniyet gereklerine uygun bir elektronik endüstrisi gelişmesi, ancak gerekli teknolojinin kısa zamanda ülkemize getirilmesi ve "**know-how**" in da imkan ölçüsünde ülke içi imkanları ile sağlanması yolundan gidilerek elde edilmesi ile mümkündür. Daha açıkçası ileriye dönük bir elektronik endüstrisi kurulması her bakımdan zorunlu görülmektedir.

Bütün bunların gerçekleştirilebilmeleri için ilgili kamu kurum ve kuruluşları, üniversite ve diğer akademik kuruluşlar ile özel sektöre kapsamı çok geniş ve ağır görevler ve yükler düşmektedir. [20]

### 3.1.2 1998' de Türk Elektronik Sanayii

TESİD:
TESİD, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı yetkililerinin teşviki ile Türkiye'deki elektronik sanayi kuruluşlarının ve üniversitelerimizin elektronikle ilgili öğretim üyelerinin girişimi sonucunda 24 kurucu üye tarafından 1989 tarihinde kurulmuştur. Halen 72 ayrı sanayi kuruluşuna mensup 132 üyesi mevcut olan TESİD' e Türkiye'deki yerleşik elektronik sanayinde faaliyet gösteren tüm kuruluşlar üye olabilmektedir.

Dernek, elektronik sanayini ülkemizdeki durumu göz önünde tutarak aşağıdaki 6 gruba ayırmış ve bu grupların Yönetim Kurullarında en az bir üye ile temsilini öngörmüştür.

i. Bileşen İmalatçıları
ii. Tüketim Cihazları İmalatçıları
iii. Telekomünikasyon Cihazı İmalatçıları
iv. Askeri Elektronik Cihaz İmalatçıları
v. Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Elektronik Cihaz İmalatçıları
vi. Bilgisayar Cihazları (Donanım ve Yazılım) İmalatçıları

Bu gruplar zaman içinde gelişmelere göre yeniden tertiplenebilir.

Amaç:
Türk Elektronik Sanayini yönlendirecek sektörün sürekli rekabet edebilirliğinin sağlanması, ülke ekonomisine ve insanlarına katkının artırılması.
Vizyon:
i. Teknolojik yaratıcılığı özendirip teşvik ederek rekabet gücü yüksek, esnek, kaliteli, verimli, mali hizmet ve bilgi üretimi için üniversite, sanayi, devlet ve çalışanların aynı hedefe yönlenmesine,
ii. Sektörde çalışanların mutluluğu için;
   a. Dünya ile rekabet edebilen çağdaş bir sektörün gelişmesine,
   b. Sektörün ekonomik boyutunun, verimliliğinin ve yatırım olanaklarının artırılmasına,

c. Çalışanların yaşam kalitesinin artırılmasına destek olmak.

iii. Sektörü etkileyen ulusal ve uluslar arası politikalara, standartlara ve gelişmelere yönelik;
   a. Ülkenin yararı için hayata geçirilmesine öncülük etmek,
   b. Görüş ve politikaları oluşturmak,
   c. Gerekli verileri derlemek.

iv. Elektronik sanayinin topluma katkıda bulunan, çevreye duyarlı, çalışanların iş güvenliğine özellikle önem veren güçlü bir sektör olmasına destek olmak.

Dileğimiz, toplumun ve üyelerimizin TESİD' i güvenilir ve yenilikçi, tarafsız ve devamlı, açık ve katılımcı olarak görmelerini sağlamaktır.

Son yıllarda elektronik sanayii, bilgi teknolojileri sanayiine dönüşerek büyük gelişmeler göstermektedir. Jenerik teknolojilerin en önemlilerinden birisi durumundaki bilgi teknolojileri gelişmiş ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada kullandıkları en önemli araç haline gelmiştir. Bu durum karşısında 21. yüzyılda ülkemizin gelişmiş ülkeler arasında yer almasında bilgi teknolojilerini özümseyip bir üst seviyede üretir hale gelmesi vazgeçilmez bir koşuldur.

Elektronik sanayi sektörü dünya genelinde ulaştığı 1 trilyon Dolar (ABD) pazar hacmiyle de 21. yüzyılın en fazla iş gücü barındıran sektörü olarak büyük bir gelecek vaat etmektedir. Artık elektronik tek başına bir sanayi olmaktan çıkmış ve diğer tüm sektörleri geliştiren temel ve doğurgan bir sanayiye dönüşmüştür.

Türk Elektronik Sanayii'ne dünya ölçeklerinde ve Türkiye ekonomisindeki payı açısından bakıldığında her ne kadar istenilen boyutlarda olmadığı görülmekte ise de, elektronik sanayi sektörünün dinamizmi, geleceğe ümitle bakmamıza sebep olmaktadır.

Bu yıl TESİD' in 10. yılını dolduran Elektronik Sanayii Almanağındaki istatistiksel verileri incelediğimizde; 1998 yılı elektronik sanayi toplam üretimi 1989 yılına göre %102,2 bir artışla 1,157 milyar Dolardan (ABD) 2,341 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. 1998 yılı toplam üretimin %51,9'u (1,216 milyar Dolar (ABD)) Tüketim cihazlarına, %26,6'sı (624,372 milyon Dolar (ABD)) Telekomünikasyon cihazlarına, %8,7'si (205,000 milyon Dolar (ABD)) Diğer Profesyonel ve Endüstriyel cihazlara, %7,1'i (168,500 milyon Dolar (ABD)) Askeri elektroniğe ve %5,4'ü (127,152 milyon Dolar (ABD))Bileşen alt sektörüne aittir. Bilgisayar üretimi henüz başlamamıştır.

Toplam üretim tutarındaki artışa paralel olarak dışsatımda da 1989 yılına göre % 574,3'lük bir artışla 186,365 milyon Dolardan (ABD) 1,256 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. Elektronik sanayi ihracatının toplam ihracattaki payı ise %2,7'den (1992) %4,7'ye (1998) yükselmiştir. 1989 yılından bugüne her yıl artan trend gösteren dışsatım miktarı Türk Elektronik Sanayiinin genellikle ihracata yönelik üretim yaptığını göstermektedir.

1998 yılı toplam dışsatımının %70,5'i (884,974 milyon Dolar (ABD)) Tüketim Cihazları Alt Sektörüne aittir. Telekomünikasyon %12 (151,815 milyon Dolar (ABD)), Bileşenler %5,9 (74,354 milyon Dolar (ABD)), Askeri Elektronik %4,9 (62,000 milyon Dolar (ABD)), Bilgisayar %3,9 (48,765 milyon Dolar (ABD)) ve Profesyonel ve Endüstriyel Elektronik % 2,8 (35,018 milyon Dolar (ABD)) olarak sıralanmaktadır.

Türk Elektronik Sanayiinin dışalımı ise 1989 yılına göre % 306,8'lik bir artışla 1,081 milyar Dolardan (ABD) 4,398 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. Elektronik sanayi ithalatının toplam ithalattaki payı %7,7'den (1992) %9,6'ya (1998) yükselmiştir.

1998 yılı toplam dışalımının %27,3'ü (1,200 milyar Dolar (ABD)) Telekomünikasyon, %21,7'si (955,557 milyon Dolar (ABD)) Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar, %21,5'i (944,346 milyon Dolar (ABD)) Bileşenler, %20,7 (909,703 milyon Dolar (ABD)) Bilgisayar Cihazları, %8,8'i ise (389,006 milyon Dolar (ABD)) Tüketim Cihazları Sektörüne aittir. Askeri elektronik dışalımı yapılmamaktadır.

**Tablo 3. 1 Elektronik sanayiinin üretim, dışsatım ve dışalımının yıllara göre dağılımı [21]**

| YILLAR | ÜRETİM (Bin $) | DIŞALIM (Bin $) | DIŞSATIM (Bin $) |
|---|---|---|---|
| 1989 | 1.157.900 | 1.081.243 | 186.365 |
| 1990 | 1.957.316 | 1.673.746 | 370.760 |
| 1991 | 2.208.316 | 1.948.252 | 401.167 |
| 1992 | 2.022.411 | 1.760.857 | 400.611 |
| 1993 | 2.010.804 | 2.013.846 | 383.251 |
| 1994 | 1.160.804 | 1.636.218 | 408.276 |
| 1995 | 1.230.883 | 2.235.455 | 502.247 |
| 1996 | 1.575.916 | 3.017.213 | 687.485 |
| 1997 | 2.180.500 | 3.886.177 | 849.222 |
| 1998 | 2.341.304 | 4.398.742 | 1.256.926 |

($: Dolar (ABD)

**Tablo 3. 2. Elektronik sanayinin alt sektörlere göre üretimi (Bin$(ABD)) [21]**

| ÜRETİM | 1998 | 1997 | 1996 | 1995 |
|---|---|---|---|---|
| BİLEŞENLER | 127.152 | 130.000 | 96.180 | 69.924 |
| TÜKETİM CİHAZLARI | 1.216.280 | 1.025.000 | 689.033 | 581.625 |
| TELEKOM CİHAZLARI | 624.372 | 665.500 | 550.870 | 365.470 |
| DİĞER PROF.&END. CİH. | 205.000 | 195.000 | 109.005 | 107.718 |
| ASK. ELEKTRONİK CİH. | 168.500 | 165.500 | 130.828 | 106.779 |
| TOPLAM | 2.341.304 | 2.180.500 | 1.575.916 | 1.230.883 |

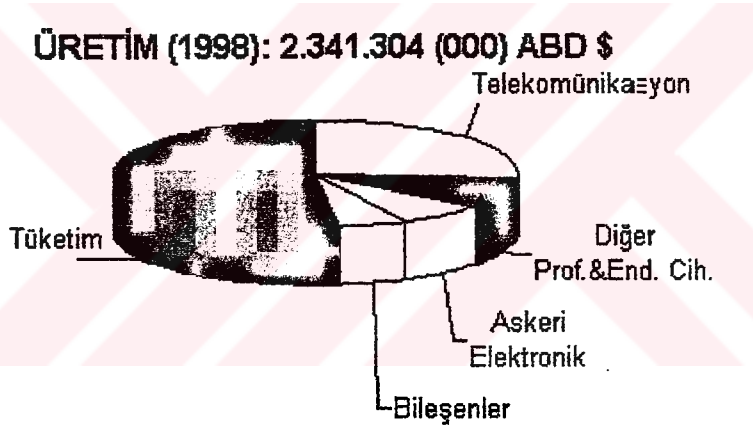
**Tablo 3. 3. Toplam dışalım/dışsatım ve elektronik sanayiinin payı (milyon $(ABD)) [21]**

| | 1998 | 1997 | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TOP. İTH. | 45.908 | 48.700 | 42.464 | 35.709 | 23.270 | 29.428 | 22.872 |
| ELEK. SAN. ITH. | 4.399 | 3.886 | 3.017 | 2.235 | 1.636 | 2.014 | 1.761 |
| % PAYI | 9,6 | 8,0 | 7,1 | 6,3 | 7,0 | 6,8 | 7,7 |
| TOP. İHR. | 26.881 | 27.145 | 23.082 | 21.636 | 18.106 | 15.345 | 14.715 |
| ELEK. SAN. IHR. | 1.257 | 840 | 688 | 502 | 408 | 383 | 400 |
| % PAYI | 4,7 | 3,1 | 2,9 | 2,4 | 2,3 | 2,5 | 2,7 |

**Tablo 3. 4. Yıllara göre elektronik sanayii üretim, dışalım ve dışsatımlarının alt sektörlere göre dağılımı [21]**

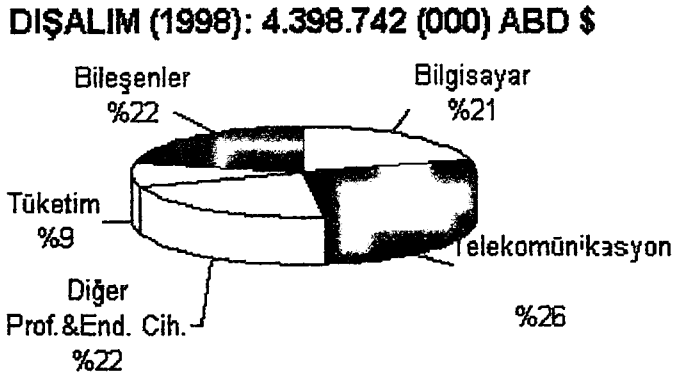
| (Bin$) (ABD) | Yıl | Bileşen | Tüketim Cihazları | Telekom. Cihazları | Di.Pro.& End. Cih. | Askeri Elek. | Bilgisayar | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ÜRETİM | 1998 | 127.152 | 1.216.280 | 624.372 | 205.000 | 168.500 | - | 2.341.304 |
| | 1997 | 130.000 | 1.025.000 | 665.500 | 195.000 | 165.500 | - | 2.180.500 |
| | 1996 | 96.180 | 689.033 | 550.870 | 109.005 | 130.828- | - | 1.575.916 |
| DIŞ ALIM | 1998 | 944.346 | 389.006 | 1.200.130 | 955.557 | - | 909.703 | 4.398.742 |
| | 1997 | 943.431 | 386.475 | 835.279 | 910.231 | - | 810.779 | 3.886.177 |
| | 1996 | 678.391 | 281.424 | 603.706 | 757.960 | - | 695.732 | 3.017.213 |
| DIŞ SATIM | 1998 | 74.354 | 884.974 | 151.815 | 35.018 | 62.000 | 48.765 | 1.256.926 |
| | 1997 | 62.413 | 551.175 | 137.807 | 31.372 | 35.800 | 30.655 | 849.222 |
| | 1996 | 71.324 | 365.009 | 168.818 | 28.885 | 30.500 | 22.949 | 687.485 |

**Grafik 3. 1 Üretim (1998) [21]**

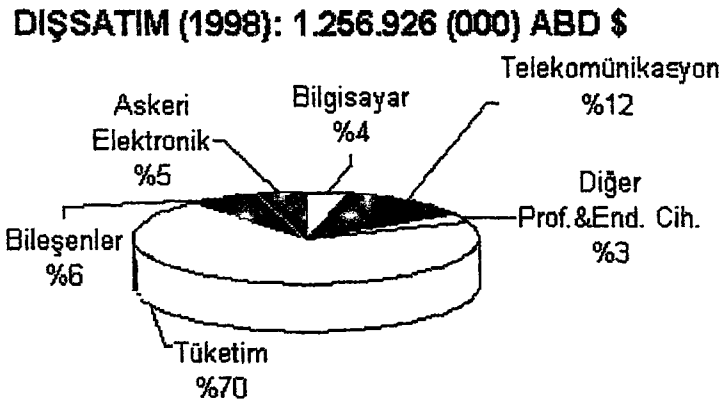



**Tüketim: 51,9 % Telekominikasyon: 26,7 %**
**Bileşenler: 5,4 5 % Askeri Elektronik: 7,2 %**
**Diğer Prof.&End. Cih. : 8,8 %**

**Grafik 3. 2. Dışalım (1998) [21]**



**Grafik 3. 3. Dışsatım (1998) [21]**




### 3.1.2.1 Bileşenler Alt Sektörü

Bileşenler alt sektöründe üretim 1997 yılına göre % 2.2'lik bir azalma ile 130 milyon Dolar (ABD)dan 127.2 milyon Dolar (ABD)a düşmüştür. Dışalımda 1997 yılına göre fazla bir değişiklik olmamış ve toplam dışalım değeri 943.4 milyon Dolar (ABD)dan 944.4 milyon Dolar (ABD)a, dışsatımda ise % 19.2 bir artma ile 62.4 milyon Dolar (ABD)dan 74.4 milyon Dolar (ABD)a ulaşmıştır.

**Tablo 3. 5. Bileşenler alt sektörünün dışalım ve dışsatımları [21]**

| ÜRÜN CİNSİ | DIŞALIM (BİN $) | | | DIŞSATIM (BİN $) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1996 | 1997 | 1998 | 1996 | 1997 | 1998 |
| 1.Devre Elemanları | 291.962 | 410.409 | 409.914 | 2.255 | 5.592 | 7.267 |
| -Kondansatörler | 54.791 | 62.884 | 58.189 | 702 | 1.311 | 884 |
| -Elektrikli Rezis. | 23.518 | 31.697 | 25.358 | 126 | 1.582 | 1.524 |
| -Diod,Tran. vb. | 52.621 | 67.027 | 67.640 | 570 | 574 | 1.177 |
| -Tümdevreler | 161.032 | 248.801 | 258.727 | 857 | 2.125 | 3.682 |
| 2.Resim Tüpleri | 269.459 | 383.003 | 404.501 | 3.954 | 3.194 | 244 |
| 3.Bobin,Trafo | 16.811 | 27.596 | 34.285 | 28.371 | 28.233 | 35.149 |
| 4.Akustik Elemanlar | 38.332 | 44.973 | 28.990 | 1.035 | 508 | 917 |
| 5.Bağlantı Eleman | 30.201 | 38.996 | 8.823 | 9.860 | 3.582 | 12.966 |
| 6.Elektronik Röleler | 20.762 | 24.719 | 44.122 | 174 | 56 | 1.086 |
| 7.Baskılı Devreler | 10.864 | 13.735 | 13.711 | 25.675 | 21.248 | 14.825 |
| TOPLAM | 678.391 | 943.431 | 944.346 | 71.324 | 62.413 | 74.354 |

($: Dolar (ABD))

Bobin ve transformatör ürün grubu % 24.5 artış ile dışsatımda birinci sırada yer alarak değerini 28.2 milyon Dolar (ABD)dan 35.1 milyon Dolar (ABD)a yükseltmiştir. Bunu 12.9 milyon Dolar (ABD)la bağlantı elemanları, 14.8 milyon Dolar (ABD)la baskılı devre dışsatımı izlemiştir.

Elektronik sanayii mamul üretiminde iç pazardaki talep darlığı neticesi bileşen alt sektöründeki satışlar daha ziyade dış pazarlara yönelik olmuştur.

Elektronik sanayiinin gelişmesinde eleman (komponent) üretiminin önemi açıktır; ancak komponent sanayiinde yan sanayii gibi geçmek sınırlı alanlarda mümkün olmaktadır.

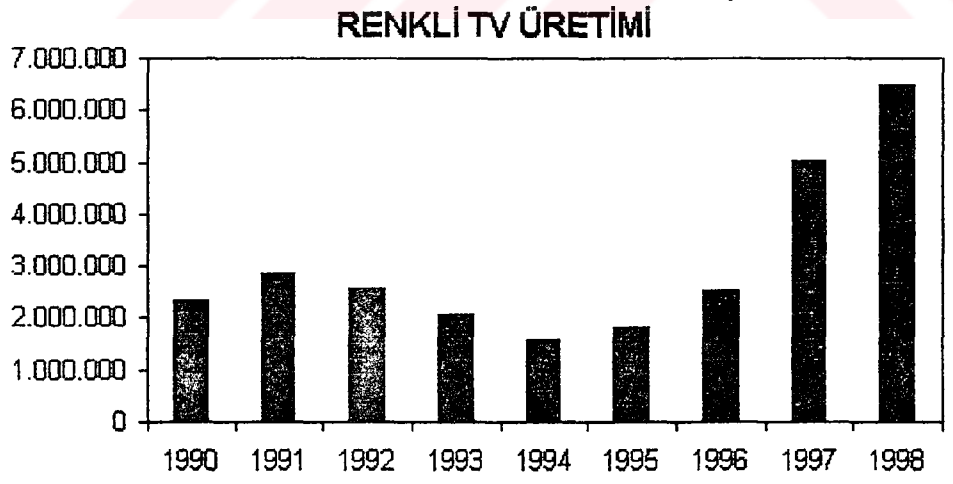
Dünya piyasalarında rekabetin esas tuttuğu devre elemanları (diyot, transistor, tümdevre vb.) konularında büyük sermaye kullanılarak ciddi yatırımlara girilebilir. Dünyada ancak bir kaç ülkenin tutunabildiği ve sürekli komponent teknolojisinin değiştiği bu konuda başarı sağlamak için, büyük teknolojik ve mali birikim gerekmektedir. Bugün ülkemizde baskılı devreler, elektronik cihazların üretiminde kullanılan bobin ve transformatörler, elektronik röleler ve bağlantı elemanları sektörün ihtiyacına cevap verebilecek nitelik ve nicelikte üretilmektedir.

### 3.1.2.2 Tüketim Cihazları Alt Sektörü

Tüketim cihazları alt sektöründe 1997 yılına göre 1998 yılı üretimi, % 18.7 bir artışla 1.216,3 milyon Dolar (ABD)a ulaşmıştır. Elektronik Sanayii içinde ise toplam üretimin % 51.9'u Tüketim Alt Sektörüne aittir. Sektörün toplam dışsatımı ise 1998 yılında % 60.6 bir artışla 555.1 milyon Dolar (ABD)dan 884.9 milyon Dolar (ABD)a ulaşmıştır.

Elektronik sanayii sektöründe dışsatımı en çok yapılan ürün, bir önceki yılda olduğu gibi 789.3 milyon Dolar (ABD) değer ve % 79.8 artışla renkli televizyon olmuştur.

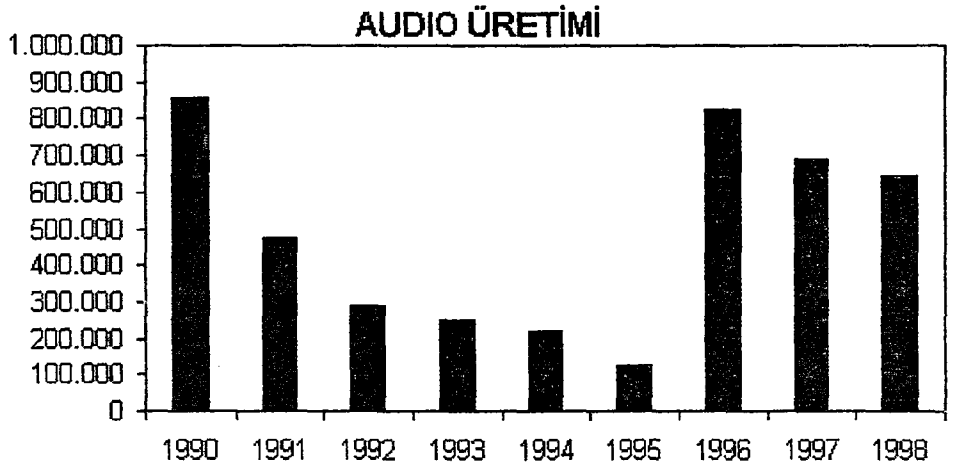
**Grafik 3. 4. Renkli TV üretimi (1990-1998) [21]**




1998 yılında, renkli televizyon dışsatımın en çok gerçekleştirildiği ülke grubu 708,93 milyon Dolar (ABD) ve %78artış oranıyla Avrupa Birliği ülkeleri olmuştur. Bu ülke grubunda değerlendirilen Almanya 293,48 milyon Dolar (ABD) ve % 27.3 oranında dışsatım artışıyla birinci, 139,68 milyon Dolar (ABD) ve % 47.8 artışla İngiltere ikinci, 63,62 milyon Dolar (ABD) ve % 59.4 artışla Fransa üçüncü ve 48,89 milyon Dolar (ABD), % 55.8 artışla İspanya dördüncü sırada yer almıştır. Dışsatımın gerçekleştirildiği diğer önemli ülkelere arasında

İtalya (30,4 milyon Dolar (ABD) ve % 232 artış), Portekiz (23,94 milyon Dolar (ABD) ve % 20.3 artış), Hollanda (23,2 milyon Dolar (ABD) ve %28.8 artış), Danimarka ( 22.2 milyon Dolar (ABD) ve %39.8 artış) bulunmaktadır.

**Grafik 3. 5. Audio üretimi (1990-1998) [21]**




**Tablo 3. 6. Tüketim Cihazları Alt Sektörünün üretim, dışalım ve dışsatımları [21]**

| | ÜRETİM (BİN $) | | | DIŞSATIM (BİN $) | | | DIŞALIM (BİN$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ÜRÜN CİNSİ | 1996(*) | 1997(**) | 1998(***) | 1996 | 1997 | 1998 | 1996 | 1997 | 1998 |
| Renkli TV | 469.264 | 820.020 | 1.043.000 | 241.039 | 438.865 | 789.335 | 50.913 | 75.558 | 83.575 |
| Audio Cih. | 62.181 | 42.700 | 32.394 | 393 | 332 | 1.795 | 98.249 | 131.711 | 42.466 |
| Video Player | 1.792 | 4.750 | 2.283 | 199 | 113 | 394 | 12.141 | 13.468 | 16.251 |
| Yazar Kasa | 13.955 | 14.648 | 14.203 | 1.650 | 1.163 | 1.241 | 7.183 | 9.367 | 27.466 |
| E. Hes. Mak. | 1.591 | 1.600 | 1.450 | 485 | 321 | 311 | 2.937 | 13.606 | 16.251 |
| Au.Vid. Kaset | 125.603 | 130.000 | 105.000 | 116.945 | 105.202 | 84.815 | 68.067 | 76.463 | 68.886 |
| Radio, TV Alıcı Anten Santral | 9.918 | 6.032 | 13.650 | 4.221 | 4.522 | 6.525 | 25.570 | 56.461 | 54.392 |
| Elek. Tartı. Cih. | 4.729 | 5.250 | 4.300 | 514 | 446 | 738 | 6.364 | 9.823 | 9.919 |
| Toplam | 689.033 | 1.025.000 | 1.216.280 | 365.009 | 551.175 | 884.974 | 281.424 | 386.457 | 389.006 |

(*): : 1996 yılı 1$(ABD)= 81.689.- TL. alınmıştır. (30 Haziran)
(**): 1997 yılı 1$(ABD)=147.380.- TL. alınmıştır. (30 Haziran)
(***): 1998 yılı 1$(ABD)=266.330.- TL. alınmıştır. (30 Haziran)

Renkli televizyon dışsatımının en çok gerçekleştirildiği ülke grubu arasında ikinci sırada yer alan diğer Avrupa ülkelerine yapılan dışsatım % 66 artmış ve 43.49 milyon Dolar (ABD) olmuştur. Adı geçen ülke grubunda yer alan Polonya'ya 7 milyon Dolar (ABD), Norveç'e 6,74 milyon Dolar (ABD), Romanya'ya 5,83 milyon Dolar (ABD), İsviçre'ye 5,4 milyon Dolar (ABD), geçen yıl hiç dışsatımın yapılmadığı Letonya' ya 3,14 milyon Dolar (ABD) ve Çek Cumhuriyeti'ne 2,5 milyon Dolar (ABD) dışsatım yapılmıştır.

Üçüncü sırada yer alan ülke grubu Asya ülkelerine yapılan dışsatım 18,29 milyon Dolar (ABD) değerinde olurken, 1997 yılına göre % 25.8 oranında bir artış görülmüştür. İsrail (8 milyon Dolar (ABD) ve % 77.1 artış), BAE (1,59 milyon Dolar (ABD) ve % 207 artış) ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (1,12 milyon Dolar (ABD) ve % 4.7 azalış) bu ülke grubunda en çok dışsatımın yapıldığı ülkeler arasında bulunmaktadır.

1998 yılında yaşanan kriz ortamında ve ekonomik olumsuzluklara rağmen, televizyon sektörü dışsatımındaki performansını neredeyse ikiye katlamıştır.

### 3.1.2.3 Telekomünikasyon Cihazları Alt Sektörü

Bugün iletişim, dünyayı adeta ortak bir çatı altında toplamıştır. İletişim teknolojisinde sağlanan gelişmeler büyük bir hızla devam etmektedir. Daha önceleri bir ülkenin gelişmişlik düzeyi ağır sanayi potansiyeli ile belirlenirken, günümüzde bu kriter yerini bilgi üretimi, bilgisayar kullanımı ve iletişim teknolojilerinde ulaşılan seviyeye bırakmıştır.

İletişim alt yapısını kurmayı hedefleyen ülkemiz bu alanda önemli yol almış, bu alanda bilgi birikimi ve deneyimine sahip olmuştur. Üstelik ülkemizin bu alanda kaydettiği başarı ülkenin kalkınması ve ulusal rekabet gücünün sağlanmasında en önemli olan özgün Ar-Ge etkinlikleri de rol oynamıştır. Ülkemizde telekomünikasyon alanında gerçekleştirilen yatırımlarda büyük ölçüde yerli sanayiye yer verilmiştir. Türk Telekom A. Ş. telekomünikasyon teçhizatı ihtiyacının önemli bir bölümünü iç kaynaktan karşılamaktadır.

1998 sonunda toplam santral kapasitesi % 6'lık bir artışla 18.834.625 hatta (1997'de 17.852.000 hat), abone sayısı % 7.5 artışla 17.224.020 (1997'de 16.042.000 abone) ve telefon yoğunluğu ise % 27'ye ulaşmıştır.

Telefon santrallerinin % 82.86'sı sayısal (digital) santrallerdir. Telekomünikasyon cihazları toplam üretiminde 1997 yılına göre % 6.5 oranında bir düşme görülmüştür. (1997 yılındaki toplam üretim değer olarak 665.500.000 Dolar (ABD)dan 624.372.000 Dolar (ABD)a düşmüştür).

Burada en öneli faktör, bu sektörde talep açısından öncelik yapan Türk Telekom A. Ş.' in telekomünikasyon cihazları ve telefon santralleri talebinde büyük bir düşme görülmüştür.

Bu sektörde hizmet veren firmalar tarafından üretilen şehir ve kırsal tip telefon santrali toplam hat miktarı 1997 yılında 2.100.000 hat iken, 1998 yılında bu miktar 1.300.000 hatta düşmüştür.

Telekomünikasyon cihazları dışalımı % 47.6 bir artışla 812.6 milyon Dolar (ABD)dan 1.200,2 milyon Dolar (ABD)a yükselmiştir. Toplam dışalım tutarının % 59'luk kısmı (708.1 milyon Dolar (ABD)) telsiz-telefon verici cihazları, radar ve telsiz-telefon alıcı cihazlarına aittir.

Tablodan görülebileceği gibi telekomünikasyon cihazları toplam dışsatımı % 10'luk bir artış ile 137.7 milyon Dolar (ABD)dan 151.8 milyon Dolar (ABD)a yükselmiştir.

**Tablo 3. 7. Telekomünikasyon Cihazları Alt sektörünün üretim, dışalım ve dışsatımları [21]**

| ÜRÜN CİNSİ | ÜRETİM (BİN $) | | DIŞSATIM (BİN $) | | DIŞALIM (BİN $) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 |
| Telefon ve Telgraf hatlarını birbirine bağlamaya mahsus cihazlar (otomatik telefon santrali) | 323.365 | 275.277 | 7.470 | 7.837 | 40.034 | 137.462 |
| Uç cihazlar (telefon, telem.,telefaks vb.)(85.10.90 dahil) | 74.637 | 83.383 | 4.923 | 3.949 | 80.833 | 71.936 |
| Transmisyon Cihazları (Analog Digital Multipleks Cih. TV Aktarıcı 85.17.90 dahil) | 55.380 | 52.060 | 28.147 | 57.301 | 117.847 | 205.213 |
| Telsiz telefon/telsiz telgraf alıcı/verici | 38.118 | 34.300 | 28.680 | 16.844 | 497.508 | 708.182 |
| Telsiz telefon/telsiz telgraf alıcı/verici uydu vb. antenler aksam ve parçalar□9.000 | | 11.000 | 3.574 | 9.208 | 80.968 | 64.186 |
| Telekomünikasyon Kabloları | 165.000 | 168.352 | 65.013 | 56.676 | 18.089 | 13.151 |
| Bakır Kablolar | 112.500 | 116.000 | 52.140 | 52.259 | 10.299 | 10.214 |
| Fiber Optik Kablolar | 52.500 | 52.532 | 12.873 | 4.417 | 7.790 | 2.937 |
| TOPLAM | 665.500 | 624.372 | 137.807 | 151.807 | 835.279 | 1.200.130 |

Üretim: 1997 yılı 1$(ABD)=147.380.- TL. alınmıştır. (30 Haziran)
1998 yılı 1$(ABD)=266.330.- TL. alınmıştır. (30 Haziran)

### 3.1.2.4 Askeri Elektronik Cihazlar Alt Sektörü

20.yüzyilin sonlarında Sovyet sosyalist Bloğunun çökmesi, ABD ile soğuk savasın bitmesi, savunma harcamalarını önemli ölçüde azaltmış, dolayısıyla savunma sanayileri ciddi krize girmişler ve bu nedenle pazarda göreceli bir daralma gözlenmiştir. Türkiye gibi komşularının neredeyse tümü problemli olan ve dünyada su an var olan tüm problemli bölgelerle(Ortadoğu, Kafkasya ve Balkanlar) komşu olan ayrıca, yoğun bir şekilde bir bölücü örgüte karşı iç güvenlik problemi yasayan ülkemizde ise savunma harcamalarında tersine önemli artışlar söz

konusu olmuştur. Ulusal Askeri Elektronik Sanayimiz dünyadaki bu daralmadan etkilenmeyen tek savunma sanayi koludur ki, Türkiye'nin özel durumu nedeniyle çok ayrı bir önem arz etmektedir. Savunmaya yönelik elektronik sanayiinde 1990'dan itibaren ülkemizde önemli oluşumlar sağlanmış, gelişmeler olmuş, askeri elektronik alanında da SSM (Savunma Sanayi Müsteşarlığı:SSM) önemli temel projelerin ihalelerini açarak yerli katkılarıyla yurt içinde üretim başlamasını sağlamış, MSB (Milli Savunma Bakanlığı:MSB) daha çok iç kaynaklara yönelmiştir. Buna rağmen, Türkiye'nin savunma elektroniğindeki yapısı ve durumu gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında aşağıda özetlendiği şekildedir

**Tablo 3. 8. Türkiye'nin savunma elektroniğinin gelişmiş ülkelerle karşılaştırılması [21]**

| | **Gelişmiş Ülkeler** | **Türkiye** |
|---|---|---|
| Tedarik Yöntemi | Sanayi Partnerliği | İhale |
| Milli Kaynaklardan Ana Sistem Tedariki | Ortalama %85 iç | % 20 iç |
| Özgün Yerli Tasarım | % 100 | % 8 |
| Askeri Elektronik Ar-Ge Harcamaları Oranı | % 6 | % 2,5 |
| Savunma Elektroniğine Yönelik Firma | Çok | Kısıtlı |
| Çok Alanlı Faaliyet Gösteren Firmaların Sinerjisi | Yüksek | Yok |

Bu durum ilgililer tarafından da tespit edilerek, önümüzdeki 29-30 yıl içinde (ABD, Fransa, İngiltere, Rusya gibi %95'lik oranlara çıkartılmasa bile) %21'lik oranın %60-65lere çıkartılması hedef alınmış ve bu amaçla çözümler üretmek için savunma sanayicileriyle bir dizi toplantı gündeme gelmiştir. 2025 yılına kadar 150 milyar Dolarlık (ABD) askeri teçhizat alacağımız düşünülürse bu çalışmaların, ülkemiz güvenliği ve ekonomimiz açısından önemi bir kez daha açığa çıkmaktadır. Bu alımların yaklaşık %40'inin askeri elektronik sanayimizi ilgilendiren elektronik, elektro optik, elektro mekanik ve yazılıma dayalı ürünler olması sektörümüz açısından önemini ortaya koymaktadır. Zira yüksek teknolojiye ve yazılıma dayalı askeri elektronik ürünlerini dışarıdan almanın ekonomik değerlerden öte, taşıdığı büyük risk, çeşitli vesilelerle kendisini göstermektedir. Bu nedenle askeri elektronik ürünlerinde yerli karşılama oranı olarak %100 hedef alınmalı ve zaman içinde %90lı rakamlar gerçekleştirilebilmelidir.

Savunma sanayiinde genel durum 1997 yılında olduğu gibi devam ediyor. Şirket birleşmeleri halen revaçta, sadece ABD'de Lockheed Martin ile Northrop Grumman arasındaki birleşme girişimi devletçe uygun görülmeyerek engellendi. Avrupa'da geçen yıla nazaran oluşan en büyük farkın; AB ülkelerinin son Köln zirvesinde Avrupa için ortak bir güvenlik stratejisi kabul etmeleri olduğunu söyleyebiliriz. Ancak bu olgunun Avrupa'nın mevcut savunma sanayii alt yapısına etkisi için vakit henüz çok erken.

Bilindiği gibi ülkemizde geçen yılından beri çok sayıda büyük savunma projeleri gündemde. Bunlar arasında ana muhabere tankı, helikopter, insansız hava araçları, mayın karşı tedbirleri gemisi projeleri en baş sıralarda gelmektedir.

Bütün bu ana savunma sistemlerinin ve bunların elektronik bölümlerinin yurt içinde en yüksek katma değer sağlanarak üretilmesi son yıllarda uygulanmakta olan politikalardır.

Türkiye'de bilim, teknoloji ve sanayileşme yeteneğinin yükseltilmesi temel olmak üzere, TSK' in savunma sistem ihtiyaçlarının planlanan zamanda, istenen performansta, gizlilik ve güvenlik koşullarını da yerine getirerek, büyük ölçüde yurt içinden karşılanması yönünde, son yıllarda önemli çalışmalar ve değerlendirmeler yapılmış bunun sonucunda , 98/11173 Sayılı

Bakanlar Kurulu Kararı olarak 20 Haziran 1998 tarihinde resmi gazetede "Türk Savunma Sanayi Politikası ve Stratejisi ve Esasları" dokümanı yayınlanmıştır.

Bu dokümanda savunma sanayii politikası olarak, ihracat potansiyeline ve uluslararası rekabet imkanına sahip, yeni teknolojilere adapte olmakta güçlük çekmeyen ve teknoloji üretebilen, teknolojik gelişmeler karşısında kendinin yenileme kabiliyeti bulunan, değişen politik durumlardan asgari düzeyde etkilenen, mevcut imkanları azami ölçüde kullanan ve tekrarlanan yatırımlardan arındırılan ve çift amaçlı üretim yapabilen bir savunma sanayi alt yapısının oluşturulması hedeflenmiştir.

Aynı dokümanda, savunma araştırma teknolojileri ile ilgili olarak, mevcut kaynakların uygun şekilde kullanımı açısından savunma sistemlerini ve bunlara bağlı teknolojileri aşağıda belirtilen üç ana grupta ele alınan strateji benimsenmiştir:

a. Milli olması zorunlu sistemler/teknolojiler
   Bunların uzun vadede mutlaka yurt içinde geliştirilmesi ve üretilmesi öngörülmektedir.

b. Kritik sistemler/teknolojiler
   Bunların uzun vadede yurt içinde geliştirilmesi amaçlanmakta ve mümkün olmayanlar için ortak üretim esas alınmaktadır.

c. Diğer sistemler/teknolojiler
   Bu kategoriye girenlerin, çok kaynaktan tedarik politikasına uygun olarak, en ekonomik ömür devir maliyetini sağlayan kaynaktan tedarik edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca tedarik faaliyetleri ile ilgili olarak, tedarikin tek elden yürütülmesi, milli olması zorunlu ve kritik ihtiyaçların AR-GE' ye dayalı olarak uygun milli tesis güvenlik belgesi bulunan sanayi tesislerinde geliştirilip üretilmesi, seçilen alt sektörlerde milli ana yüklenici uygulamasına geçilmesi, yurt dışından satın alınmasına karar verilen sistemlerde ofsetin bir enstrüman olarak kullanılması, zorunlu olmadıkça yurt dışından acil alım yapılmaması ve yerli firmalar lehine % 15'e kadar fiyat farkı avantajı sağlanması yönünde bir strateji belirlenmiştir.

Yukarıda ana hatları vurgulanan Savunma Sanayi Politikası ve Stratejisinin uygulamaya konulması amacıyla Milli Savunma Bakanlığı tarafından MSY:317-3 Türk Savunma Sanayii Yönergesi hazırlanarak yürürlüğe geçirilmiştir. Bu yönerge ile milli olması zorunlu ve kritik sistemler/teknolojiler konularında MSB için tavsiye niteliğinde çalışmalarda bulunmak üzere belirli teknoloji alanlarına yönelik olarak teknoloji panelleri oluşturulması öngörülmüştür. Teknoloji panellerinin temel amacı, ordumuzun AR-GE' ye dayalı tedarik yoluyla karşılanacak ihtiyaçlarla ilgili bilim ve teknoloji faaliyetlerinin tek elden planlanmasına, izlenmesine ve çalışmalarda koordinasyonun sağlanmasına destek sağlamaktır. Bu amaçla aşağıda isimleri belirtilen on üç adet teknoloji paneli kurulmaktadır.

i. Etüt, Analiz ve Simülasyon
ii. Komuta Kontrol ve Bilgi Sistemler
iii. Sensör ve Elektronik Sistemler
iv. Elektronik Harp
v. Tanım, Tasarım ve Entegrasyon
vi. Silah Sistemleri
vii. Roket ve Füze Sistemleri
viii. Mühimmat
ix. Araç ve Platformlar
x. NBC

xi. İleri Malzemeler
xii. Teknik Bilgi, Enformasyon
xiii. Dokümantasyon

Her bir panelde TSK, üniversiteler ve bilimsel kuruluşlar ve savunma sanayii kuruluşlarının yer alması öngörülmektedir. Bu teknoloji panelleri vasıtasıyla Silahlı Kuvvetler' in On Yıllık Tedarik Programlarında (OYTEP) yer alan ihtiyaçlarından milli olması zorunlu ve kritik olanların belirlenmesi ve bu ihtiyaçların AR-GE' ye dayalı olarak karşılanması için mevcut kabiliyetlerin tespit edilmesi, gelişme dinamiklerinin değerlendirilmesi, yönlendirilmesi ve kabiliyetlerini arttırılması, teknoloji alanı ile ilgili bilgilerin amaca uygun şekilde yönetilmesinin sağlanması hedeflenmektedir.

Bugün ve gelecekte Silahlı Kuvvetler tarafından ihtiyaç duyulan, tamamıyla elektronik teknolojisine dayanan haberleşme, komuta kontrol, atış kontrol, algılayıcılar ve benzeri sistemler yanında, bu teknoloji uçak, tank, helikopter, gemi, füze gibi savaş araçlarında da yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Genellikle, elektronik teknolojisinin kullanıldığı sistemlerin milli ve bu teknolojilerin kritik teknoloji olduğu kabul edilmektedir. Teknoloji panellerinin büyük bir bölümünün elektronik teknolojisine yönelik alanlarda faaliyet göstereceği ve seçilerek milli ve kritik sistem teknolojilerin yurt içinde geliştirilmesinin hedeflendiği göz önüne alındığında, ülkemizin savunma elektroniği alt yapısında ve elektronik sistem tasarım yeteneğinde önemli gelişmeler sağlanması ve bunu sonucu olarak, ekonomimize katma değeri yükse ürün ve kabiliyetler kazandırılması beklenilmektedir.

Bu gelişmelerden ayrı olarak Başbakanlığın bir tahmini ile Sanayi ve Ticaret Bakanlığı koordinatörlüğünde Türkiye'de kamu harcamalarının ülkemizin bilim, teknoloji ve sanayileşme yeteneğini yükseltme amacıyla yapılmasının gerçekleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmalar sonucu yeni bir Kamu Satın alma Politikası oluşturulması beklenmektedir.

### 3.1.2.5 Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar Alt Sektörü

Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar Alt Sektörünü diğer sektörlerden ayıran önemli özellikler bulunmaktadır. Bunlardan ilki, büyük üretim mekanizmalarında ve işletmelerde bu sektör cihaz ve sistemlerinin önemli bir yer tutmasıdır. Hatta, Bilişim (Enformasyon) sanayileri ile birlikte üretim süreçlerinin kontrolünü elinde tutmakta ve bu çerçevede bunların teknolojik düzeyini büyük ölçüde belirlemektedir. Özellikle de üretimde otomasyon ve esnekliğin giderek yaygınlaştığı günümüzde sektör kilit nokta haline gelmektedir. Bu durum sektöre verilmesi gereken önemin düzeyini belirlemektedir.

Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar Alt Sektörünün iç pazarı büyük ölçüde diğer üretim sektörleri ve tesisleriyle sınırlıdır. Sektörün tüm elektronik sektör üretimi içindeki payı son derece düşüktür. Sektörde yer alan firmaların büyük çoğunluğu küçük ölçekli firmalardır. Öte yandan kamunun profesyonel cihaz ihtiyacı için yaptığı alımlarda yerli üreticiye öncelik tanınmaması, hatta dışlanması ve yabancı firmalarla rekabet edememesi sektörün gelişmesini engelleyen önemli bir faktördür.

Bu durum sektörün bazı ürün gruplarında üretim yapan yerli firmaların ticarete kayması ve üretim yapan firma sayısının hızla azalması sonucunu doğurmaktadır.

Bu alt sektördeki toplam dışsatım 1997 yılına göre % 5,1 bir artışla 31,4 milyon Dolardan (ABD), 35 milyon Dolara (ABD), dış alım ise % 4,9 bir artışla 910 milyon Dolardan (ABD) 956 milyon Dolara (ABD) ulaşmıştır.

Sektör içinde önemli yer tutan endüstriyel cihazlar grubu, dünyada olduğu gibi, ülkemizde de sektördeki tüm olumsuzluklara rağmen son yıllarda bir büyüme göstererek pazar payını gittikçe artırmaktadır.

**Tablo 3. 9. Diğer Profesyonel Ve Endüstriyel Cihazları Üretim, Dışalım ve Dışsatımının Yıllara Göre Değişimi [21]**

| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|---|
| Üretim (Bin $) | 107.718 | 109.005 | 195.000 | 205.000 |
| Dışalım (Bin $) | 496.535 | 757.960 | 910.231 | 955.557 |
| Dışsatım (Bin $) | 15.850 | 28.885 | 31.372 | 35.018 |

($: Dolar (ABD))

**Tablo 3. 10. Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazları Alt Sektörünün Dışalım ve Dışsatımları [21]**

| ÜRÜN CİNSİ | DIŞALIM (Bin $) | | DIŞSATIM (Bin $) | |
|---|---|---|---|---|
| | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 |
| 1. Ses ve Görüntü Sistemleri | 23.207 | 25.171 | 79 | 529 |
| 2. Endüstriyel Elektronik Cihazlar | 174.763 | 220.691 | 16.472 | 17.775 |
| a. Statik Konvertörler | 76.027 | 94.566 | 6.965 | 6.764 |
| b. Otomasyon Cihazları | 11.762 | 42.814 | 4.388 | 5.725 |
| c. Sinyalizasyon ve Alarm Cihazları | 52.541 | 52.688 | 3.049 | 3.581 |
| d. Endüksiyon Ocakları | 34.433 | 30.623 | 2.070 | 1.705 |
| 3. Tıbbi Elektronik | 230.514 | 251.656 | 6.347 | 6.390 |
| 4. Test ve Ölçü Aletleri | 290.643 | 250.650 | 6.054 | 7.377 |
| 5. Otomotiv Elekt.(taksimetre, takometre) | 15.083 | 16.917 | 93 | 222 |
| 6. Elektronik Saatler | 109.606 | 101.116 | 1.757 | 1.830 |
| 7. Diğer Cihazlar | 66.415 | 89.356 | 570 | 895 |
| TOPLAM | 910.231 | 955.557 | 31.372 | 35.018 |

($: Dolar (ABD))

### 3.1.2.6 Bilgisayar Cihazları Alt Sektörü

1998'de bilgisayar pazarı 1997'ye göre % 26,7 büyüme göstererek 1,586 milyar Dolardan (ABD) 2,010 milyar Dolar (ABD) ulaşmıştır. 1998 yılında % 71,9 oranla donanım satışları 1997 yılında olduğu gibi ilk sırada yer almıştır. Donanımı % 13,8 pay ile hizmetler ve % 11,7 pay ile yazılım satışları izlemektedir. [21]

**Tablo 3. 11. Bilgisayar pazarı satış gelirleri (Bin $(ABD)) [21]**

| | 1996 (Bin $) | 1997 (Bin $) | 1998 (Bin $) | DEĞİŞİM 97 - 98 |
|---|---|---|---|---|
| Donanım | 888.688 | 1.187.285 | 1.445.385 | 21.7 |
| Yazılım | 152.006 | 185.264 | 234.098 | 26.4 |
| Hizmet | 135.621 | 177.883 | 277.986 | 56.3 |
| Tüketim Malzeme. | 29.629 | 36.463 | 52.797 | 44.8 |
| TOPLAM | 1.205.944 | 1.586.895 | 2.010.266 | 26.7 |

**Tablo 3. 12. Türkiye PC pazarı [21]**

| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|---|
| PC SATIŞ (Adet) | 183.925 | 240.487 | 346.620 | 430.000 |
| PC SATIŞ (Bin $) | 313.279 | 371.959 | 486.318 | 623.772 |

($: Dolar (ABD))

**Tablo 3. 13. Bilgisayar Cihazları Alt Sektörünün Dışalım ve Dışsatımının Yıllara Göre Dağılımı [21]**

| YILLAR | DIŞALIM (Bin$) | DIŞSATIM (Bin $) |
|---|---|---|
| 1992 | 378.883 | 12.501 |
| 1993 | 419.175 | 5.706 |
| 1994 | 290.179 | 9.872 |
| 1995 | 519.641 | 5.661 |
| 1996 | 695.732 | 22.949 |
| 1997 | 810.779 | 30.655 |
| 1998 | 909.703 | 48.765 |

($: Dolar (ABD))

### 3.2 Dünya Elektronik Endüstrisi

Bu kısımda ileri derecede gelişmiş elektronik endüstrisine sahip ülkeler ile elektronik endüstrisini yeni kurmaya çalışan ülkelerin avantaj ve dezavantajları incelenecektir.

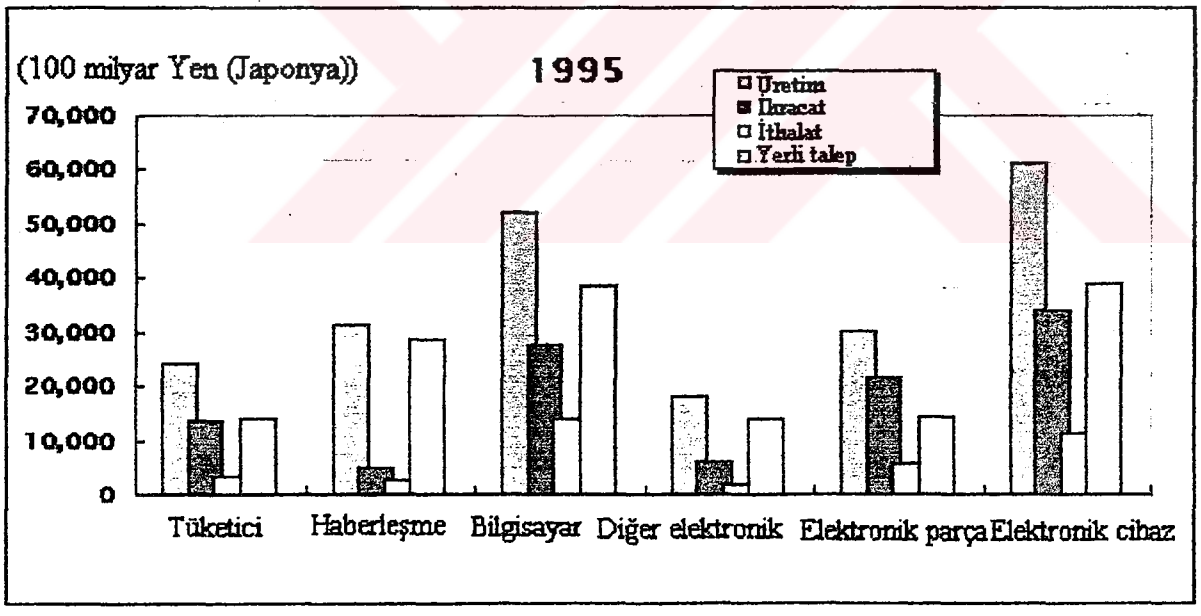
#### 3.2.1 Japonya Elektronik Endüstrisi

JEIDA:
JEIDA (Japan Electronic Industry Association) 1958' de elektronik endüstrisine teşvik ve Japonya ekonomisine katkıda bulunmak amacı ile kar amacı olmaksızın kurulmuştur.

Bugünlerde Japonya elektronik endüstrisi haberleşme cihazları ve radyo ve TV gibi tüketici elektroniğine odaklanmıştır. Bilgisayar, otomasyon cihazı ve yeni elektronik eleman/cihazları tam olarak bir "**endüstri**" kuramamıştır. Bu temele karşı JEIDA Japonya elektronik üreticiler tarafından bilgi toplumunun yeni elektronik endüstrisi ihtiyaçlarını karşılamak ve geliştirmek amacı ile kurulmuştur.

Aşağıdaki Kasım 1999 ve tüm 1999 yılı Japonya Elektronik Endüstrisi ile ilgili tablo ve grafikler verilmiştir. (1998 yılı için 1$ (ABD)=130 Yen (Japonya) dır.)

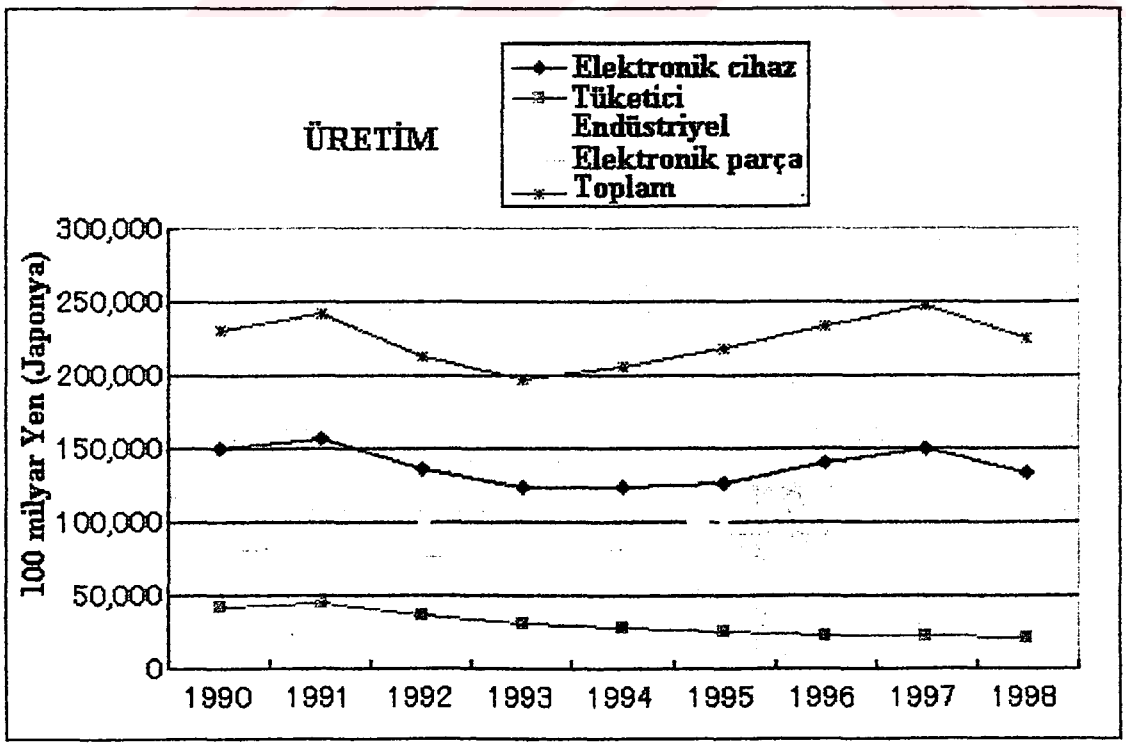
**Grafik 3. 6. 1995 Japonya Elektronik Endüstrisi [22]**



**Tablo 3. 14. Kasım 1999 Japonya Elektronik Endüstrisi Üretimi [22]**

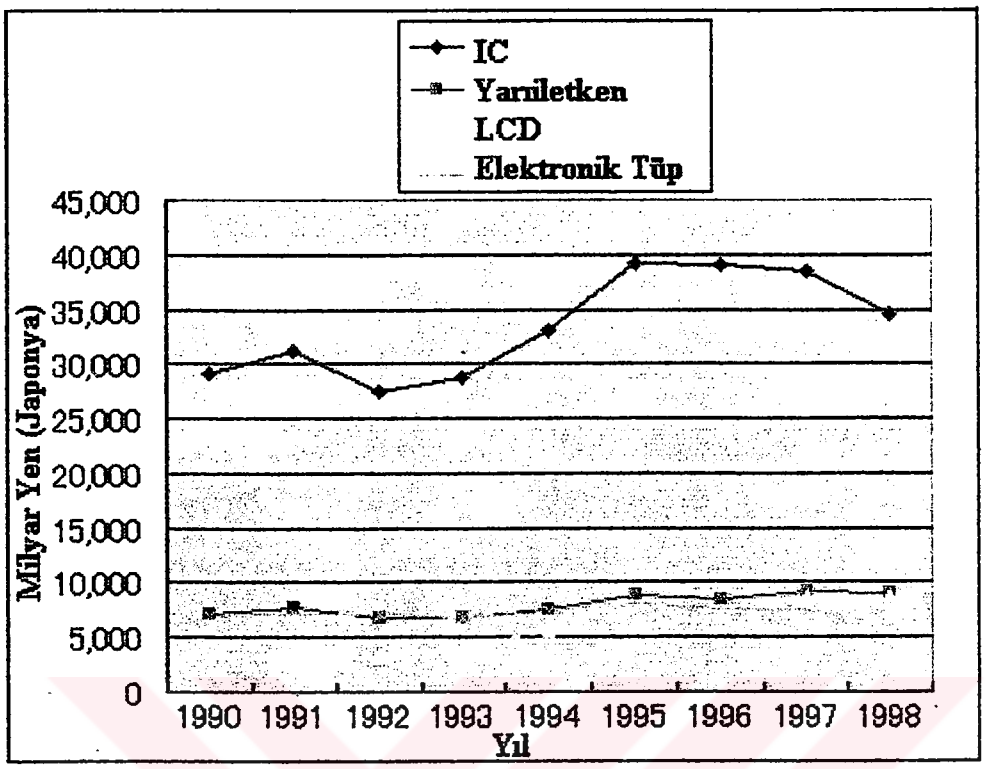
| Yen :Japonya | Kas.99 | | Tüm 1999 | |
|---|---|---|---|---|
| | Milyon Yen | önceki yıl % | milyon Yen | önceki yıl % |
| Tüketici elektronik cihazları | 180.837 | 94,4 | 1.873.359 | 97,0 |
| Video cihazları | 121.924 | 99,0 | 1.218.104 | 98,4 |
| Ses cihazları | 58.913 | 86,1 | 655.255 | 94,6 |
| Endüstriyel elektronik cihazları | 905.617 | 102,8 | 10.472.752 | 96,8 |
| Haberleşme cihazları | 292.335 | 113,1 | 3.506.934 | 101,3 |
| Haberleşme sistemleri | 150.922 | 110,5 | 1.775.592 | 98,7 |
| Radyo haberleşme sistemleri | 141.413 | 116,0 | 1.731.342 | 104,1 |
| Elektronik uygulama cihazları | 510.592 | 96,9 | 5.757.801 | 94,3 |
| Bilgisayar ve ilgili cihazlar | 453.524 | 95,4 | 5.046.969 | 94,4 |
| Diğer | 57.068 | 110,5 | 710.832 | 93,7 |
| Elektrik ölçme enstrümanları | 47.876 | 115,5 | 546.709 | 93,3 |
| Elektronik iş makineleri | 54.814 | 101,9 | 661.308 | 99,0 |
| Elektronik eleman ve malzeme | 917.732 | 116,8 | 9.121.841 | 104,9 |
| Elektronik elemanlar | 319.446 | 107,4 | 3.311.225 | 99,6 |
| Pasif elemanlar | 100.548 | 111,3 | 1.017.054 | 98,8 |
| Bağlama elemanları | 152.583 | 109,0 | 1.584.539 | 103,2 |
| Transdüserler | 22.234 | 94,5 | 257.556 | 95,2 |
| Diğer | 44.081 | 101,3 | 452.076 | 92,6 |
| Elektronik malzemeler | 598.286 | 122,6 | 5.810.616 | 108,2 |
| Elektronik tüpler | 41.813 | 82,3 | 436.47 | 76,7 |
| Ayrık yarıiletkenler | 89.809 | 124,8 | 868.247 | 105,7 |
| Tümdevreler(IC) | 352.132 | 124,6 | 3.375.817 | 105,9 |
| LCD ler | 114.532 | 138,6 | 1.130.082 | 142,2 |
| GENEL TOPLAM | 2.004.186 | 107,9 | 21.467.952 | 100,1 |

**Grafik 3. 7. 1990-1998 Japonya Elektronik Üretimi(Yen (Japonya)) [22]**



**Grafik 3. 8. 1990-1998 Japonya Elektronik Yarıiletken Üretimi**

**(Yen (Japonya)) [22]**



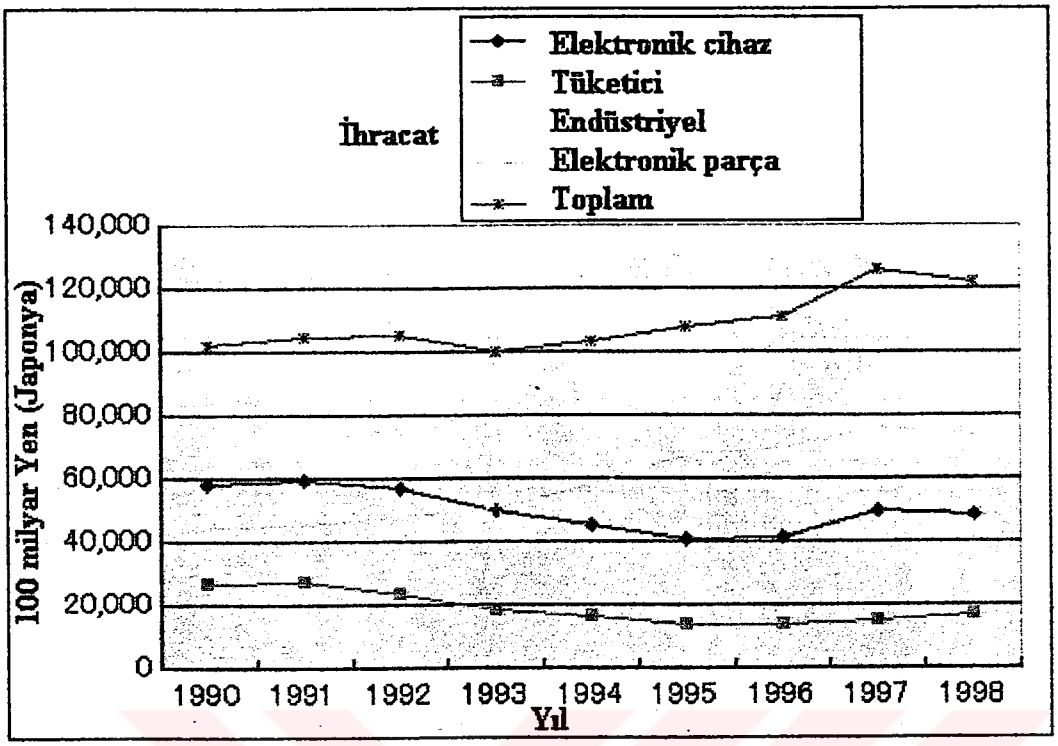

**Tablo 3. 15. Kasım 1999' da Japonya Elektronik İhracatı (Yen (Japonya)) [22]**

| | Kas.99 | | Tüm 1999 | |
|---|---|---|---|---|
| | Milyon Yen | önceki yıl % | milyon Yen | önceki yıl % |
| Tüketici elektronik cihazları | 122.218 | 113,8 | 1.310.175 | 93,0 |
| Video cihazları | 96.698 | 120,0 | 996.799 | 96,3 |
| Ses cihazları | 25.52 | 95,2 | 313.376 | 83,8 |
| Endüstriyel elektronik cihazları | 233.15 | 90,7 | 2.773.588 | 85,8 |
| Haberleşme cihazları | 35.236 | 100,2 | 423.688 | 85,7 |
| Haberleşme sistemleri | 13.548 | 75,2 | 186.959 | 72,3 |
| Radyo haberleşme sistemleri | 21.688 | 126,6 | 236.729 | 100,4 |
| Elektronik uygulama cihazları | 147.808 | 80,9 | 1.754.460 | 81,8 |
| Bilgisayar | 122.004 | 76,1 | 1.506.365 | 80,1 |
| Diğer | 25.805 | 115,8 | 248.095 | 94,1 |
| Elektrik ölçme enstrümanları | 21.438 | 149,2 | 234.05 | 102,8 |
| Elektronik iş makineleri | 28.668 | 114,8 | 361.39 | 99,3 |
| Elektronik elaman ve malzeme | 675.771 | 113,2 | 7.280.652 | 96,9 |
| Elektronik elemanlar | 138.538 | 110,7 | 1.520.109 | 97,6 |
| Pasif elemanlar | 50.149 | 123,9 | 525.593 | 106,9 |
| Bağlama elemanları | 8.105 | 107,9 | 94.42 | 86,5 |
| Transdüserler | 56.764 | 115,2 | 603.371 | 99,7 |
| Diğer | 23.52 | 84,2 | 296.725 | 84,4 |
| Elektronik malzemeler | 266.544 | 123,0 | 2.763.615 | 98,5 |
| Elektronik tüpler | 20.543 | 79,8 | 237.589 | 73,2 |
| Ayrık yarıiletkenler | 42.674 | 125,0 | 443.185 | 102,0 |
| Tümdevreler(IC) | 203.327 | 129,7 | 2.082.840 | 101,7 |
| Parça ve aksesuarlar | 270.689 | 106,1 | 2.996.928 | 95,2 |
| GENEL TOPLAM | 1.031.139 | 107,3 | 11.364.415 | 93,5 |



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Grafik 3. 9. 1990-1998 Japonya Elektronik İhracatı (Yen (Japonya)) [22]



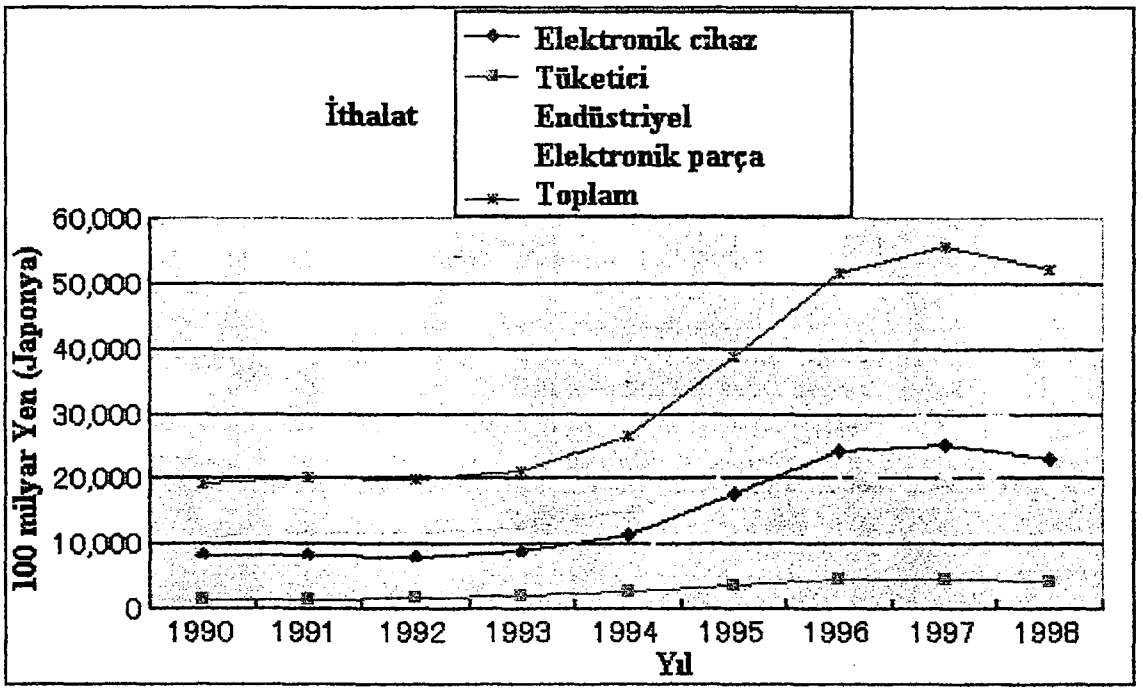

Tablo 3. 16. Kasım 1999 Japonya Elektronik İthalatı (Yen (Japonya)) [22]

| | Kas.99 | | Tüm 1999 | |
|---|---|---|---|---|
| | Milyon Yen | Önceki Yıl | Milyon Yen | Önceki Yıl |
| Tüketici elektronik cihazları | 46.605 | 110,7 | 379.739 | 105,4 |
| Video cihazları | 25.923 | 105,3 | 214.101 | 105,2 |
| Ses cihazları | 20.682 | 118,4 | 165.638 | 105,7 |
| Endüstriyel elektronik cihazları | 188.415 | 129,2 | 1.818.692 | 104,5 |
| Haberleşme cihazları | 33.255 | 153,8 | 270.213 | 98,1 |
| Haberleşme sistemleri | 26.759 | 163,4 | 206.385 | 101,7 |
| Radyo haberleşme sistemleri | 6.495 | 123,9 | 63.828 | 88,2 |
| Elektronik uygulama cihazları | 142.351 | 125,6 | 1.407.639 | 108,4 |
| Bilgisayar | 130.597 | 127,5 | 1.279.750 | 109,1 |
| Diğer | 11.754 | 108,2 | 127.889 | 101,8 |
| Elektrik ölçme enstrümanları | 8.733 | 111,5 | 100.967 | 84,6 |
| Elektronik iş makineleri | 4.076 | 131,3 | 39.873 | 84,7 |
| Elektronik elaman ve malzeme | 297.89 | 119,7 | 2.918.927 | 100,9 |
| Elektronik elemanlar | 41.449 | 115,7 | 378.178 | 96,4 |
| Pasif elemanlar | 9.839 | 109,2 | 98.021 | 98,2 |
| Bağlama elemanları | 11.016 | 103,2 | 110.719 | 90,9 |
| Transdüserler | 10.395 | 128,7 | 99.281 | 105,2 |
| Diğer | 10.199 | 126,3 | 70.157 | 91,8 |
| Elektronik malzemeler | 141.492 | 138,2 | 1.346.625 | 107,4 |
| Elektronik tüpler | 2.214 | 51,1 | 26.053 | 55,7 |
| Ayrık yarıiletkenler | 9.245 | 127,7 | 90.631 | 93,9 |
| Tümdevreler(IC) | 130.033 | 143,2 | 1.229.941 | 110,7 |
| Parça ve aksesuarlar | 114.949 | 103,8 | 1.194.124 | 95,8 |
| GENEL TOPLAM | 532.91 | 122,0 | 5.117.358 | 102,5 |

**Tablo 3. 17. Aralık 1999 Japonya Ana Tüketici Elektronik Cihazları Satışları [22]**

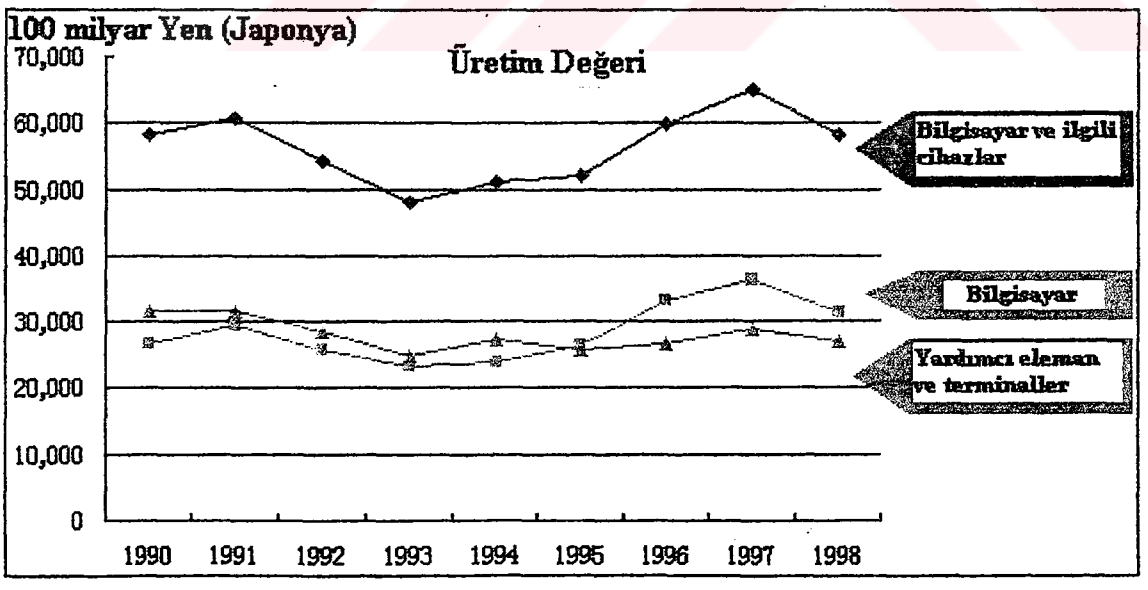
| Adet | Aralık 99 | | 1999 | |
|---|---|---|---|---|
| | bin | Önceki yıl % | bin | Önceki yıl % |
| Renkli TV | 1.394 | 101,1 | 9.597 | 99,4 |
| Standart ekran (4:3) TV | 1.21 | 105,7 | 8.322 | 107,2 |
| Geniş ekran TV | 175 | 84,9 | 1.186 | 70,4 |
| Yüksek Görüntü (Hi-Vision) TV | 9 | 32,8 | 88 | 43,3 |
| 15 inch den küçük ekran | 361 | 101,3 | 2.695 | 100,7 |
| 16-21 inch ekran | 414 | 106,3 | 2.888 | 103,8 |
| 22-29 inch ekran | 508 | 99,8 | 3.304 | 97,3 |
| 30 inch ve daha büyük ekran | 111 | 90,2 | 709 | 88,7 |
| VTR li | 256 | 120,6 | 1.953 | 108,6 |
| LCD TV | 42 | 100,6 | 393 | 89,0 |
| VTR | 1.073 | 96,1 | 6.834 | 95,5 |
| Hi-Fi VTR | 884 | 98,5 | 5.519 | 96,8 |
| Yüksek kaliteli VTR | 145 | 97,0 | 892 | 97,8 |
| Diğer | 44 | 63,3 | 423 | 78,0 |
| Video disk çalıcı | 77 | 174,0 | 418 | 136,3 |
| DVD | 75 | 203,0 | 388 | 162,2 |
| Video disk çalıcı | 2 | 29 | 30 | 44,2 |
| Kaydedicili Video kameralar | 127 | 91,0 | 1.374 | 97,0 |
| Video projeksiyon birimleri | 5 | 85,2 | 41 | 81,3 |
| Uydu yayını antenleri | 92 | 87,1 | 663 | 63,7 |
| Haberleşme uydu yayını antenleri | 23 | 133,8 | 148 | 66,3 |
| Haberleşme uydu yayınları için dijital tüner | 103 | 92,1 | 716 | 99,8 |
| Radyo alıcılar | 419 | 148,0 | 3.092 | 107,0 |
| Kompakt diskli radyolar | 557 | 113,2 | 3.172 | 110,7 |
| Mini disk çalıcılı radyolar | 260 | 257,6 | 1.156 | 241,6 |
| Stereo kulaklık | 369 | 90,2 | 2.644 | 96,9 |
| Diğer teyp kaydediciler | 117 | 92,2 | 1.204 | 96,3 |
| Kompakt disk çalıcılar | 347 | 88,4 | 2.414 | 94,5 |
| Taşınabilir teyp | 322 | 87,5 | 2.198 | 94,0 |
| Mini disk çalıcı | 476 | 106,7 | 2.95 | 112,6 |
| Taşınabilir teyp | 448 | 112,4 | 2.658 | 119,3 |
| Stereo set | 462 | 107,1 | 2.958 | 113,1 |
| Mini disk çalıcılı stereo set | 379 | 127,1 | 2.282 | 143,7 |
| Hi-fi yükselteçler | 33 | 92,7 | 278 | 105,0 |
| Hi-fi tüner | 7 | 86,7 | 59 | 81,4 |
| Hi-fi hoparlör sistemleri | 47 | 115,9 | 329 | 117,5 |
| Kayıt çalıcılar | 17 | 118,9 | 127 | 116,1 |
| Teyp dekler | 25 | 65,1 | 259 | 82,7 |
| Otomobil sistemleri | 125 | 115,6 | 1.317 | 123,3 |
| Otomobil renkli TV | 45 | 76,8 | 619 | 93,3 |
| Otomobil kaset stereolar | 260 | 73,3 | 3.899 | 85,9 |
| Otomobil uyumlu disk çalıcılar | 463 | 124,7 | 4.945 | 120,5 |
| Otomobil mini disk çalıcılar | 57 | 123,1 | 523 | 115,7 |
| Otomobil radyolar | 71 | 99,8 | 972 | 82,9 |

Grafik 3. 10. 1990-1998 Japonya Elektronik İthalatı (Yen (Japonya)) [22]

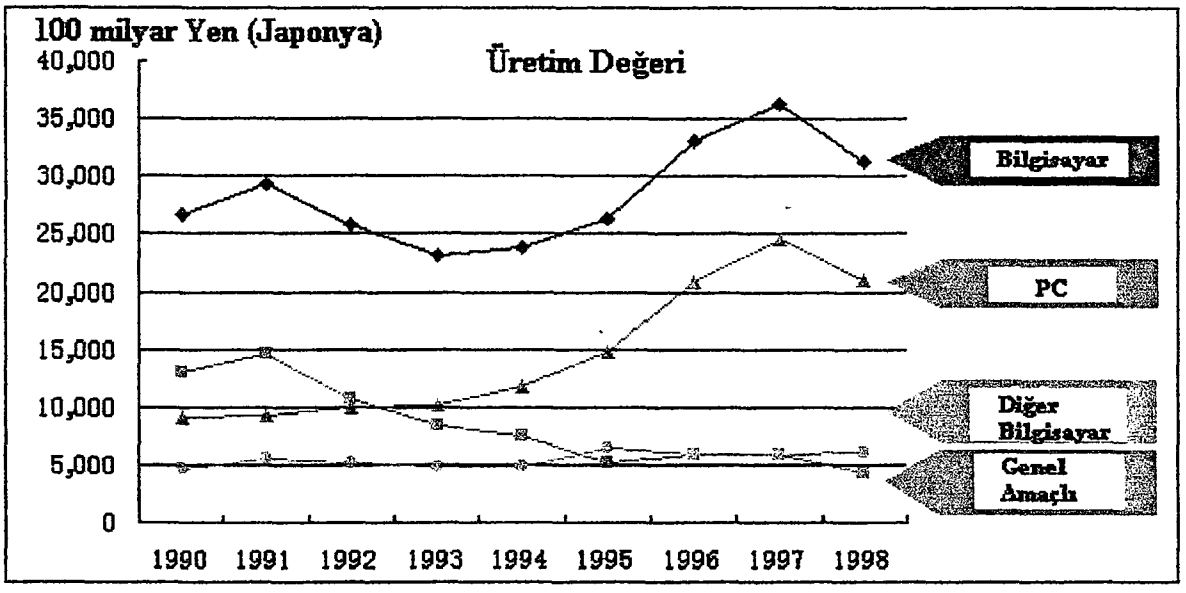



### 3.2.1.1 Japonya Bilgisayar Endüstrisi

Grafik 3. 11. 1990-1998 Japonya Bilgisayar ve İlgili Cihaz Üretimi (Yen (Japonya)) [22]



**Grafik 3. 12. 1990-1998 Japonya Bilgisayar Üretimi (Yen (Japonya)) [22]**




**Tablo 3. 18. 1999 1. Yarısında Japonya Tüm PC pazarı [22]**

| | 1998 1. 1/2 | 1999 1. 1/2 | Oran % | 1998 2. 1/4 | 1999 2. 1/4 | Oran % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC adeti(bin) | 3.541 | 4.719 | 133 | 1.949 | 2.536 | 130 |
| Değer(100 milyon Yen (Jap.)) | 12.036 | 14.125 | 117 | 6.431 | 7.566 | 118 |
| PC adeti | 7.839 | 9.722 | 124 | 4.237 | 5.134 | 121 |
| Yardımcı cihazlar | 4.197 | 4.403 | 105 | 2.194 | 2.432 | 111 |

**Tablo 3. 19. 1999 1. Yarısında Japonya Ev PC pazarı [22]**

| | 1998 1. 1/2 | 1999 1. 1/2 | Oran % | 1998 2. 1/4 | 1999 2. 1/4 | Oran % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC adeti(bin) | 3.27 | 4.391 | 134 | 1.797 | 2.359 | 131 |
| Değer(100 milyon Yen(Jap.)) | 8.955 | 11.106 | 124 | 4.889 | 5.959 | 122 |
| PC adeti | 7.283 | 9.073 | 125 | 3.931 | 4.785 | 122 |
| Yardımcı cihazlar | 1.672 | 2.033 | 122 | 958 | 1.174 | 122 |

**Tablo 3. 20. 1999 1. Yarısında Japonya PC ihracatı [22]**

| | 1998 1. 1/2 | 1999 1. 1/2 | Oran % | 1998 2. 1/4 | 1999 2. 1/4 | Oran % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC adeti(bin) | 271 | 328 | 121 | 152 | 177 | 116 |
| Değer(100 milyon Yen (Jap.)) | 3.081 | 3.019 | 98 | 1.542 | 1.607 | 104 |
| PC adeti | 556 | 649 | 117 | 306 | 349 | 114 |
| Yardımcı cihazlar | 2.525 | 2.37 | 94 | 1.236 | 1.258 | 102 |

**Tablo 3. 21. 1996 PC Kart Satışları [22]**

| | 1996 2. 1/2 | (1995-1996) 2. Yarı % | 1996 | 1995-1996 % |
|---|---|---|---|---|
| Toplam (1000 adet) | 2.317 | 87 | 5.006 | 108 |
| Toplam (milyon Japonya Yeni) | 25.184 | 82 | 57.18 | 116 |
| PC Kart (1000 adet) | 1.784 | 116 | 3.662 | 139 |
| PC Kart (milyon Japonya Yeni) | 22.711 | 94 | 50.97 | 131 |
| Diğer Kartlar(1000 adet) | 569 | 51 | 1.344 | 68 |
| Diğer Kart(milyon Japonya Yeni) | 2.473 | 39 | 6.209 | 60 |

**Tablo 3. 22. 1996 Kart Satışları [22]**

| | Satış Değeri (milyon Japonya Yeni) | | |
|---|---|---|---|
| | Ev | İhracat | Toplam |
| Toplam | 48.953 | 8.225 | 57.178 |
| PC Kart | 43.785 | 7.184 | 50.969 |
| Diğer Kart | 5.169 | .1.04 | 6.209 |

1998 Japonya Yazılım İthalat/İhracatı:
JEIDA, JISA( Japan Information Service Industry Association: JISA), JPCSA (Japan Personel Computer Software Association: JPCSA) ve AEA(American Electronics Association: AEA) işbirliği ile 1998 Japonya bilgisayar yazılımı ithalat/ihracat istatistiği yapılmıştır.

1998' de Japonya bilgisayar yazılım ihracatı 8,8 milyar Japonya Yeni (önceki yılın %311' i) ve ithalatı 595,2 milyar Japonya Yendir (önceki yılın %125,3' ü).İthalat ve ihracat oranları uluslar arası işlemlerin yayıldığını göstermektedir.

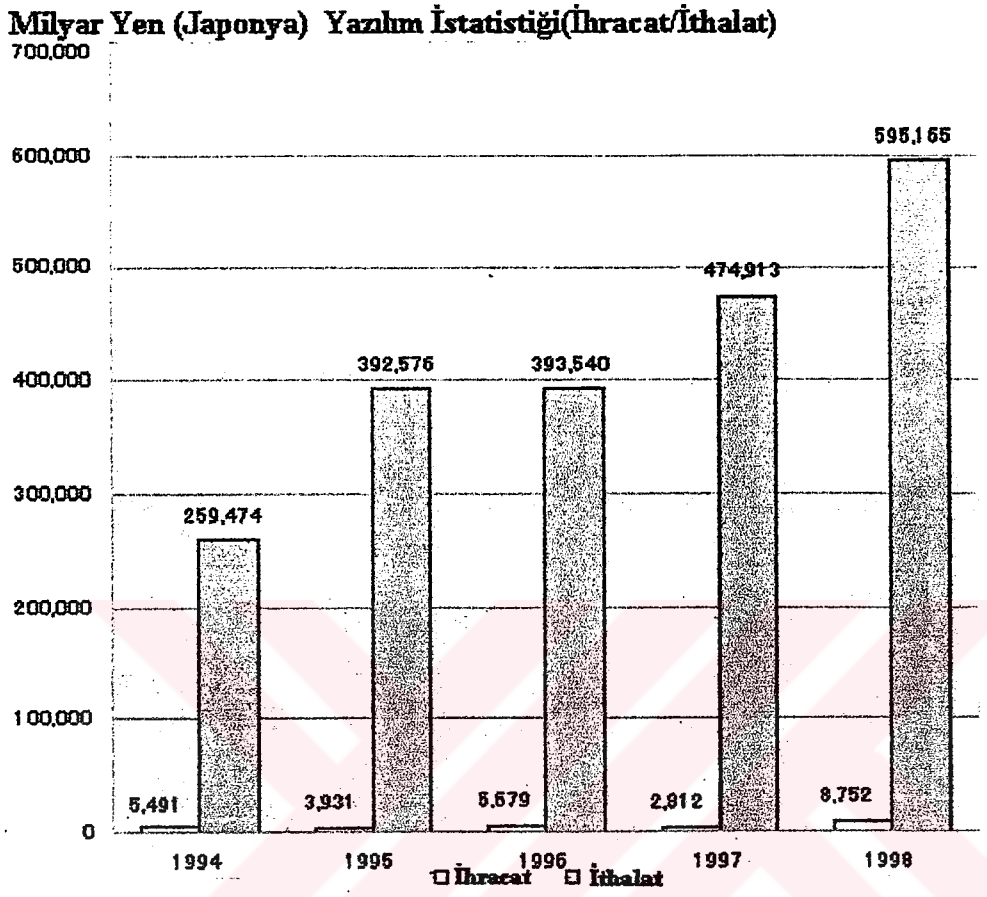
İthalatın %90' ı ABD' den olup ABD, Japonya yazılımında önceki yıldan daha fazla paya sahiptir.

Bölgesel olarak ihracat dağılımı ise Asya (toplam ihracatın %64,3' ü) 5,6 milyar Japonya Yeni (önceki yılın %415,6' sı), Avrupa 1,4 milyar Japonya Yeni (önceki yılın %364,1' i) ve Amerika (1,3 milyar Japonya Yeni (önceki yılın % 137,0' ı). Bütün bu istatistikler önceki yılı çok aşmıştır.

İthalatta ise Amerika 544,1 milyar Japonya Yen ile toplam ithalatın %90' ı dır. Temel yazılım 319,8 milyar Japonya Yeni ile toplam ithalatın %58,8 ve uygulama yazılımı 174,6 milyar Japonya Yen ile %32,1dir. Yüzde olarak Amerika temel yazılım ithalatı toplam ithalatın %53,7' sidir. Amerika' dan sonra Avrupa ve Asya gelmektedir. Bununla birlikte, Avrupa ve Asya ithalatı azalmaktadır. Asya ithalatı gerçekte yarı yarıya düşmüştür. Yazılım endüstrisinde yabancı firmalar Japonya'yı etkilemektedirler.

Oyun yazılımında istatistikler PC oyunları ile sınırlıdır. İhracat 300 milyon Japonya Yeni (önceki yılın %36,2' si) ve ithalat ise 1,9 milyar Japonya Yendir (önceki yılın %124,3 ü). Ayrıca, CESA (Computer Entertainment Software Association: CESA)' in rapor ettiği oyun makineleri bu istatistiklere dahil edilmemiştir. [22]

**Grafik 3. 13. 1994-1998 Japonya Yazılım İhracat/İthalat İstatistikleri (Yen (Japonya)) [22]**



### 3.2.2 Kanada ve ABD Elektronik Endüstrisi

#### 3.2.2.1 Bilgi ve Haberleşme Teknolojisi

Hücresel Haberleşme kablosuz (Wireless Cellular Communications :WCC) haberleşmenin her zaman büyüyecek alanı gibi görünmektedir. Kanada' da bu alanda hizmet veren şirketler Kanada halkının %90' ına ulaşmışlardır. Microcell, Mobiity Canada, Clearnet ve Rogers Cantel dijital hücresel paketler pazarlamaya başlamışlardır: Microcell Kasım 1996' da, Rogers Cantel (Amigo) Mayıs 1997' de ve Clearnet (Mike) ve Mobility Canada Ekim 1997' de. Kişisel Haberleşme Sistemi (Personel Communication System : PCS) düşük maliyet ve yüksek kalitesi ile en çok kullanılan servis olmuştur.

Servis sağlayıcılar ile ana telekomünikasyon sağlayıcılar arasındaki bağlantılar açıktır: Bell Mobility önderi Mobility Canada Nortel, Rogers Cantel daha önce Ericson' dan cihaz alma eğiliminde olan AT&T Corporation, Microcell Nortel 'den cihazlarının bir kısmını alan Sprint Canada ve Clearnet ise Lucent Technologies ile işbirliği içerisindedir.

Bu pazarın mikroekonomik görüntüsü, "Q" miktarlı bir ürün üretmek için sermaye ve çalışma gücünü birleştiren firmaların oluşturduğu yukarıda anlatılan "**teknik model**" ile yorumlanabilir. Firma özgürce "Q" eğrisinin üzerinde herhangi bir yerde çalışan için sermaye yerleştirebilir. "A" kablosuz haberleşme gibi "Q" noktasını sermaye ve çalışana bağlı olmaksızın değiştirebilecek teknoloji parametresidir.

Kablosuz el seti (wireless handset) global pazarı patlamak üzeredir. Şimdilik 100 milyon adet olan üretimin 2000' de 200 milyon adet ve 2002' de ise 300 milyon adet olması beklenmektedir. Dijital teknoloji toplam satılan adetin %80'idir. 2000 sonunda bu oran %95 olacaktır. Kablosuz pazarı 4 milyar Dolar (Kanada) olan değerini 2000' de en azından ikiye katlayarak 8 milyar Dolar (Kanada) yapması beklenmektedir. Kanada telekomünikasyon ticareti alanında çok aktif olup ABD 'den en fazla ithalat yapan ve ABD' ye en fazla ihracat yapan ülke konumundadır.

**Tablo 3. 23. ABD ilk 10 ihracat pazarı [23]**

| Ülke | Haziran 1997 Milyon Dolar (ABD) |
|---|---|
| Kanada | 1.339 |
| Japonya | 901 |
| Meksika | 652 |
| Brezilya | 621 |
| Hong Kong | 596 |
| İngiltere | 562 |
| Kore | 452 |
| Çin | 317 |
| İsrail | 293 |
| Fransa | 257 |
| Toplam İhracat | 9.580 |

**Tablo 3. 24. ABD ilk 10 ithalat pazarı [23]**

| Ülke | Haziran 1997 Milyon Dolar(ABD) |
|---|---|
| Kanada | 1.343 |
| Japonya | 1.161 |
| Meksika | 1.022 |
| Çin | 634 |
| Çin(Tayvan) | 437 |
| Malezya | 343 |
| Filipinler | 334 |
| İsrail | 277 |
| Tayland | 148 |
| İngiltere | 143 |
| Toplam İthalat | 6.687 |

**Tablo 3. 25. ABD telekomünikasyon cihaz ihracatı [23]**

| Milyon $ (ABD) | Haz.97 | Haz.96 | %değişim |
|---|---|---|---|
| Telefon set ve parçaları | 266 | 164 | 62 |
| Telefon cihazı ve parçaları | 2.098 | 1.903 | 10 |
| telgraf cihaz ve parçaları | 716 | 570 | 26 |
| Radyo vericiler | 350 | 268 | 31 |
| Radyo alıcılar | 188 | 182 | 3 |
| Radyo alıcı-vericiler | 917 | 787 | 17 |
| Telefon cevaplama cihazları | 59 | 78 | -25 |
| Haberleşme | 2.272 | 1.792 | 27 |
| Hücresel telefon | 903 | 1.021 | -11 |
| Faks makinesi | 25 | 58 | -57 |
| Kordsuz telefon | 546 | 171 | 220 |
| Modem | 558 | 512 | 9 |
| Sayfa uyarı cihazları | 4 | 1 | 286 |
| Fiber optik kablo | 421 | 320 | 31 |
| Diğer kablo parçaları | 256 | 214 | 20 |
| Toplam | 9.58 | 8.042 | 19 |

### 3.2.2.2 Bilgisayar ve Telekomünikasyon Cihaz Endüstrisi

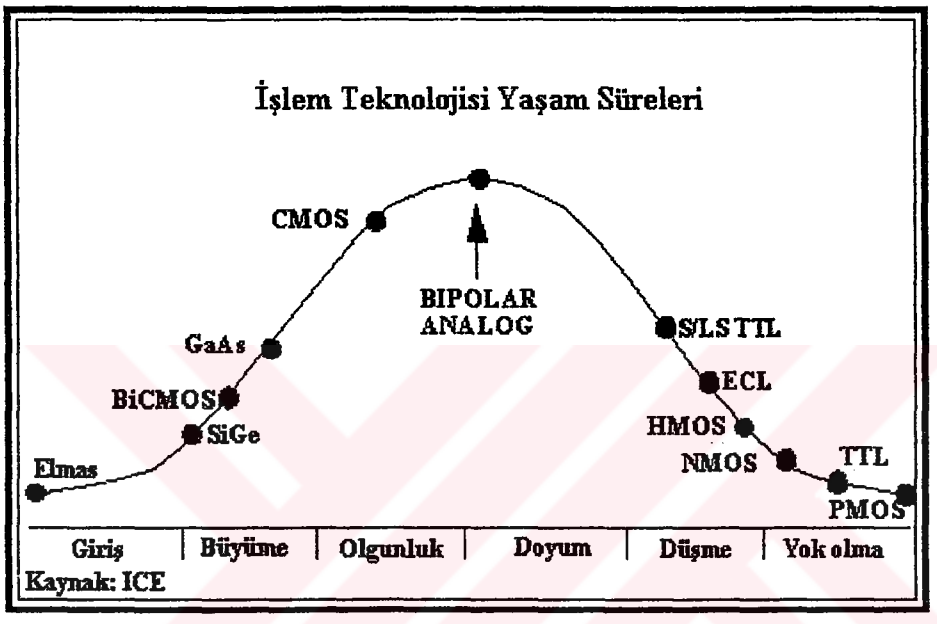
Yeni Kanada pazarı ulusaldan globale doğru yayılmakta ve ekonomik temel kaynaklardan bilgiye doğru kaymaktadır. Kanada endüstrisi stratejik bilgi ürünleri ve servisleri ile ilerlemektedir. Amaç, özel sektöre kaliteli iş oluşturma ve büyüme konularında yardım etmektir.

Bilgisayarlar; bilgisayar sistemleri, hard disk, terminal, yazıcı, monitör, video kart, ağ kartları vs. içerir. Telekomünikasyon cihazları anahtarlar, telefon, faks, vb. içerir. 1994' de Statistics Canada 318 bilgisayar cihaz şirketi ve 475 telekomünikasyon cihaz şirketi olduğunu tespit etmiştir. Telekomünikasyon sektöründe 143 firma 20' den fazla ve 54 firma ise 10-20 arası çalışana sahiptir. Bilgisayar sektöründe ise 98 firma 20' den fazla ve 39 firma 10-20 arası çalışana sahiptir. (1 $ (ABD)=1,45 $(Kanada) dır.)

### 3.2.2.3 Elektronik Eleman Endüstrisi

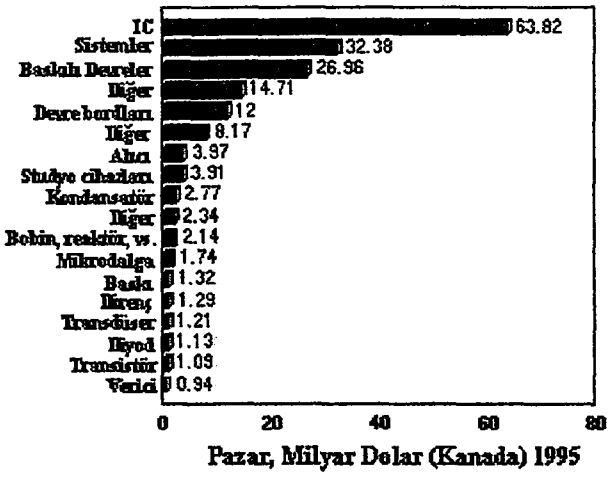
Elektronik eleman endüstrisi yarıiletken, baskı devre, konnektör, kondansatör, direnç, anahtar, röle, trafo, bobin ve diğer elektronik elemanlardan oluşur. Amaca uygun olarak aktif ve pasif eleman olarak iki sınıfa ayrılır. Bu çalışmada dünya yarıiletken pazarının %75' i olan CMOS IClere daha fazla ağırlık verilmiştir. Aşağıdaki grafikte işlem teknolojilerinin yaşam süreleri gösterilmiştir (Grafik 3.14). Bellek ürünleri, lojik IC, mikroişlemci kırmık ve ASIC IC yarıiletken pazarının çoğunluğunu oluşturmaktadır. Si, Ge ve GaAs başta olmak üzere çeşitli yarıiletken eleman fabrikasyon malzemeleri kullanılmaktadır. Kanada yarıiletken sektöründe diğer önemli bir eleman ise paketlemedir.

**Grafik 3. 14. İşlem teknolojisi yaşam süreleri (1995) [23]**




Ağırlık olarak bilgisayar ve haberleşme Bilgi Teknolojileri (Information Technologies: IT) sektörleri tarafından sürülen elektronik eleman endüstrisi grafiği gösterilmiştir (Grafik 3.15). Kullanılan bilgiler Statistics Canada, Kanada hükümeti yayınları, Dataquest, EPA, ICE ve IT sektöründeki diğer kaynaklardan elde edilmiştir. İki tablo (Tablo 3.26 ve 3.27) endüstri yapısını özetlemektedir.

**Grafik 3. 15. Elektronik eleman endüstrisi (1995) [23]**



**Tablo 3. 26. Endüstri yapısı [23]**

| Milyon Dolar (Kanada) | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kuruluş Sayısı | 277 | 269 | 262 | 230 | 220 | 208 | 209 |
| Toplam gelir | 1.360 | 1.544 | 1.251 | 3.085 | 3.569 | 3.637 | 3.985 |
| Üretim sevkiyatı | 1.256 | 1.486 | 1.190 | 3.021 | 3.484 | 3.568 | 3.910 |
| Değer eklenmiş üretim | 707.1 | 870 | 724 | 689 | 741 | 847 | 928 |
| Tüketici pazarı | 2.751 | 3.243 | 2.911 | 3.021 | 3.484 | 6.571 | 11.592 |
| Toplam maaş ve ücret | 367 | 406 | 398 | 460 | 418 | 405 | 392 |
| Üretim çalışanı % | 81.5 | 86.0 | 81.8 | 68.3 | 66.7 | 78.5 | 80.3 |
| Toplam istihdam | 15.035 | 16.489 | 14.963 | 16.389 | 14.681 | 13.065 | 13.144 |

**Tablo 3. 27. Endüstri yapısı yüzde değişimi [23]**

| % Değişim | 1988-89 | 1989-90 | 1990-91 | 1991-92 | 1992-93 | 1993-94 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Toplam gelir | 13,5 | -19,0 | 146,6 | 15,7 | 1,9 | 9,6 |
| Üretim sevkiyatı | 18,3 | -19,9 | 153,8 | 15,3 | 2,4 | 9,6 |
| Sabit $ üretim sevkiyatı | 14,2 | -19,5 | 154,9 | 14,9 | 4,1 | 12,0 |
| Üretim sevkiyatı % | 14,0 | -17,3 | 170,8 | 13,0 | -5.4 | -2,9 |
| Tüketici pazarı | 17,9 | -10,3 | 3,8 | 15,3 | 88,6 | 76,4 |
| Toplam istihdam | 9,7 | -9,3 | 9,5 | -10,4 | -11,0 | 0,6 |
| Toplam maaş ve ücretler | 10,9 | -2,1 | 15,7 | -9,1 | -3,3 | -3,2 |
| Endüstriyel ürün değer indeksi | 3,6 | -0,5 | -0,4 | 0,4 | -1,7 | -2,1 |

### 3.2.2.4 Elektronik Üretim

Elektronik üretim ikiye ayrılır: Elektronik Üretim Servis (Electronic Manufacturing Service:EMS) ve baskılı devre bord (Prited Circuit Board:PCB) endüstrisi.

Dünya Elektronik Üretim Servis Pazarı:
EMS pazarında son birkaç yıl içinde önemli büyüme görülmüştür. 1996' da dünya geliri 30.8 milyar Dolardır (ABD).

Şirketlerin OEM (Original Equipment Manufacturers: OEM)' den EMS 'ye doğru kaymasının sebebi düşük maliyet, kalite ve pazarlama zamanıdır. EMS şirketlerinin pazarı '**beyaz eşya**' ı içermemektedir. EMS şirketlerinin pazarı bilgisayar, telekomünikasyon cihazları, tüketici elektroniği ve endüstriyel/enstrüman ürünleridir. EMS pazarı OEM pazarının küçük bir yüzdesidir. Diğer taraftan, EMS pazarı PCB ve Box Build pazarını geçmiştir. PCB geleneksel '**bord madde**' sidir. Box Build ise örneğin; bord maddesi ve OEM ürünlerinin bir araya getirilmesidir. Bilgisayar için disk sürücücüler, kablolar, güç kaynakları gibi. Tablo 3.28 PCB ve Box Build elektronik ürünlerin dünya OEM pazarını özetlemektedir.

**Tablo 3. 28. Dünya elektronik ürün OEM pazarı (1994-1996) [23]**

| | 1994 | 1995 | 1996 | Yıllık büyüme % |
|---|---|---|---|---|
| | Toplam PCB Pazar geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | |
| Yarıiletken | 102 | 144 | 132 | 14,1 |
| Üretim | 10.2 | 13.968 | 12.276 | 10,0 |
| Pasif, PCB, Konnektör | 55 | 60 | 66 | 9,5 |
| Çalışanlar | 87.78 | 114.433 | 110.395 | 12,1 |
| Toplam | 254.98 | 332.401 | 320.671 | 12,1 |
| Yıllık yüzde | - | 30,4% | -3,5% | |
| | Toplam Box Build Pazar geliri (milyon Dolar(ABD)) | | | |
| Bilgisayar | 50.806 | 53.908 | 58.801 | 7,6 |
| Tüketici elektroniği | 8.217 | 8.519 | 8.938 | 4,3 |
| Telekomünikasyon | 13.271 | 15.263 | 18.118 | 16,8 |
| Endüstri/Enstrüman | 4.891 | 4,965 | 4.992 | 1,0 |
| Toplam | 77.184 | 82.656 | 90.85 | 8,8 |
| Yıllık yüzde | - | 7,1% | 9,9% | |
| | Toplam OEM Pazar geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | |
| Genel toplam | 332.164 | 415.057 | 411.521 | 11,3 |

1996' da potansiyel pazar tahmini 412 milyar Dolardır (Kanada) . Yaklaşık olarak toplamın %78' i yarıiletken, konnektör, baskılı devre bord, pasif elemanlar, çalışan ve yönetimden oluşan ve 321 milyar Dolar (Kanada) pazar payına sahip PCB pazarıdır. PCB pazarı 1994-1996' da %12 büyümüştür. Box Build pazarı bilgisayar endüstrisine dayanmaktadır. 1996 OEM Box Build pazarı EMS şirketlerinin önemli desteği ile 91 milyar Dolardır (Kanada).

1994' de EMS üretimi toplam OEM pazarının %5,4'üdür. 1996' da bu büyüme %7,5 olup 31 milyar Dolardır (Kanada). Tablo 3.28, 1994-1996 arası toplam OEM pazarı ürün üretimini özetlemektedir.

**Tablo 3. 29. Üretim kaynaklarına göre elektronik ürün dünya OEM pazarı (1994-1996) [23]**

| | 1994 | 1995 | 1996 | Yıllık büyüme % |
|---|---|---|---|---|
| | Gelir (Milyon Dolar (ABD)) | | | |
| OEM pazarı | 314.171 | 391.706 | 380.761 | 10,1 |
| Sözleşmeli Pazar(EMS) | 17.993 | 23.351 | 30.760 | 30,7 |
| Toplam | 332.164 | 415.057 | 411.521 | 11,3 |
| Yıllık Yüzde | - | %25,0 | -%0,9 | |
| | Yüzde % | | | |
| OEM Üretimi | 94,6 | 94,4 | 92,5 | - |
| Sözleşmeli Pazar | 5,4 | 5,6 | 7,5 | - |
| Toplam | %100 | %100 | %100 | |

Elektronik Üretim Servis Pazar Payı:
Elektronik üretim servisi Kuzey Amerika'da başlayıp Asya ve Avrupa'ya yayılmıştır. 1996' da EMS endüstrisi yıllık 30 milyar Dolar (Kanada) gelire sahiptir. EMS, dünyada yaklaşık olarak 2200 şirket, 200.000 çalışan ve 43 milyon $feet^2$ üretim kapasitesine sahiptir.

Küçük EMS şirketleri Amerika'da, büyük EMS şirketlerin çoğu ise Avrupa ve Amerika'dadır. Yıllık 100 milyon Dolar(ABD) gelire sahip olan şirketler büyük, 10-100 milyon Dolar(ABD) gelire sahip olanlar orta ve 10 milyon Dolar(ABD)dan az gelire sahip olanlar ise küçük şirket olarak sınıflandırılır.

**Tablo 3. 30. Dünya EMS endüstrisi (1996) [23]**

| | Olanak sayısı | Toplam EMS geliri (milyon $(Kanada) | Toplam Çalışan | Kapasite ($feet^2$) |
|---|---|---|---|---|
| Küçük | 2.042 | 3.547 | 42.958 | 8.403.493 |
| Orta | 662 | 4.708 | 43.372 | 9.281.663 |
| Büyük | 192 | 22.505 | 112.967 | 26.297.555 |
| Toplam | 2.895 | 30.760 | 199.297 | 43.982.711 |
| | Şirket sayısı | Gelir($(Kanada)/Çalışan | Gelir ($(Kanada))/$Feet^2$ | $Feet^2$ /Çalışan |
| Küçük | 1.837 | 82.571 | 422 | 196 |
| Orta | 315 | 108.543 | 507 | 214 |
| Büyük | 60 | 193.664 | 832 | 233 |
| Toplam | 2.212 | 384.778 | 1.761 | 643 |

Coğrafi Pazar Dağılımı:
EMS pazarı 1996' da Kuzey Amerika %49 pay ile 15 milyar Dolar(Kanada), Pasifik %26 pay ile 8,1 milyar Dolar(Kanada) ve Avrupa %19 pay ile 6,0 milyar Dolar(Kanada) paylaşılmıştır. Gerçekte tüm büyük EMS üretim şirketleri Kuzey Amerika'dadır. Tablo dünya coğrafyasına göre 1996 yılı EMS pazarını göstermektedir.

**Tablo 3. 31. Coğrafi Bölgelere göre dünya EMS pazarı (1996) [23]**

| | Olanak sayısı | Toplam EMS geliri (milyon $(Kanada)) | Toplam Çalışan | Üretim alanı ($feet^2$) |
|---|---|---|---|---|
| K. Amerika | 1.515 | 14.934 | 75.244 | 16.861.811 |
| Avrupa | 850 | 5.893 | 35.401 | 8.860.982 |
| Pasifik | 225 | 8.135 | 77.475 | 15.709.589 |
| Diğer | 305 | 1.798 | 11.178 | 2.550.329 |
| Toplam | 2.895 | 30.760 | 199.297 | 43.982.711 |

İlk 10 şirket 1996 pazarının yarısından itibaren hesaplanmıştır. İlk 10 ülke de aynı yıl dünya EMS gelirinin %83' üne göre (25,6 milyar Dolar(Kanada)) hesaplanmıştır. Kanada Amerika ekonomisinin 1/10' una sahipken pazarın da 1/3' üne sahiptir.

Endüstri Tahmini:
Gelecek beş yıl EMS şirketleri için patlama olacaktır. Pazar OEM üretim olanaklarını genişlettiği sürece dünyaya yayılacaktır. Bilgisayar, telekomünikasyon ve tüketici pazarı EMS şirketlerinin ana kaynağı olacaktır.

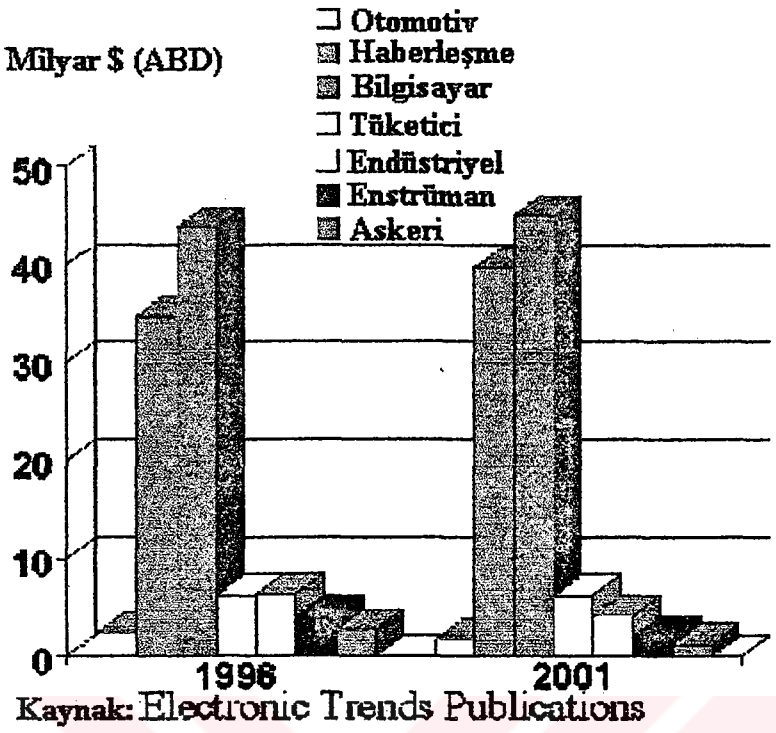
**Tablo 3. 32. Gelir ve pazar payına göre ilk 10 EMS şirketi (1996) [23]**

| Şirket | Gelir (milyon $(Kanada.) | Pazar payı% |
|---|---|---|
| SCI Systems | 5.367 | 17,4 |
| Solectron | 2.934 | 9,5 |
| Celestica | 2.600 | 8,5 |
| Jabil Circuit | 833 | 2,7 |
| AVEX Electronics | 717 | 2,3 |
| NatSteel | 680 | 2,2 |
| Venture Manufacturing | 569 | 1,9 |
| Manufacturers' Services Ltd. | 475 | 1,5 |
| Flextronics International | 463 | 1,5 |
| Bull Electronics | 425 | 1,3 |
| Toplam | 15.063 | 49,0 |

**Tablo 3. 33. Dünyada EMS pazarı [23]**

| | Olanak sayısı | Toplam EMS geliri (milyon $(Kanada) | Toplam Çalışan | Kapasite (feet$^2$ ) |
|---|---|---|---|---|
| ABD | 1.430 | 10.874 | 59.220 | 12.921.108 |
| Kanada | 45 | 3.292 | 7.734 | 2.599.703 |
| İngiltere | 250 | 2.414 | 12.504 | 2.977.667 |
| Singapur | 35 | 1.826 | 8.136 | 3.853.750 |
| Hong Kong | 40 | 1.740 | 19.230 | 3.980.589 |
| Çin | 50 | 1.699 | 27.198 | 3.888.200 |
| Fransa | 40 | 1.230 | 5.079 | 1.438.322 |
| Tayland | 15 | 894 | 9.245 | 1.775.800 |
| Tayvan | 20 | 828 | 5.872 | 997.000 |
| Malezya | 30 | 818 | 4.924 | 738 000 |
| Meksika | 40 | 768 | 8.290 | 1.341.000 |
| İskandinavya | 90 | 646 | 2.912 | 808.340 |
| İspanya | 10 | 565 | 2.322 | 809.524 |
| Almanya | 200 | 538 | 2.584 | 677.129 |
| Hindistan | 10 | 344 | 1.855 | 381.250 |
| Filipinler | 30 | 341 | 3.010 | 594.091 |
| Kore | 20 | 180 | 2.245 | 345.000 |
| Japonya | 15 | 150 | 625 | 131.250 |
| Güney Amerika | 15 | 177 | 1.800 | 425.000 |
| Avrupa Diğer | 260 | 500 | 10.000 | 2.150.000 |
| Dünya Diğer | 250 | 937 | 4.513 | 1.149.988 |
| Genel Toplam | 2.895 | 30.760 | 199.297 | 43.982.711 |

**Grafik 3. 16. 2001'e doğru dünya elektronik gelir durumu [23]**




1996-2001 Dünya EMS Pazar Tahmini:
EMS üretim pazarının beş yıl içinde üç kat artarak 2001' de 100 milyar Dolar(ABD) olması beklenmektedir. Grafik 2001' e doğru dünya gelirini göstermektedir. Bu endüstrinin büyümesindeki önemli etken telekomünikasyon cihazları, bilgisayar ve tüketici elektroniğidir.

1996-2001 Dünya Elektronik Ürün OEM Pazarı :

**Tablo 3. 34. 1996-2001 Dünya elektronik ürün OEM pazarı [23]**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | Yıl büy.% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Toplam PCB Pazar Geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | | | | |
| Yarıiletken ticareti | 132.000 | 139.000 | 163.000 | 198.000 | 215.000 | 230.000 | 11,7 |
| Üretim | 12.276 | 12.510 | 14.181 | 16.434 | 17.200 | 18.400 | 8,4 |
| Pasif, PCB, Kon. | 66.000 | 72.600 | 79.860 | 87.846 | 96.631 | 106.294 | 10,0 |
| Çalışan&yönetim | 110.395 | 117.658 | 134.947 | 158.697 | 172.636 | 186.214 | 11,0 |
| Toplam | 320.671 | 341.768 | 391.988 | 460.977 | 501.467 | 540.908 | 11,0 |
| Yıllık yüzde % | - | 6,6 | 14,7 | 17,6 | 8,8 | 7,9 | |
| | Toplam Box Build Pazar Geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | | | | |
| Bilgisayar | 58.801 | 65.858 | 74.419 | 83.349 | 92.518 | 102.695 | 11,8 |
| Tüketici | 8.938 | 9.653 | 10.377 | 11.104 | 11.825 | 12.594 | 7,1 |
| Haberleşme | 18.118 | 20.473 | 23.340 | 26.841 | 30.598 | 34.882 | 14,0 |
| Endüstri/enstrüm. | 4.992 | 5.411 | 5.700 | 5.973 | 6.465 | 6.465 | 5,3 |
| Toplam | 90.850 | 101.395 | 113.836 | 127.267 | 141.406 | 156.635 | 11,5 |
| Yıllık yüzde | | 11,6 | 12,3 | 11,8 | 11,1 | 10,8 | |
| | Toplam OEM Pazar Geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | | | | |
| Genel Toplam | 411.521 | 443.163 | 505.823 | 588.244 | 642.873 | 697.543 | 11,1 |

Dünya elektronik ürün OEM pazarı iki sınıfa ayrılır. Tablo PCB ve Box Build elektronik ürünleri 1996-2001 tahminlerini özetlemektedir.

EMS Şirketlerinin PCB ve Box Build Kaynakları:
1996' da %7,5 olan sözleşmeli üretim, 2001' de 698 milyar Dolar(ABD) olacak toplam mevcut pazarın (Total Available Market:TAM) 101 milyar Doları (ABD) olacaktır (toplamın %14,5' i).

**Tablo 3. 35. 1996-2001 Üretim kaynaklarına göre dünya EMS pazarı [23]**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | Yıl büy. % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gelir (milyon Dolar(ABD)) | | | | | | |
| OEM pazarı | 380.761 | 402.235 | 450.981 | 516.521 | 557.646 | 596.215 | 9,4 |
| Sözleş.li Pazar | 30.760 | 40.928 | 54.842 | 71.723 | 85.227 | 101.329 | 26,9 |
| Toplam | 411.521 | 443.163 | 505.823 | 588.244 | 642.873 | 697.543 | 11,1 |
| Yıllık Yüzde % | | 7,7 | 14,1 | 16,3 | 93 , | 8,5 | - |
| | Yüzde | | | | | | |
| OEM üretimi | 92,5 | 90,8 | 89,2 | 87,8 | 86,7 | 85,5 | - |
| Sözleş.li üretim | 7,5 | 9,2 | 10,8 | 12,2 | 13,3 | 14,5 | - |
| Toplam | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | |

**Tablo 3. 36. 1996-2001 Üretim kaynaklarına göre PCB ve Box Build dünya pazarı [23]**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | Yıl büy. % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PCB Kaynak Geliri (milyon Dolar (ABD)) | | | | | | |
| OEM PCB | 299.232 | 314.141 | 356.724 | 418.445 | 455.274 | 490.142 | 10,4 |
| SözleşmeliPCB | 21.439 | 27.626 | 35.264 | 42.532 | 46.193 | 50.766 | 18,8 |
| Toplam | 320.671 | 341.768 | 391.988 | 460.977 | 501.467 | 540.908 | 11,0 |
| | PCB Kaynak Yüzdesi | | | | | | |
| OEM PCB | 93,3 | 91,9 | 81,0 | 90,8 | 90,8 | 90,6 | - |
| SözleşmeliPCB | 6,7 | 8,1 | 9,0 | 9,2 | 9,2 | 9,4 | - |
| Toplam | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | |
| | Box Kaynak Geliri (milyon Dolar(ABD)) | | | | | | |
| OEM Box | 81.530 | 88.094 | 94.257 | 98.076 | 102.372 | 106.072 | 5,4 |
| Sözleşmeli Box | 9.320 | 13.302 | 19.579 | 29.191 | 39.034 | 50.563 | 40,2 |
| Toplam | 90.850 | 101.395 | 113.836 | 127.267 | 141.406 | 156.635 | 11,5 |
| | Box Kaynak Yüzdesi | | | | | | |
| OEM Box | 89,7 | 86,9 | 82,8 | 77,1 | 72,4 | 67,7 | - |
| Sözleşmeli Box | 10,3 | 13,1 | 17,2 | 22,9 | 27,6 | 32,3 | - |
| Toplam | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | |

Coğrafi Pazar Payı:
Coğrafi Pazar dağılımı gelecek beş yıl içinde yavaş yavaş değişecektir. Bununla birlikte, bütün bölgelerde gelirler önemli oranda artacaktır. Gelirler beş yılda üç kat artarak 1996' da 31 milyar Dolar (ABD) iken 2001' de 101 milyar Dolar(ABD) olacaktır.

**Tablo 3. 37. 1996-2001 Coğrafi bölgelere göre dünya sözleşmeli üretim pazarı [23]**

| | 1996 Geliri (Milyon $ABD ) | % (1996) | 2001 Geliri (Milyon $ABD ) | % (2001) | Yıllık büyüme % |
|---|---|---|---|---|---|
| K. Amerika | 14.34 | 48,6 | 37.390 | 36,9 | 20,1 |
| Avrupa | 5.893 | 19,2 | 27.257 | 26,9 | 35,8 |
| Pasifik | 8.135 | 26,4 | 31.108 | 30,7 | 30,8 |
| Dünya Diğer | 1.797 | 5,8 | 5.573 | 5,5 | 25,4 |
| Toplam | 30.760 | 100 | 101.329 | 100 | 26,9 |

Pazar Uygulama Alanları Tahmini:
Gelecek beş yıl içinde EMS şirketleri pazarı uygulama alanında bazı değişiklikler görülecektir. Yüksek büyüme telekomünikasyon cihazları, bilgisayar ve tüketici elektroniğinde olacaktır.

**Tablo 3. 38. 1996-2001 Uygulama alanlarına göre dünya sözleşmeli üretim pazarı [23]**

| | 1996 Geliri (Milyon $ABD ) | % (1996) | 2001 Geliri (Milyon $ABD ) | % (2001) | Yıllık büyüme % |
|---|---|---|---|---|---|
| Otomotiv | 707 | 2,3 | 1.702 | 1,7 | 19,2 |
| Haberleşme | 10.674 | 34,7 | 40.227 | 39,7 | 30,4 |
| Bilgisayar | 13.442 | 43,7 | 45.605 | 45,0 | 27,7 |
| Tüketici | 1.907 | 6,2 | 6.316 | 6,2 | 26,9 |
| Endüstriyel | 1.938 | 6,3 | 4.134 | 4,1 | 16,4 |
| Enstrüman | 1.261 | 4,1 | 2.128 | 2,1 | 11,0 |
| Askeri | 831 | 2,7 | 1.216 | 1,2 | 7,9 |
| Toplam | 30.760 | 100 | 101.329 | 100 | 26,9 |

Baskılı Devre Üretimi:
Baskı devre üretimi dört ana sınıfa ayrılır: tek yanlı, çift yanlı, çok tabakalı ve esnek (flex). Baskı devrenin sekiz pazar alanı vardır. İki en büyük pazar ise bilgisayar ve haberleşme cihazlarıdır. Bu iki alan toplam pazarın %70'idir. Sekiz alan ve bazı ürünler;

i. Otomotiv: motor ve sürücü birimleri, teşhis göstergeleri, güvenlik ve radyo.
ii. İş makineleri: fotokopi makinesi, hesap makineleri, gaz pompaları ve taksimetre.
iii. Haberleşme:telefon, taşınabilir radyo, anahtarlama cihazları ve mikro dalga röleler.
iv. Tüketici elektroniği:TV, radyo, saat, müzik aletleri, mikrodalga fırın ve oyuncaklar.
v. Bilgisayar: mainframe, mini bilgisayar, terminal, yazıcı ve bellekler.
vi. Hükümet ve Askeriye: uydu sistemleri, radar, kontrol sistemleri, enstrüman panelleri ve silah.
vii. Endüstriyel elektronik: işleme cihazları, üretim ve test cihazları, malzeme bağlama ve sensörler.
viii. Enstrüman: test ve ölçme cihazları, tıbbi enstrüman ve lazerler.

Yapma ve Satın Alma Eğilimi:
70'li yılların ortalarında, OEM şirketlerin yarısı kendi baskı devre levhalarını yapmışlardır. 1998' da ise baskı devre levhalarının %90' ı ticari firmalar tarafından yapılmaktadır.

Pazar :
IIPEC 'in (Institude for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits: IIPEC) son çalışmasına göre 1996' da dünya PCB ve esnek devre üretimi 29,7 milyar Dolar(ABD) dır. Dünya bükülmez baskı devre levhası (Rigid Printed Circuit Board:RPCB) üretimi 27,2 milyar Dolar(ABD) iken esnek devre üretimi ise 2,5 milyar Dolar(ABD) dır.

ABD, RPCB üretiminde sıra ile Japonya, Tayvan, Çin, Almanya, Güney Kore, İngiltere ve Rusya'ya öncülük etmektedir. RPCB üretiminin %58' i çok tabakalı, %25' i tek ve çift yanlı ve %17' si ise kağıt ve bileşik tabanlı levhalardır.

1996' da ABD RPCB üretimi 6,2 milyar Dolar(ABD)dır.

**Tablo 3. 39. PCB üretimi (1998) (GEL: Glass Epoxy Layers) [23]**

| Milyon $ (ABD) | Kağıt& bileşik | 1 GEL | 2 GEL | 3-4 GEL | 5-7 GEL | 8-10 GEL | 12+ GEL | Mass Lam | Flex | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Batı Avrupa | 544 | 198 | 2665 | 777 | 400 | 352 | 276 | 194 | 282 | 5688 |
| Kuzey Amerika | 529 | 244 | 2179 | 1753 | 1237 | 888 | 723 | 406 | 550 | 8509 |
| Japonya | 2415 | 67 | 1773 | 1482 | 760 | 570 | 410 | 578 | 1062 | 9117 |
| Güney-Doğu Asya | 868 | 146 | 1843 | 739 | 253 | 143 | 139 | 156 | 161 | 4448 |
| Dünya diğer | 942 | 196 | 2676 | 456 | 163 | 71 | 54 | 83 | 93 | 4734 |
| Dünya | 5298 | 851 | 11136 | 5207 | 2813 | 2024 | 1602 | 1417 | 2148 | 32496 |

Kanada ve ABD'deki Bağımsız RPCB Üreticileri:
ABD Kanada'dan 22 kat daha fazla baskı devre levha üretici firmaya sahiptir. ABD 693 PCB üretici firmaya Kanada ise 31 PCB üretici firmaya sahiptir.

**Tablo 3. 40. Kanada RPCB üretici firma özellikleri (1996) [23]**

| Yıllık satışlar ($ (Kanada)) | Şirket sayısı | Pazarlama değeri (milyon Dolar(Kanada)) | Pazar % |
|---|---|---|---|
| 100 milyondan fazla | 1 | 180 | 37 |
| 50-100 milyon | 1 | 60 | 12 |
| 20-50 milyon | 3 | 110 | 23 |
| 10-20 milyon | 6 | 74 | 15 |
| 5-10 milyon | 5 | 27 | 6 |
| 5 milyon altı | 15 | 34 | 7 |
| Toplam | 31 | 485 | 100 |

**Tablo 3. 41. ABD RPCB üretici firma özellikleri (1996) [23]**

| Yıllık satış ($ (Kanada)) | Şirket sayısı | Pazarlama değeri (milyon $(Kanada)) | Pazar % |
|---|---|---|---|
| 100 milyondan fazla | 8 | 1.532 | 25 |
| 50-100 milyon | 20 | 1.407 | 23 |
| 20-50 milyon | 22 | 647 | 10 |
| 10-20 milyon | 68 | 897 | 14 |
| 5-10 milyon | 75 | 422 | 7 |
| 5 milyon altı | 500+ | 1.290 | 21 |
| Toplam | 693+ | 6.195 | 100 |

Multi-kırmık Modül(MCM):
MCM' in en çok kullanıldığı alan telekomünikasyondur. Telekomünikasyon pazarı PCS, kablolu modem, hücresel radyo, RF uygulamaları, GPS ve diğer teknolojilerden oluşur. MCM teknolojisi kullanımı 1996' da 10,6 milyon telekomünikasyon birimi iken 2001' de ikiye katlanarak 20 milyon adet olacaktır. Yıllık %13,3 büyümeye sahiptir.

**Tablo 3. 42. Toplam MCM uygulama adeti tahmini (1996-2001) [23]**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | CAGR % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Uygulama adeti (*1000) | | | | | | |
| Otomotiv | 3.128 | 3.857 | 4.610 | 5.431 | 6.400 | 6.719 | 16,5 |
| Telekomünikasyon | 10.645 | 12.718 | 14.77 | 16.676 | 18.505 | 19.957 | 13,4 |
| Ofis | 2.994 | 3.562 | 4.646 | 6.127 | 7.490 | 8.807 | 24,1 |
| Askeri | 866 | 868 | 856 | 846 | 920 | 929 | 1,4 |
| Diğer | 2.215 | 2.816 | 3.674 | 4.7 | 5.818 | 6.892 | 25,5 |
| Toplam | 19.848 | 23.821 | 28.556 | 33.781 | 38.873 | 43.304 | 16,9 |

CAGR: Compound Annual Growth Rate (CAGR): Yıllık Büyüme Oranı Bileşimi

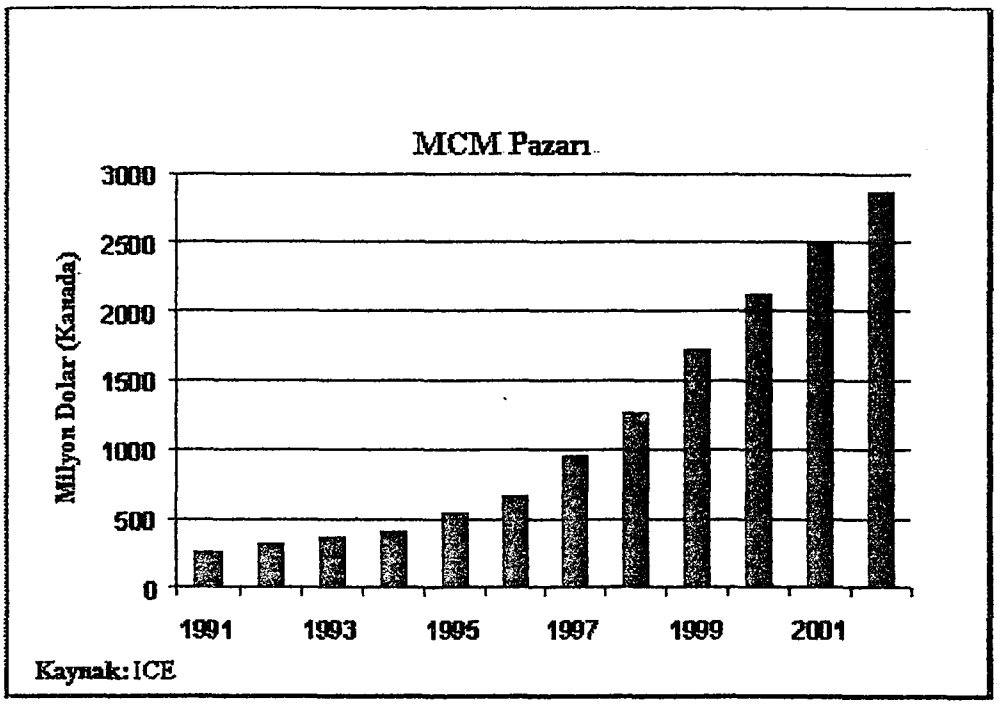
MCMlerin standart paketleme teknolojisine göre bazı avantajları vardır. Birinci ve açık olan avantaj boyutun küçültülmesi ve ağırlığın azaltılmasıdır. MCMler diğer paketlemelere göre 10 kat daha az yer kaplamaktadır. Tabloda bu avantajlar özetlenmiştir.

Yeni bir paradigma ise MCM gelişiminin en genel zar bağlama metodu olan flip-kırmık bağlamalı multi-kırmık PBGA paketlemeye dönüşmesidir.

**Tablo 3. 43. Multi-kırmık paketlemenin avantajları [23]**

| | PCB ile karşılaştırma | | |
|---|---|---|---|
| Boyut küçültme | 10x | 4x | 2x |
| Ağırlık küçültme | 6x | 3x | 1.5x |
| Sinyal gecikme küçültme | 3x | 2x | 1.5x |
| Jonksiyon sıcaklık küçültme | 20°C | 20°C | 20°C |
| Güvenirlik geliştirme | 4x | 5x | 4x |
| İnşa maliyeti | Rekabetçi | Rekabetçi | Rekabetçi |
| Yaşam zamanı maliyeti | Daha iyi | Daha iyi | Daha iyi |

**Grafik 3. 17. MCM pazar tahmini [23]**




**Tablo 3. 44. Toplam MCM ara bağlantı adet tahmini (1996-2001) [23]**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | CAGR % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Arabağlantı adeti(*1000) | | | | | | |
| İletken bağlama | 19.596 | 23.093 | 26.790 | 30.477 | 33.571 | 35.493 | 12,6 |
| Flip-kırmık | 197 | 676 | 1.718 | 3.264 | 5.265 | 7.778 | 108,7 |
| TAB | 55 | 52 | 47 | 40 | 37 | 32 | -10,2 |
| Toplam | 19.848 | 23.821 | 28.556 | 33.781 | 38.873 | 43.304 | 16,9 |

RF kablosuz endüstrisi pasif elemanların MCM ile gerçekleştirilmesinden dolayı büyük kazançlar elde etmektedir. Teknoloji tam olarak geliştirilemediğinden Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

**Tablo 3. 45. Telekomünikasyon pazarı (donanım ve yazılım) [23]**

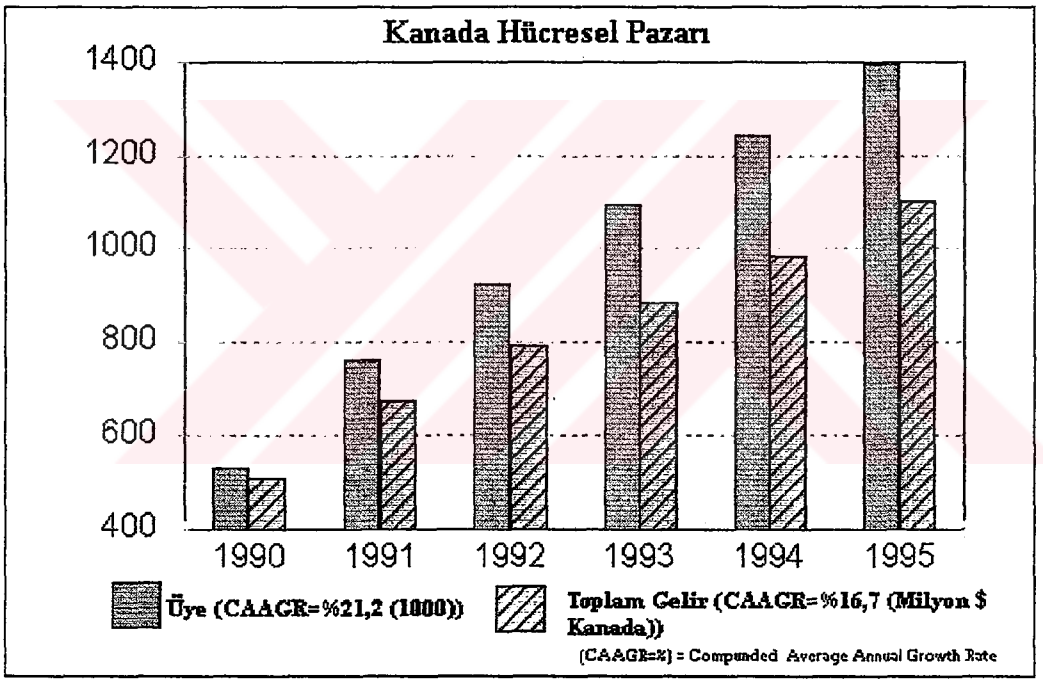
| Telekomünikasyon pazarı -donanım ve yazılım (milyon Dolar(Kanada)) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sınıf | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
| Ağ donanımı | 18.782 | 23.080 | 26.750 | 30.272 | 33.510 | 36.685 | 39.705 |
| Ses hab. Don. | 10.479 | 11.800 | 13.082 | 14.435 | 15.842 | 17.141 | 17.393 |
| Tüketici ve Faks don. | 6.823 | 6.354 | 6.200 | 6.002 | 5.815 | 5.658 | 5.500 |
| Kablosuz altyapı | 5.735 | 6.200 | 4.800 | 4.400 | 4.150 | 3.875 | 3.550 |
| Kablosuz handset | 2.545 | 3.005 | 4.117 | 4.268 | 4.023 | 3.542 | 3.413 |
| Bilgi hab. İnternet don. | 28.639 | 39.381 | 44.957 | 51.888 | 56.610 | 66.905 | 75.880 |
| Toplam | 73.003 | 88.820 | 99.856 | 111.265 | 120.050 | 133.806 | 145.290 |

### 3.2.2.5 Telekomünikasyon Endüstrisi

Dünya yeni bir haberleşme sistemine doğru gitmektedir. Kablosuz teknoloji bu sistemlerin gelişiminde anahtar rolü oynamaktadır. Hücresel Haberleşme ve taşınabilir bilgisayar kullanımı artmaktadır.

Kablosuz Kişisel Haberleşme :
Kablosuz Kişisel Haberleşme sektörü B.C., Alberta, Ontario ve Quebec' te kurulmuştur. Sektörde cihaz üretiminde 7500 kişi çalışmaktadır. Firmaların çoğu Kanadalı olup en büyük ve en önemlisi Calgary' de bulunan Northern Telecom dur. Yaklaşık olarak diğer 50 firma Kanada telekomünikasyon cihaz üretiminin kalan %15 'ini gerçekleştirmektedir. 1992' de 6.74 milyar Dolar(Kanada) olan toplam pazarın 1 milyar Doları (Kanada) kablosuz telekomünikasyon cihazlarına aittir. 1990' da kablosuz/mobil telekomünikasyon sektörü bilgi haberleşmesinin iki katı (%36.6) büyümüştür. Kanada kablosuz şirketlerinin anahtar pazarı %90 ihracatla ABD'dir.

**Grafik 3. 18. Kanada hücresel pazarı [23]**

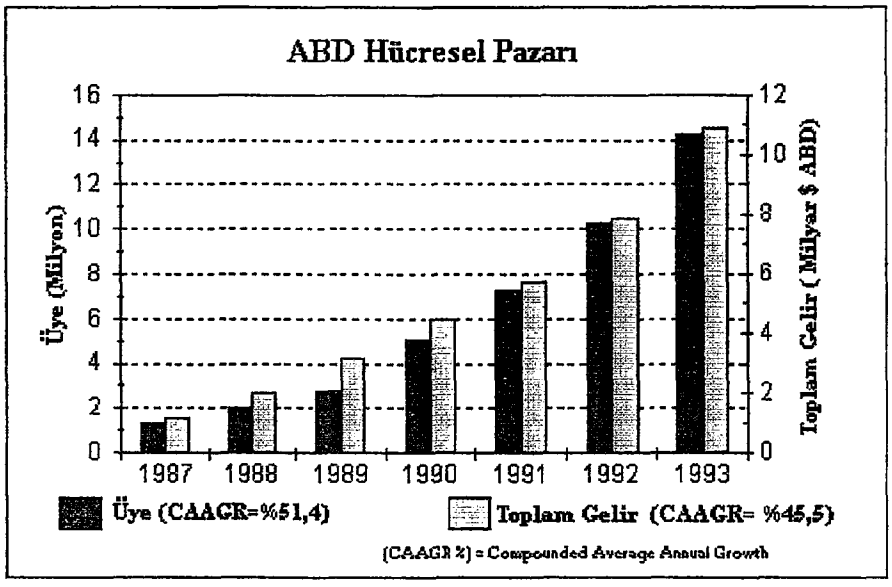



Kablosuz cihazların Kanada'daki anahtar müşterileri Bell Mobility ve Roger's Cantel gibi servis şirketleridir. Roger's Cantel 1993' de 900 milyon Dolar(Kanada) toplam gelir ile mobil haberleşme servisinin %90'ına sahiptir. BCE Mobil ise 1993' de 162.3 milyon Dolar(Kanada) gelire sahiptir.

Roger's Communication Inc., Rogers Cantel Mobile Communications Inc. 'in %80 'ine sahip olup 480.000 hücresel üye ve 100.000 sayfa servis üyesi ile Kanada'nın en büyük hücresel servis sağlayıcısıdır. Cantel 5.600 km ile dünyanın en uzun hücresel haberleşme koridoruna sahiptir.

Dünyada yaklaşık olarak 200.000 kablosuz bilgi haberleşme kullanıcısı olup 2000 yılı sonunda 26 milyon olacaktır.

**Grafik 3. 19. ABD hücresel pazarı [23]**




Northern Telecom Kanada'nın en büyük kablosuz haberleşme şirketidir. Dünyada 7 ana hücresel ağ üreticisi vardır: Ericson, Motorola, AT&T, Northern Telecom, Nippon, Siemens ve Nokia. Northern Telecom tüm hücresel ağ üyelerinin %8'ine (1994) sahiptir. Motorola ve Northern Telecom işbirliği ile Northern Telecom pazar payını artırmıştır.

Kablosuz haberleşme alanında Ar&Ge çalışmaları yapan en iyi 100 firma içerisinde Kanada firmaları da bulunmaktadır.

**Tablo 3. 46. Kablosuz haberleşme Ar&Ge harcamaları açısından ilk 100 firma içindeki Kanada firmaları [23]**

| 1992 Sıralaması | Şirket | Ar&Ge harcaması | Ar&Ge/satış oranı |
|---|---|---|---|
| 1 | Northern Telecom | 1190,5 | 11,3 |
| 13 | Ericson Communications | 62,3 | 36,14 |
| 46 | Motorola Canada | 20,8 | 3,43 |
| 60 | Rogers Cantel | 16,5 | 2,73 |
| 100 | BCE Mobile Communications | 7,1 | 0,36 |

Investment Canada' ya göre mobil ve kablosuz cihazlar toplam Kanada üretiminin %17 'si olup bu alandaki Kanada üretimi 1980'den beri yıllık %30 artmıştır. Kanada üretiminin %65'i ihraç edilmektedir. Bu ihracatın %70'i ABD 'ye yapılmaktadır.

1992 ABD 'den yapılan ithalat toplam ithalatın %90' ı olup 371 milyar Dolar(Kanada)dır. Amerika ve Avrupa'dan yapılan ithalat artarken Pasifik ithalatı azalmaktadır.

1988-1992 telekomünikasyon cihazı Kanada ihracatı toplam pazar büyümesinden (%8.9) daha büyüktür (%10). Genel sıralamada ise Kanada Japonya'dan sonra ikinci sırada gelmektedir. Bu sıralamada Filipinler 4., İsveç 9., Fransa 11., İngiltere 15., Almanya 16. ve Finlandiya 18.dir. Bu sıralamaya göre Kore, Filipinler, Malezya, Çin ve Hong Kong, 7 milyar

Dolar(Kanada) net satışının %11 'ini ABD'ye ve %2 'sini Kanada'ya ihraç eden İsveç Ericson' dan daha fazla kablosuz cihaz satmaktadırlar.

Kişisel Haberleşme Sistemi RF elemanları:
Kişisel Haberleşme Sistemini (Personel Communications Systems :PCS) kullanan üye sayısı 1991-1994 yılları arasında %225 artarak 16 milyondan 52 milyona yükselmiştir. 1994' de Kuzey Amerika'da PCS pazarı halkın %8.6'sıdır. Avrupa'da bu oran %4 iken Çin'de %1dir.

1994-2000 dünya gelir büyüme oranı tabloda verilmiştir.

**Tablo 3. 47. 1994-2000 sektör büyümesi [23]**

| Sektör büyümesi(gelir) | 1994 | 2000 |
|---|---|---|
| Baz istasyon servisi | $4,6 milyar | $8,8 milyar |
| RF alt sistemi | $2 milyar | $3,4 milyar |
| RF elemanları | $387 milyon | $661 milyon |
| Mikrodalga link baz istasyonu | $437 milyon | $1,4 milyar |
| Mikrodalga radyo alt sistemi | $143 milyon | $532 milyon |
| Mikrodalga elemanları | $65 milyon | $188 milyon |
| Hücresel ve PCS üyeleri | $52 milyon | $343 milyon |
| Hücresel ve PCS Üye Pazarı | | |
| Hücresel ve PCS üye sayısı | 52 milyon | 343 milyon |
| Analog sistem kullanımı | %87 | ? |
| Dijital sistem kullanımı | ? | %57 |
| RF kanal baz istasyonu | 2 milyon | 7 milyon |
| Analog kanal baz istasyonu | 700.000 | 700.000 |
| Dijital kanal baz istasyonu | 52 milyon | 343 milyon |
| Baz istasyonu (macrocell-picocell) | 73.000 | 715.000 |
| Dijital baz istasyonu (800MHz) | 10.000 | 110.000 |
| Dijital baz istasyonu (1.800/1.900MHz) | 782 | 56.000 |
| Baz istasyonu RF Sistemleri ve Eleman pazarı | | |
| Analog alt sistemler(gelir) | $1,7 milyar | $1,3 milyar |
| Dijital sistemler(800MHz)(gelir) | $337 milyon | $1,8 milyar |
| PCS alt sistemleri (1,800/1,900MHz)(gelir) | $10 milyon | $346 milyon |
| Mikrodalga link pazarı | | |
| Link gereksinimleri | 43.735 | 222.964 |
| Mikrodalga radyo RF eleman pazarı | | |
| Orta çekiş radyo sistemleri | 8.000 | 38.000 |
| Orta çekiş radyo sistemleri(gelir) | $57 milyon | $174 milyon |
| Kısa çekiş radyo sistemleri | 29.000 | 200.000 |
| Kısa çekiş radyo sistemleri(gelir) | $85 milyon | $358 milyon |
| Mikrodalga RF Elemanları | 2,3 milyon | 12,3 milyon |
| Mikrodalga RF Elemanları(gelir) | $64,5 milyon | $187,8 milyon |
| Mikrodalga aktif elemanları | 1,5 milyon | 8,2 milyon |
| Mikrodalga aktif elemanları(gelir) | $44,8 milyon | $123,1 milyon |

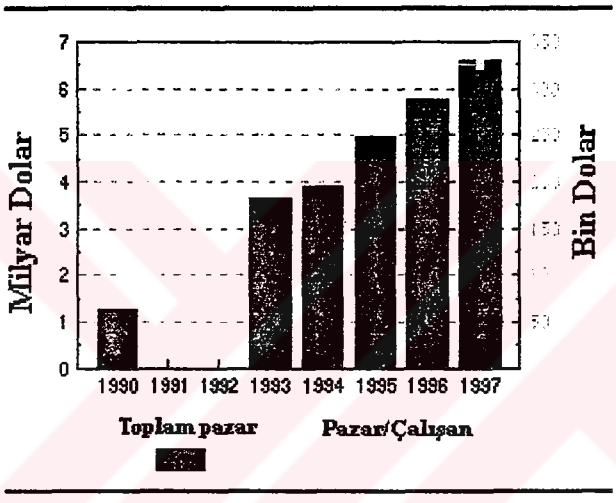
($: Kanada)

### 3.2.2.6 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi

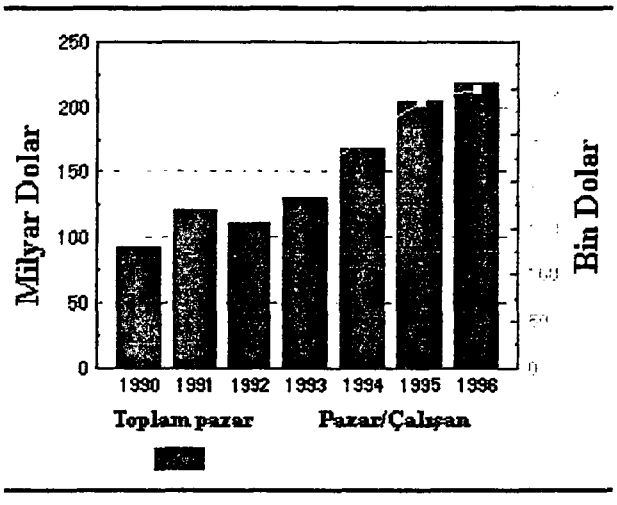
Yeni endüstri gelişmelerine göre Statistics Canada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisini Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisinde toplamaktadır. 1996' da Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi 14.5 milyar Dolar (Kanada) ile %39.8lik bir paya sahiptir. Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi içinde yer alır.

Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Üretimi:
1996 da Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi üretimi 31.3 milyar Dolar (Kanada) ile yıllık %6.3 büyüme göstermiştir. Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi toplam Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisinin %46.6' sına sahiptir.

**Grafik 3. 20. Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi toplam pazarı [23]**




**Grafik 3. 21. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi toplam pazarı [23]**




($:Kanada)

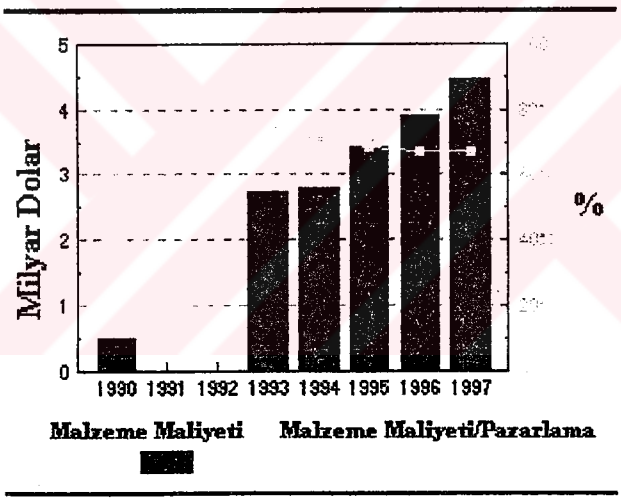
Ticari açıdan bakılırsa toplam pazar şirketin toplam gelirlerini içermektedir. Grafikler Kanada ile ABD' in toplam pazar karşılaştırması ve çalışan başına düşen geliri göstermektedir.

Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi 1990' da 1.25 milyar Dolar (Kanada) iken yıllık %29 büyüme ile 1996' da 5.77 milyar Dolar (Kanada) olmuştur. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi 1990' da 92.88 milyar Dolar (Kanada) iken yıllık %15.3 büyüme ile 1996' da 218 milyar Dolar (Kanada) olmuştur.

Çalışan üretkenliğinde ise çalışan başına eklenmiş toplam değer Kanada' da 1990-1996 arası yıllık %13.4 artış ile 1996' da 103.092 Dolar(Kanada) iken ABD'de 1990' da 84.380 Dolar(Kanada) iken yıllık %14.5 artış ile 1996' da 189.560 Dolar(Kanada) olmuştur.

Grafiklerde endüstri üretimi görülmektedir. Soldaki eksen pazara sunulacak ürünlerin malzeme masraflarının toplamını göstermektedir. Malzeme masrafları ham madde ve üretimde kullanılan depolama üniteleri ve elemanlarından oluşur. Sağ eksen ise toplam malzeme masrafının toplam satışa oranını göstermektedir. Bu oranın artması düzenli endüstriyi gösterirken oranın azalması değer ekleme miktarının azalmasını gösterir.

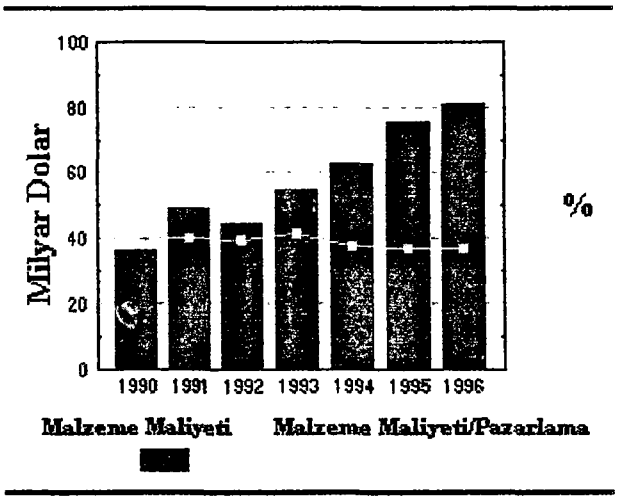
**Grafik 3. 22. Kanada elektronik parça ve eleman endüstrisinde malzeme toplam maliyeti (S:Kanada) [23]**




Kanada'da malzemelerin toplam maliyeti 1990' da 0.5 milyar Dolar(Kanada) iken yıllık %40.6 artış ile 1996' da 3.89 milyar Dolara(Kanada) yükselmiştir. Diğer taraftan, ABD'de malzemelerin toplam maliyeti 1990-1996' da yıllık %14.2 artış ile 1996' da 81.07 milyar Dolar(Kanada) olmuştur.

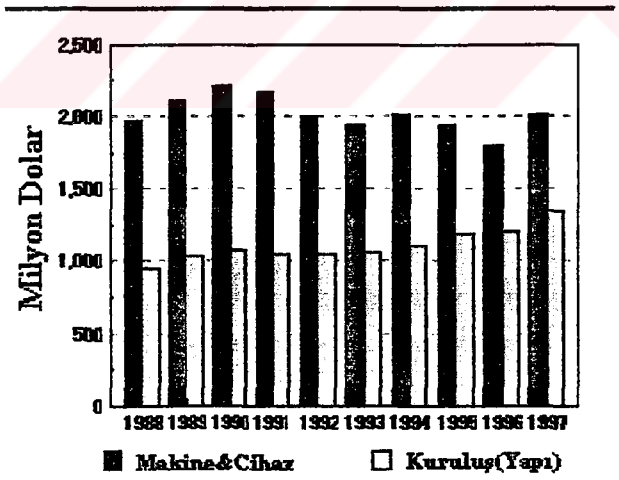
Malzeme maliyetinin toplam pazara oranı Kanada'da 1990' da %40.2 iken 1996' da %67.5tur. Aynı oran ABD'de 1990 da %36.4 iken 1996' da %37.2' ye düşmüştür.

**Grafik 3. 23. ABD elektronik parça ve eleman endüstrisinde malzeme toplam maliyeti ($: Kanada) [23]**



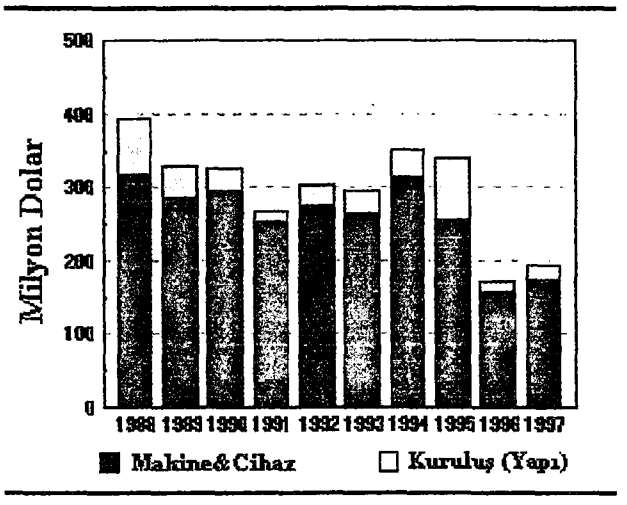

Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Yatırımı:
Yatırım genellikle uzun süreli makine, cihaz ve kuruluş harcamaları olarak düşünülür. Grafikte Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi yatırımları görülmektedir. Burada toplam sermaye ikiye bölünmüştür: (a)makine ve cihaz ve (b)bina.

**Grafik 3. 24. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Toplam Sermayesi ($: Kanada) [23]**



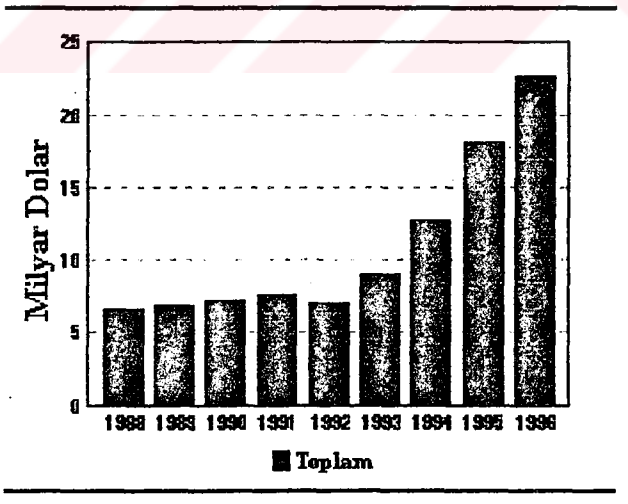

1988' den 19962 ya kadar Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi toplam sermayesi %0.3 artış ile 2.9 milyar Dolardan (Kanada) 3 milyar Dolara(Kanada) yükselmiştir. 1996' da makine ve cihaz değeri 1988' de 2 milyar Dolar(Kanada) dan %-1.2 düşüş ile 1996' da 1.8 milyar Dolara(Kanada) düşmüştür. Toplam bina değeri ise 1988' de 947.5 milyon Dolar(Kanada) iken %3 artış ile 1996' da 1203.7 milyon Dolara (Kanada) yükselmiştir.

**Grafik 3. 25. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Yıllık Yatırımı ($: Kanada) [23]**



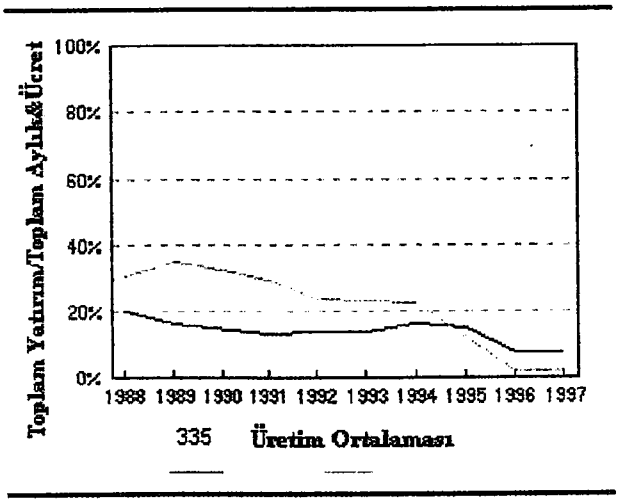

Grafikte Kanada ve ABD Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisindeki yıllık yatırımları göstermektedir. Kanada endüstrisinde toplam yıllık yatırım 1988' de 394.6 milyon Dolar(Kanada) iken 1996' da 172.5 milyon Dolar (Kanada) olmuştur. ABD toplam yatırımı 1988' de 6.6 milyar Dolar (Kanada) iken %244.5 artış ile 1996' da 22.7 milyar Dolar (Kanada) olmuştur.

**Grafik 3. 26. ABD Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi Yıllık Yatırımı($: Kanada) [23]**

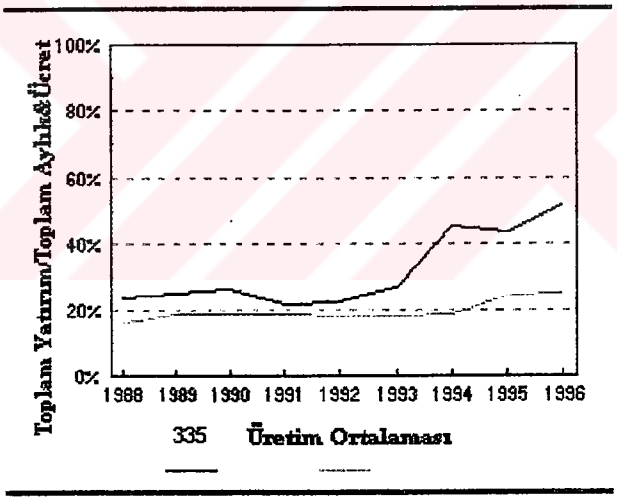



Endüstri çalışanı ile sermaye oranını iyi anlamak için toplam yıllık sermaye yatırım oranının toplam yıllık maaş ve ücretlere oranı grafiklerde verilmiştir.

**Grafik 3. 27. Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisinde Sermaye Çalışan Oranı [23]**




**Grafik 3. 28. ABD Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisinde Sermaye Çalışan Oranı [23]**

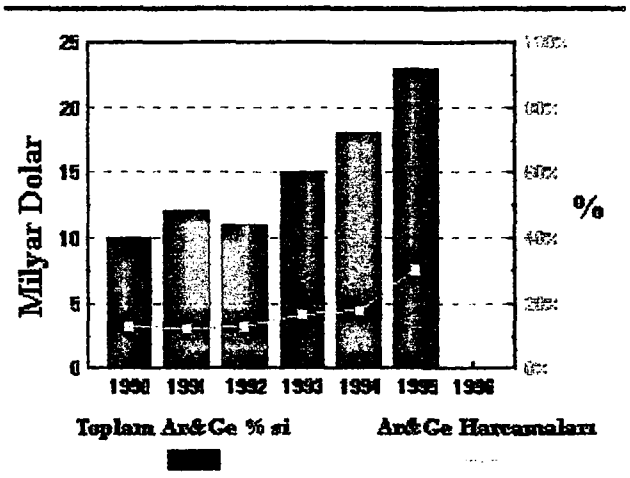



Grafikte görüldüğü gibi Kanada Haberleşme ve Diğer Elektronik Cihaz Endüstrisi sermaye çalışan oranı 1996' da %7.7dir. Bu zaman aralığında sermaye çalışan oranı ortalama bir değer olup tüm üretim endüstrisi ortalaması %25.6dır. Buna karşılık ABD için bu oran 1988-1996 süresince %33 ortalama ile 1996' da %51.4dür.

Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları:
Bir endüstrinin Ar&Ge araştırmalarının bir ölçüsü bu endüstri için Ar&Ge yoğunluk seviyesidir. Bu toplam Ar&Ge harcamalarının üretim bilançosuna oranıdır.

**Grafik 3. 29. ABD Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi**

**Toplam Ar&Ge Harcamaları($:Kanada) [23]**




Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Ar&Ge yoğunluk oranı 1996' da %40,2 idi. Buna karşılık, tüm üretim sektörü Ar&Ge yoğunluk oranı 1996' da %1,1dir. Bu sürede endüstri ortalama Ar&Ge yoğunluğu %7,2 iken aynı ortalama üretim sektöründe %1,1dir.

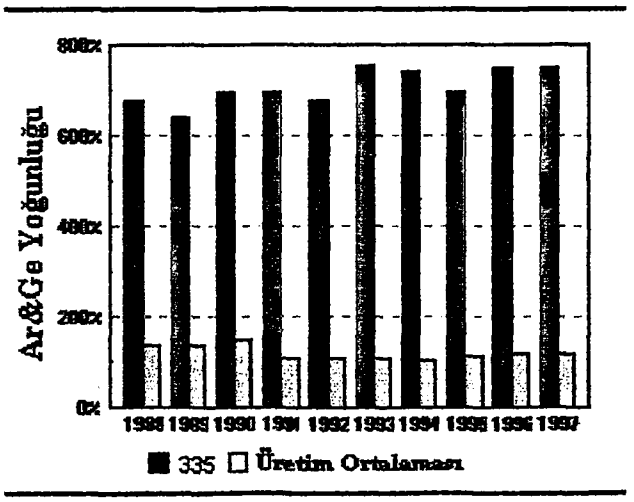
Kanada'da Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisi içinde yer alır.

Bu endüstride Kanada toplam Ar&Ge harcaması 1990' da 1,487 milyar Dolar (Kanada) iken 1996' da 2,321 milyar Dolar (Kanada)dır. Aynı süre içinde bu endüstri toplam üretim Ar&Ge' sinin %46,9' sına sahiptir.

Aşağıdaki Ar&Ge yoğunluk grafikleri ABD ve Kanada Ar&Ge yatırımları görülmektedir. Kanada için endüstri ortalaması 1990' da %6,9 ve 1996 da %7,5dir. (335: Elektrik ve Elektronik Ürün Endüstrisini gösterir.)

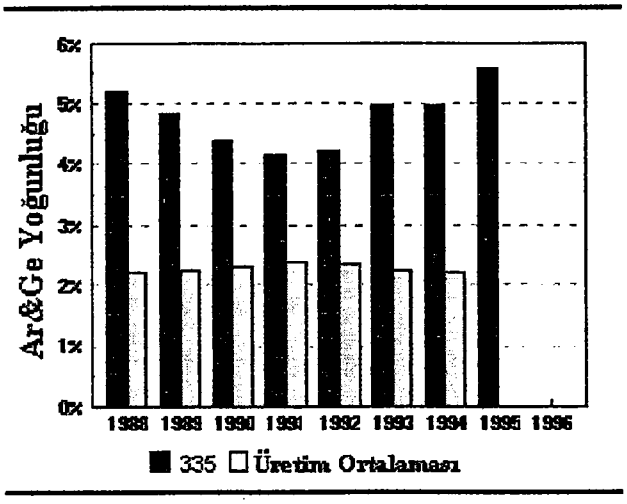
**Grafik 3. 30. Kanada Elektrik ve Elektronik Ürün**

**Endüstrisi Ar&Ge yoğunluğu [23]**



**Grafik 3. 31. ABD Elektrik ve Elektronik Ürün**

**Endüstrisi Ar&Ge yoğunluğu [23]**



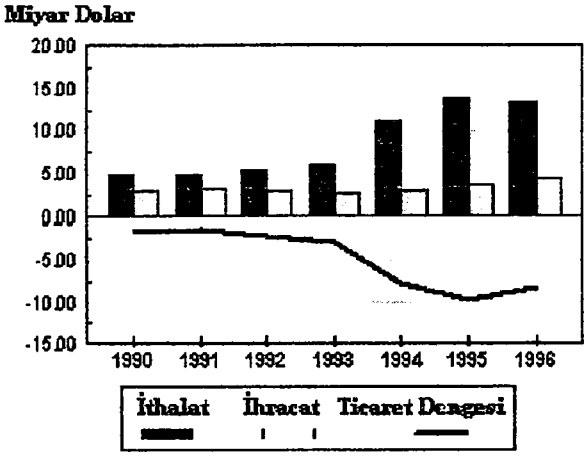

Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi Ticareti:
Bu bölümde endüstri ticareti 1996' a kadar analiz edilmiştir. Ticaret ile üretim bilgileri arasında temel bir fark vardır. Üretim bilgileri kurulum seviyesindeki ikinci üretimleri içerir ve üretim prensiplerinden ayrılmaktadır. Bu nedenle, endüstri ticareti bilgileri ham bilgiler olup hata içerebilmektedirler.

ABD ve Kanada ihracat bilgileri oluşturulan, ihraç edilen ve üretilen ürünlerle birlikte ithal edilen Kanada veya ABD'de işlenen yabancı ürünleri de içermektedir .İthal edildikten sonra işlenmeden yeniden ihraç edilen ürünler bu bilgilere dahil değildir.

Kanada ve ABD'nin Durumu:
1996 'da Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi -8135.5 milyon Dolar(Kanada) açık vermiştir. 1995' de bu açık -9647.4 milyon Dolar(Kanada) idi. ABD için aynı endüstrideki açık 1996' da -19210 milyon Dolar(Kanada)dır.

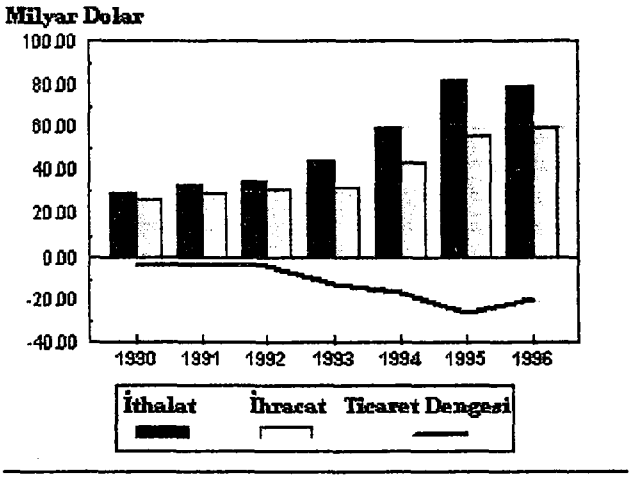
**Grafik 3. 32 Kanada Elektronik Parça ve Eleman**

**Endüstrisi Ticaret Dengesi($:Kanada) [23]**



**Grafik 3. 33. ABD Elektronik Parça ve Eleman**

**Endüstrisi Ticaret Dengesi($:Kanada) [23]**




1996' da Kanada ev ürünleri ihracatı 4362.4 milyon Dolar(Kanada) iken 1990-1996 arasında bu ihracatın yıllık oranı %7.08dir. Aynı zaman aralığında ABD yıllık oranı ise %14.55dir.

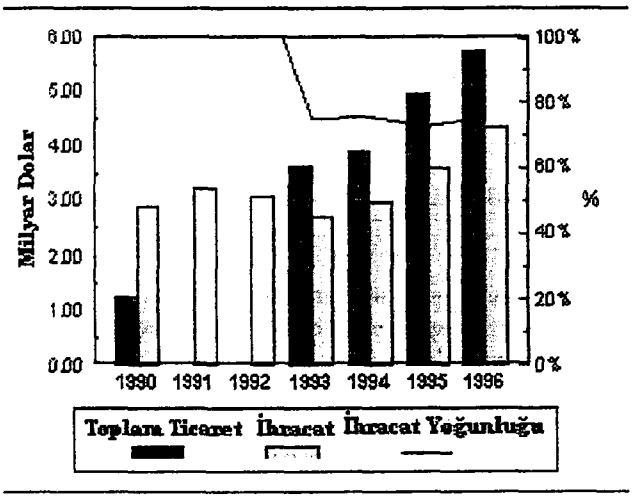
1996' da Kanada toplam ithalatı 13430 milyon Dolar(Kanada) olup 1995' deki 13920 milyon Dolar(Kanada) ithalatı %3.52 düşmüştür. 1990-1996 süresinde Kanada'nın bu endüstrideki toplam ithalatının yıllık oranı %18.78 iken ABD için bu oran %18.23dür.

1996' da Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinin üretim sektöründeki toplam ev ürünleri ihracatı yaklaşık olarak %0.007dir. Aynı ihracat ABD için %2.39dur.

İhracat yoğunluğu ev ürünleri ihracatının toplam satışlara oranıdır. Grafiklerde Kanada ve ABD için ihracat yoğunlukları gösterilmiştir.

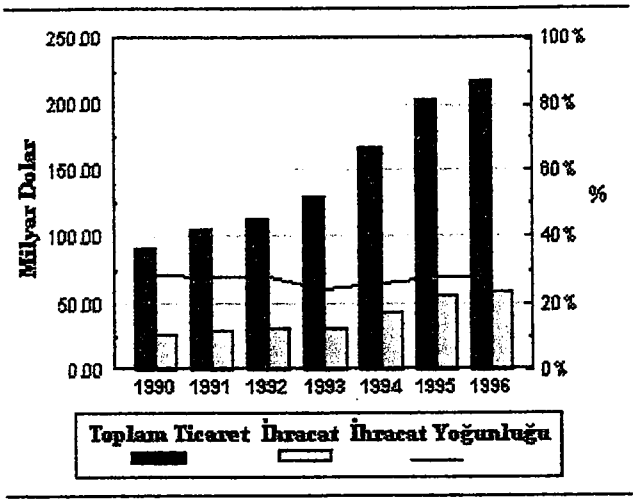
**Grafik 3. 34. Kanada Elektronik Parça ve Eleman**

**Endüstrisi İhracat Yoğunluğu($:Kanada) [23]**



**Grafik 3. 35. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi**

**İhracat Yoğunluğu($:Kanada) [23]**

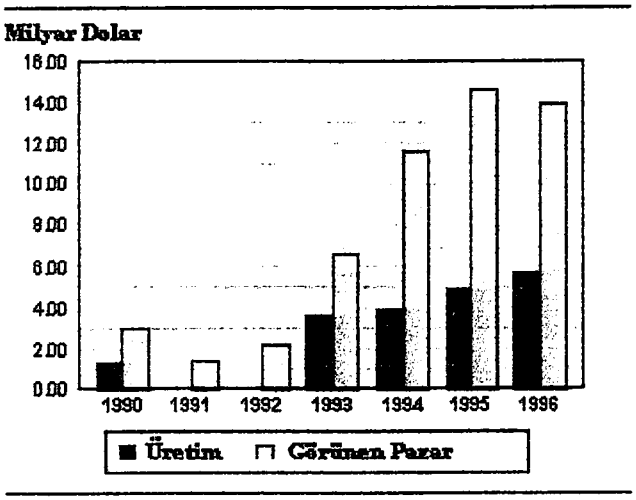



1996' da Kanada endüstrisi gelirlerinin %75.61'ini ihracattan elde etmiştir. Bu oran 1990' da %231.28 idi. 1990-1996 süresinde bu endüstrinin ortalama ihracat yoğunluğu seviyesi Kanada için %75.48 iken ABD için %27.08dir. Buna karşılık, aynı sürede tüm üretim sektörünün ortalama ihracat yoğunluğu seviyesi ise Kanada için %118.73 iken ABD için %12.64dür.

Bir ülkenin ürün talebini belirlemenin bir ölçüsü de toplam görünen ev pazarıdır. Bu ölçü ürün pazarlama ile ithalatının toplamından toplam ihracatın çıkarılması ile belirlenir.

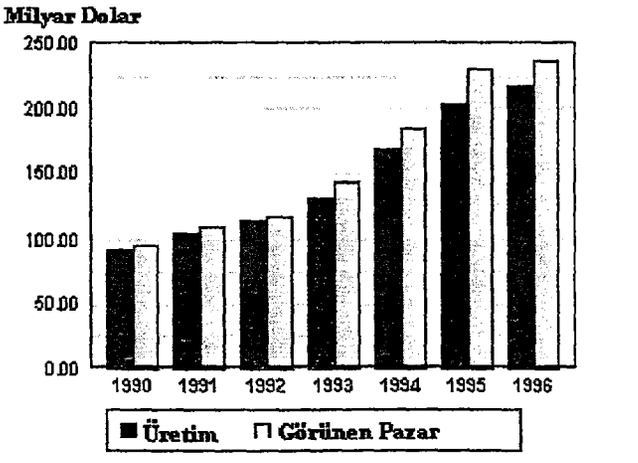
**Grafik 3. 36. Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi**

**görünen ev pazarı($:Kanada) [23]**



**Grafik 3. 37. ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi**

**görünen ev pazarı($:Kanada) [23]**

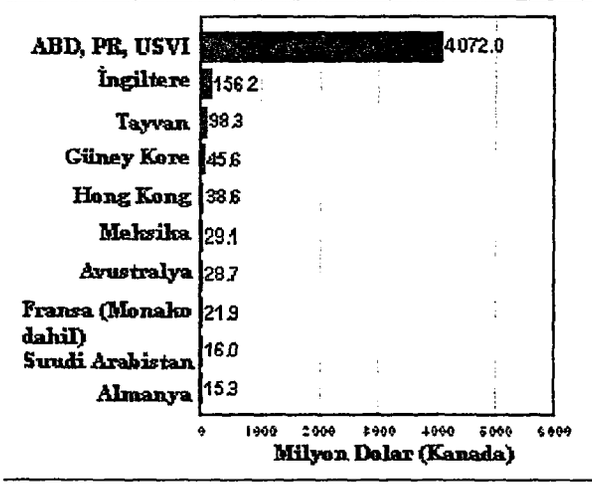



1996' da Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde üretilen ürünlerin görünen ev pazarı 13.9 milyar Dolar(Kanada) iken bu değer 1995' de 14.6 milyar Dolar(Kanada ) idi. 1990-1996 süresinde Kanada pazarının yıllık büyüme oranı %29.33dür. ABD aynı endüstrideki görünen ev pazarı 1996' da 237.2 milyar Dolar(Kanada) olup 1990-1996 ABD pazarının büyüme oranı %16.41dir.

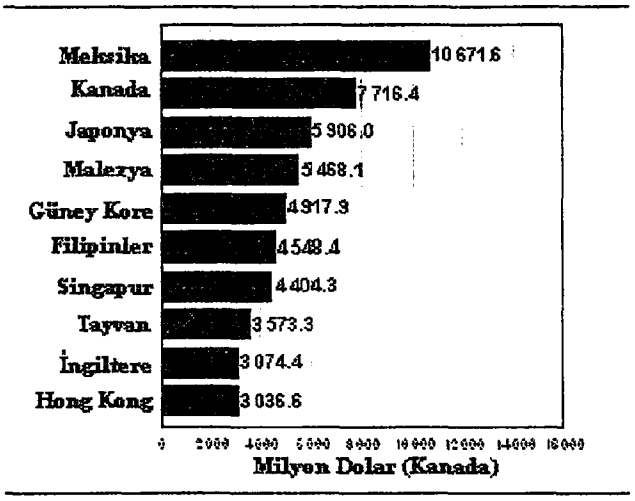
Ticaret Ortaklıkları:
Grafiklerde 1996 yılında Kanada ve ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ev ürünleri ihracatında ilk 10 ülke görülmektedir.

**Grafik 3. 38. 1996 yılı Kanada Elektronik Parça ve Eleman**

**Endüstrisinde ev ürünleri ihracatında ilk 10 ülke [23]**

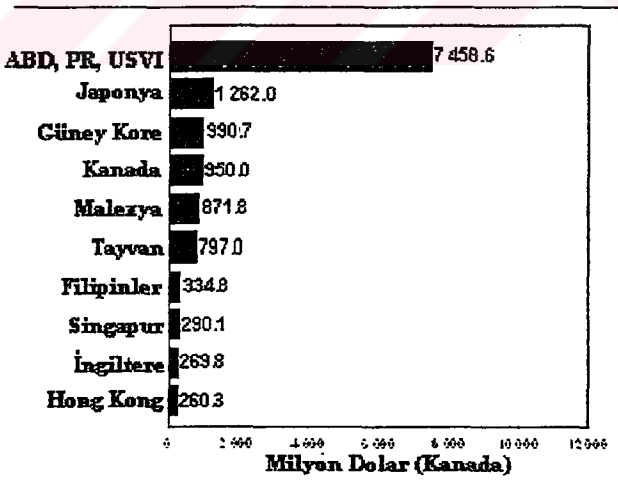


**Grafik 3. 39. 1996 yılı ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ev ürünleri ihracatında ilk 10 ülke [23]**

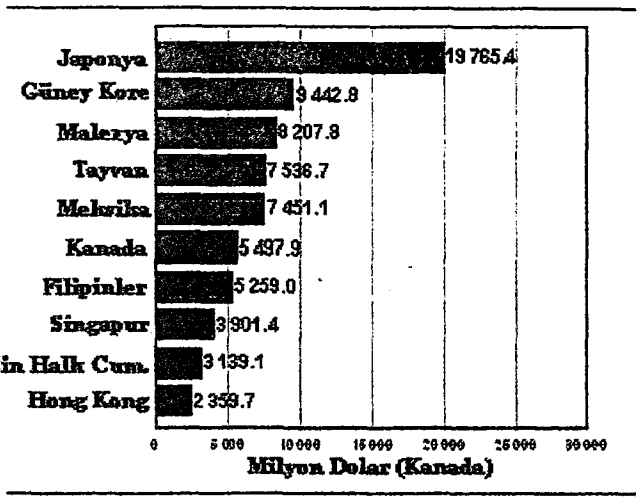



1996 yılında Kanada ve ABD endüstride üretilen ürün ithalatında ilk 10 ülke grafiklerde verilmiştir.

**Grafik 3. 40. 1996 yılı Kanada Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ilk 10 ithalat ülkesi [23]**



**Grafik 3. 41. 1996 yılı ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ilk 10 ithalat ülkesi [23]**



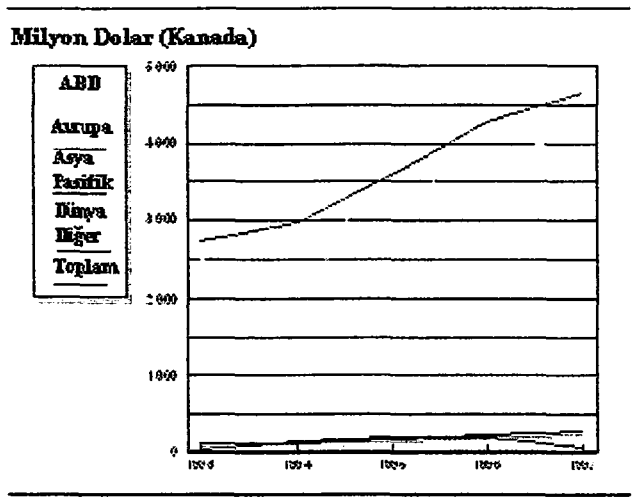

Dünya Bölgesel Pazarı:
Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada ve ABD dünya ihracat pazarının durumu tablolarda verilmiştir.

Tablodan da görüldüğü gibi 1992-1996 süresinde Kanada ihracat pazarında en güçlü büyümeyi %12,95 ile ABD göstermiştir.

**Tablo 3. 48. Kanada ve ABD Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisi ihracat pazarının karşılaştırılması [23]**

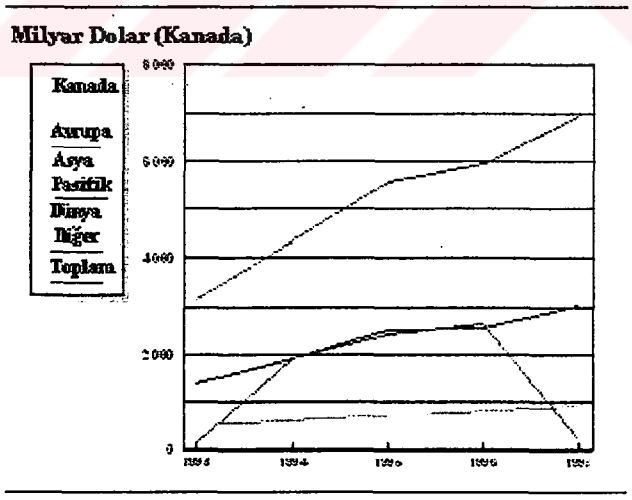
| | Kanada | | | ABD | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1996 Kanada İhracatı ($ Kanada) | % Toplam 1996 | % Büyüme 92-96 | 1996 ABD ihracatı ($ ABD) | % Toplam 1996 | % Büyüme 92-96 |
| Avrupa Birliği | 220.373.668 | 4,75 | 41,52 | 8.800.109.961 | 12,74 | 14,23 |
| Merkez Amerika (Meksika hariç) | 5.752.651 | 0,12 | 39,05 | 280.749.572 | 0,41 | 17,31 |
| Meksika | 29.119.296 | 0,63 | 137,38 | 10.671.570.192 | 15,45 | 32,17 |
| Güney Amerika | 6.606.630 | 0,14 | 26,96 | 3.811.221.638 | 5,52 | 29,78 |
| Asya Pasifik(Japonya hariç) | 258.462.428 | 5,57 | 30,60 | 30.031.635.421 | 43,47 | 21,34 |
| Japonya | 10.597.425 | 0,23 | -26,33 | 5.906.042.442 | 8,55 | 27,31 |
| Kanada | --- | --- | --- | 7.716.391.996 | 11,17 | 18,41 |
| ABD | 4.072.030.751 | 87,73 | 12,95 | --- | --- | --- |
| Dünya Diğer | 38.682.340 | 0,83 | 16,18 | 1.860.795.913 | 2,69 | 13,76 |
| Toplam | 4.641.625.189 | 100 | 14,42 | 69.078.517.136 | 100 | 21,89 |

**Grafik 3. 42. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Uluslar arası bölgelere ihracatı [23]**

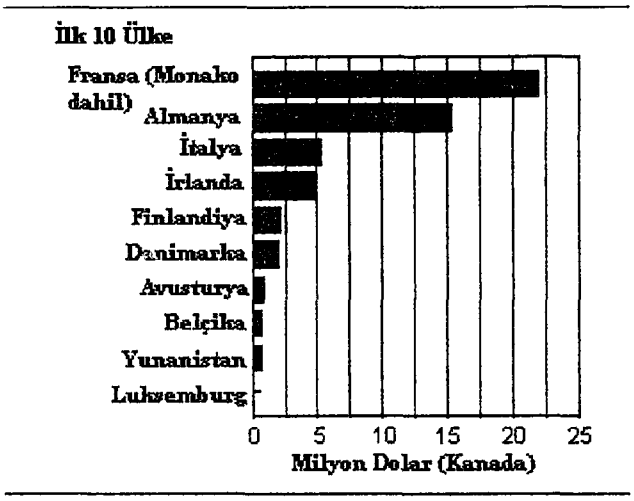



Kanada ve ABD ihracat bölgelerinde ilk 10 ithalat ülkesi grafiklerde görülmektedir.

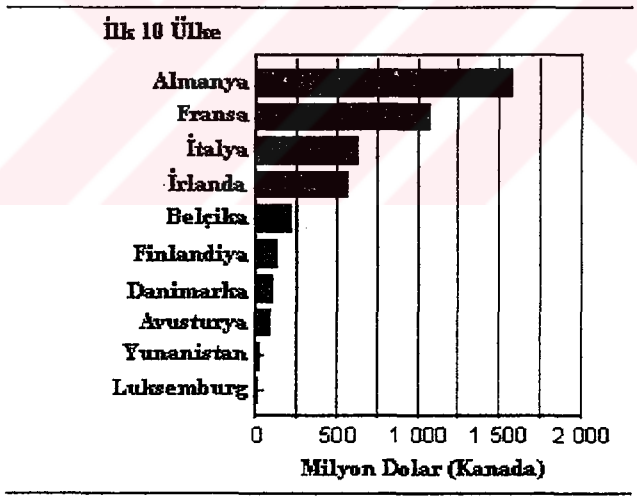
**Grafik 3. 43. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Uluslar arası bölgelere ihracatı [23]**



**Grafik 3. 44. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Avrupa Birliği İhracatı [23]**

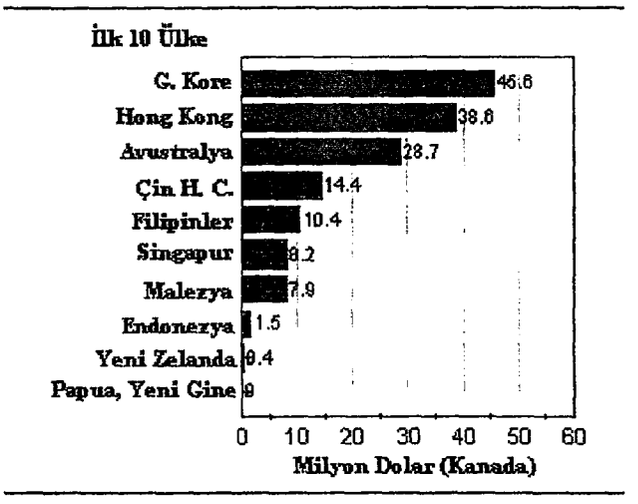



**Grafik 3. 45. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Avrupa Birliği İhracatı [23]**

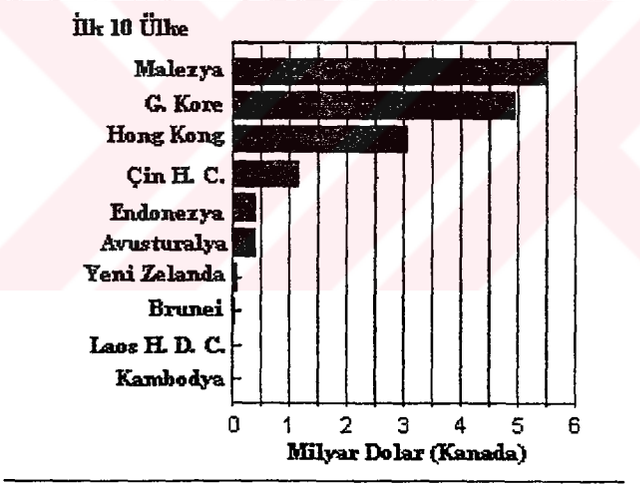



Avrupa Birliği içinde en büyük Kanada ihracatı 1996dır: Fransa (Monako dahil) %4.58, Almanya %3.19, İtalya %1.1, İrlanda %0.99 ve Finlandiya %0.44. ABD'nin Avrupa Birliğine ihracatı ise Almanya %4.04, Fransa (Monako dahil) %2.74, İtalya %1.61, İrlanda %1.45 ve Belçika%?dır.

**Grafik 3. 46. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın Asya Pasifik İhracatı [23]**

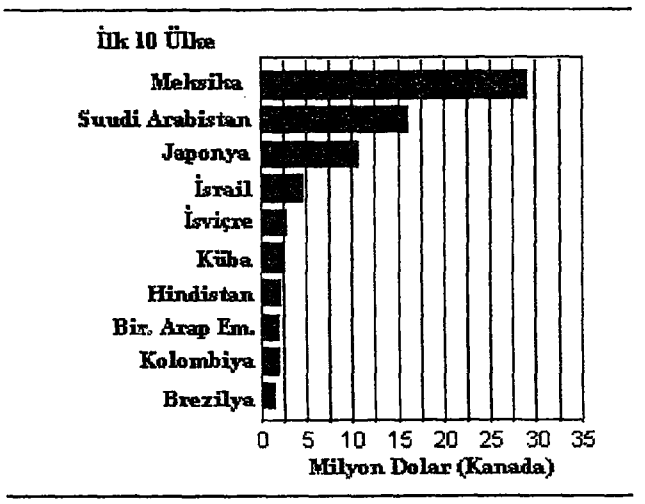



**Grafik 3. 47. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin Asya Pasifik İhracatı [23]**

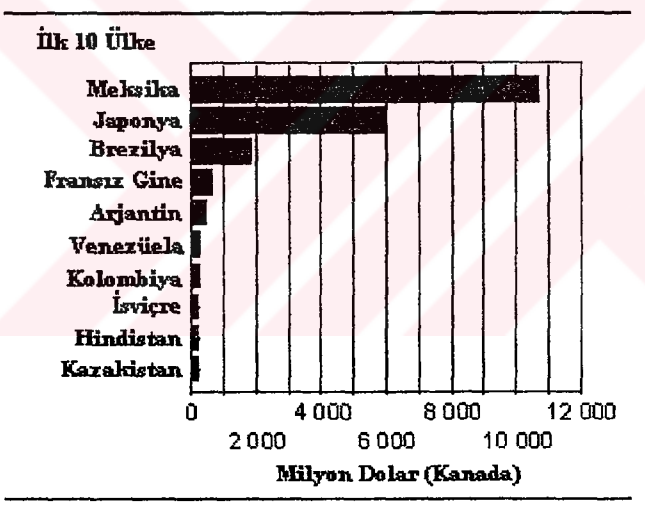



Kanada'nın Asya Pasifik ihracatı Güney Kore %9.52, Hong Kong %8.06, Avustralya %5.99, Çin %3 ve Filipinler %2.17dir. Bu bölgedeki ABD ihracatı ise Malezya %14.08, Güney Kore %12.66, Hong Kong %7.8, Çin %2.95 ve Endonezya %1.01dir.

**Grafik 3. 48. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Kanada'nın diğer dünya ülkelerine ihracatı [23]**



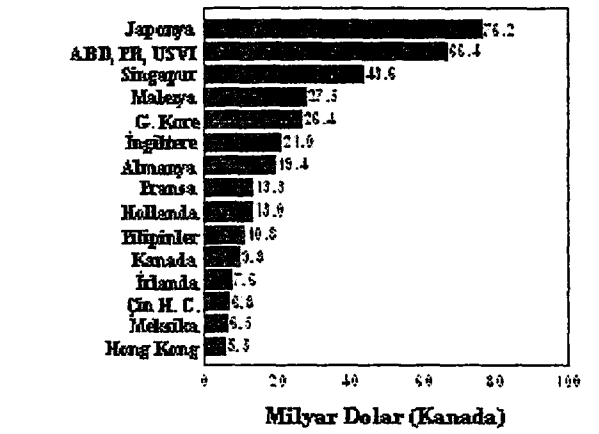

**Grafik 3. 49. Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ABD'nin diğer dünya ülkelerine ihracatı [23]**



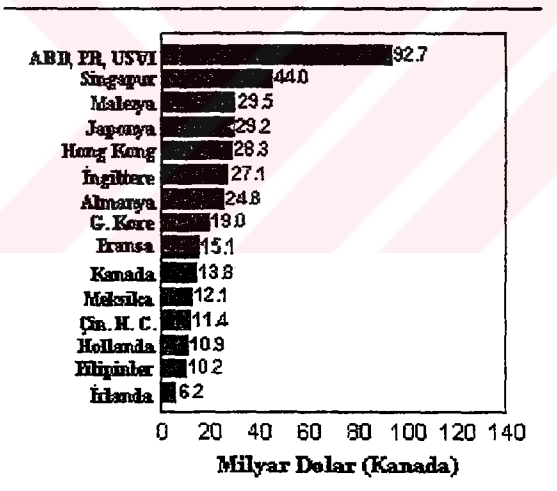

Diğer dünya ülkeleri grubunda Kanada ihracatı Meksika, Suudi Arabistan ve Japonya'yı içermektedir. ABD için ilk üç ihracat pazarı ise Meksika, Japonya ve Brezilya'dır.

Dünyadaki Yeni İthalat ve İhracatçılar:
Birleşmiş Milletlerde Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde ilk 15 ithalat ve ihracatçı ülkeler grafikte verilmiştir.

**Grafik 3. 50. 1996 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Dünyanın En Büyük İhracatçı Ülkeleri [23]**




**Grafik 3. 51. 1996 Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde Dünyanın En Büyük İthalatçı Ülkeleri [23]**




1996 Avrupa Birliği Elektronik Parça ve Eleman Endüstrisinde dünyanın en büyük ihracatçıları Japonya, ABD, PR,USVI ve Singapur'dur. İthalat ülkelerinin durumu ise toplam Birleşmiş Milletler ithalatı %30.35, %14.4 ve %9.67dir. [23]

### 3.2.3 Avusturya Elektronik Endüstrisi

1998' in ortalarında Asya, Rusya ve Brezilya krizleri uluslar arası pazar ticaretini önemli oranda düşürmüştür. Yabancı pazardaki zor koşullar ev ürünleri pazarının geliştirilmesi ile dengelenmiştir.

Genel olarak endüstri üretimi özellikle nicelik olarak artmıştır. Bazı sektörlerde üretim artarken bazılarında ise azalmıştır. Fiyatların önemli oranda düşmesine rağmen, satışlar azalmıştır. Önceki yıla göre %6.5 artış 1997' de %8.5dir. Elektroteknik ve elektronik endüstrisi üretimi 107den 114 milyar Şilin (Avusturya) e çıkmıştır.

1998' de bir önceki yıla göre ihracat %8.6 artmıştır. Bu bağlamda, dünyanın çoğu bölgelerinde gelişmeler olmuştur. Avrupa Birliği ve ABD'ye dağıtımlar daima artmaktadır. Toplam ihracat değeri yaklaşık olarak 102 milyar Şilin (Avusturya)dır.

Güçlü uluslar arası rekabetten dolayı bütün endüstride önemli bir fiyat problemi vardır. Bu bağlamda Güney-Doğu Asya'nın payı büyüktür. Sonuç olarak, fiyat kavgası korkulacak boyutlara gelmiştir. Bazı sektörlerde (örneğin; tüketici elektronik, ev ve ısıtma uygulamaları, yerleştirme malzemeleri, elektronik eleman) bazı durumlarda iki haneli fiyat düşüşleri kaydedilmiştir. Elektroteknik ve elektronik endüstrisinde temel değerler çok az artmıştır. Çalışan sayısı %0.6 artmıştır. Toplam çalışan sayısı 65.000dir.

#### 3.2.3.1 Tüketici Elektronik Endüstrisi

Genel olarak elektroteknik ve elektronik endüstrisinin tüketici elektroniği alanındaki rekabet korkulacak boyutlara gelmiştir. 1997' de %41.7 olan ihracattaki büyüme 1998' de %10.3dür.

**Tablo 3. 49. Tüketici Elektronik Üretimi [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| Üretim(*1000 Avusturya Şilini) | 18.522.494 | 16.829.431 | 17.343.541 |
| % Büyüme | ? | -9,1 | 3,1 |

**Tablo 3. 50. Tüketici Elektronik ihracat ve ithalatı [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| İhracat(*1000 Avusturya Şilini) | 13.376.292 | 18.952.063 | 20.904.211 |
| İhracat % Büyümesi | ? | 41,7 | 10,3 |
| İthalat (*1000 Avusturya Şilini) | 11.694.002 | 14.829.361 | 14.683.601 |
| İthalat % Büyümesi | ? | 26,8 | 1 |

#### 3.2.3.2 Eleman Endüstrisi

Bir çok alt sektörde ürün fiyatları düştüğünden 1998' de üretim artmıştır. Bunun nedeni ise teknolojik değişikliklerdir.

**Tablo 3. 51. Elektronik eleman endüstrisi üretimi [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| Üretim(*1000 Avusturya Şilini) | 12.328.719 | 13.518.829 | 15.299.183 |
| % Büyüme | - | 9,7 | 13,2 |

**Tablo 3. 52. Elektronik eleman endüstrisi ihracat ve ithalatı [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| İhracat (1000 Av. Şilini) | 13.634.012 | 15.413.340 | 18.536.363 |
| % Büyüme | - | 13,1 | 20,3 |
| İthalat (1000 Av. Şilini) | 10.983.717 | 14.266.812 | 15.781.665 |
| % Büyüme | - | 29,9 | 10,6 |

### 3.2.3.3 Haberleşme Endüstrisi

Haberleşme sektöründe mobil telefonlar üretimde %9.2lik pay ile önemli bir rol oynamıştır. İhracat ise beklenenden daha iyi çıkmıştır.

**Tablo 3. 53. Haberleşme endüstrisi üretimi [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| Üretim (1000 Av. Şilini) | 12.649.341 | 14.530.716 | 15.873.006 |
| % Büyüme | - | 14,9 | 9,2 |

**Tablo 3. 54. Haberleşme endüstrisi ihracat ve ithalatı [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| İhracat (1000 Av. Şilini) | 5.231.995 | 6.964.739 | 6.598.600 |
| % Büyüme | - | 33,1 | -5,3 |
| İthalat (1000 Av. Şilini) | 5.577.047 | 7.116.927 | 12.581.402 |
| % Büyüme | - | 27,6 | 76,8 |

### 3.2.3.4 Ölçme ve Test Uygulamaları Endüstrisi

1997' de %13.3 olan büyüme 1998' de %1.1 olmuştur. Bu sonuçlara göre bu sektörün önemli bir ithalat baskısı altında olduğu anlaşılmaktadır. İhracattaki büyüme ise 1997' de %22.8 iken 1998' de %4.3dür. Bununla birlikte, bazı şirketler bu zor koşullar altında ayakta kalmayı pazarda kendilerine uygun yer bularak başarmışlardır. [24]





**Tablo 3. 55. Ölçme ve Test Uygulamaları endüstrisinde üretim [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| Üretim (1000 Av. Şilini) | 5.322.404 | 6.028.473 | 6.095.673 |
| % Büyüme | - | 13,3 | 1,1 |

**Tablo 3. 56. Ölçme ve Test Uygulamaları endüstrisinde ihracat ve ithalat [24]**

| Yıl | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| İhracat (1000 Av. Şilini) | 6.836.093 | 8.395.266 | 8.754.321 |
| % Büyüme | - | 22,8 | 4,3 |
| İthalat (1000 Av. Şilini) | 8.828.565 | 9.771.726 | 10.746.115 |
| % Büyüme | - | 10,7 | 10 |

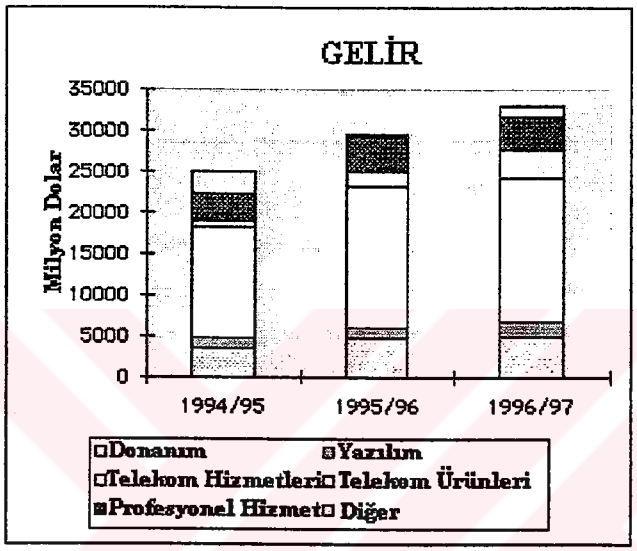
### 3.2.4 Avustralya Elektronik Endüstrisi

#### 3.2.4.1 Avustralya Bilgi Teknolojisi ve Haberleşme Endüstrisi

Avustralya Bilgi Teknolojisi ve Haberleşme Endüstrisi (Information Technology and Telecommunications : IT&T) Avustralya ekonomisinde en yenilikçi ve dinamik sektörlerden biridir.

**Grafik 3. 52. Avustralya IT&T Endüstrisinin durumu**

**($:Avustralya) [25]**

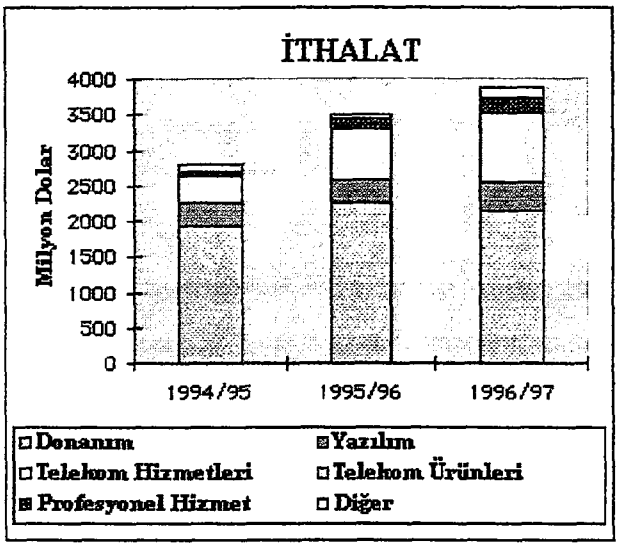



Avustralya IT&T endüstrisi; 200.000 çalışana, 3.4 milyar Dolar (Avustralya) ihracata, yıllık 700 milyon Dolar (Avustralya) Ar&Ge yatırımına ve 1997' de 33 milyar Dolar (Avustralya) ev ürünleri pazarına sahiptir. Avustralya kişi başına düşen gelir olarak dünyadaki ilk 3 ülkeden biridir.

Avustralya Bilgi Endüstri Birliği' ne (Australia Information Industry Association : AIIA) üye şirketlerin gelirleri bir önceki yıla göre %12 artarak 33 milyar Dolar (Avustralya)dır. AIIA' ya üye şirketlerin gelirleri IT&T sektörünün büyük bir kısmını temsil etmektedir.

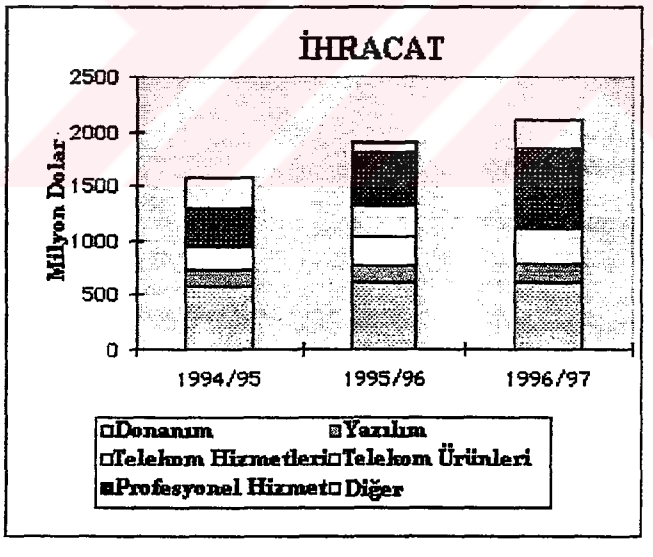
**Grafik 3. 53. Avustralya IT&T Endüstrisi ithalatı**

**($:Avustralya) [25]**

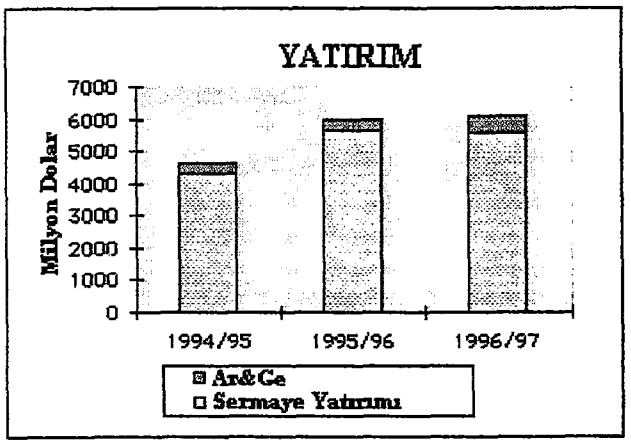



**Grafik 3. 54. Avustralya IT&T Endüstrisi ihracatı**

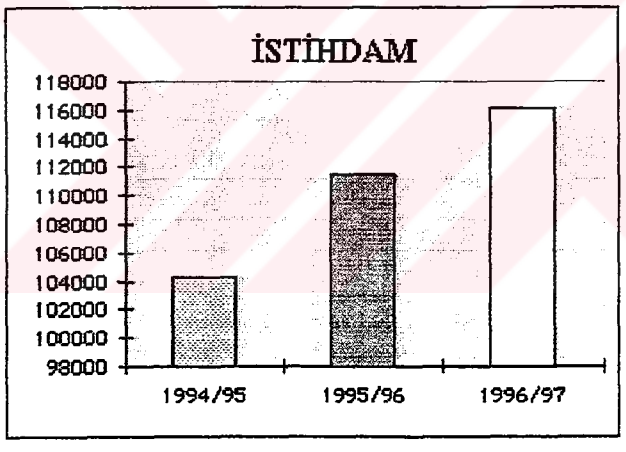
**($:Avustralya) [25]**



**Grafik 3. 55. Avustralya IT&T Endüstrisi yatırımı ($:Avustralya) [25]**




**Grafik 3. 56. Avustralya IT&T Endüstrisi çalışan durumu [25]**




**Tablo 3. 57. Avustralya Bilgi endüstrisi [25]**

| Pazar Geliri 1995 [Milyar Dolar (Avustralya)] | |
|---|---|
| Elektronik | 4,9 |
| Platform ve yardımcı eleman | 18,4 |
| Haberleşme | 18,9 |
| IT Servisi | 9,6 |
| Bilgi ve Eğlence | 15,7 |
| Toplam Bilgi Endüstrisi | 67,5 |
| 1995-96 gelir oranı (%) | 13 |

Avustralya'da Internet Kullanımı:
Ağustos 1999' da 3.4 milyon ev (%48) PC satın almıştır. PC satışı bir önceki yıla göre %2 artmıştır. Internet kullanımı Ağustos 1998' de %18 iken, Ağustos 1999' da %23' e yükselmiştir. En yüksek Internet kullanımı 18-24 yaş arasına aittir (%74). Yetişkin bayların %46' sı ile yetişkin bayanların %36' sı Internet kullanmaktadır.

AEA 'ya göre 1993' den beri teknoloji endüstrisi ABD 'de 1 milyon iş üretmiştir. ABD ileri teknoloji sektörü 5 milyon çalışanı ile ülkenin en büyük endüstrilerinden biridir. 1997' de çalışanların maaşı, diğer sektör çalışanlarının maaş ortalamasından %77 daha yüksektir: 53.000 $ (ABD). AEA' ya göre iş patlamasının olduğu beş eyalet; California, Texas, Washington, Colarado ve Georgia' dır.

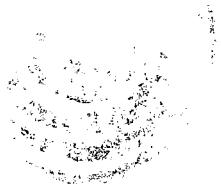
Avustralya Ar&Ge harcamaları, 1995/1996' da 4.24 milyar Dolar (Avustralya) iken, 1997/1998' de %12 düşüş ile 3.75 milyar Dolar (Avustralya)dır. Avustralya GDP' in %0.87' sini Ar&Ge' ye ayırmaktadır. Dünya sıralamasında ise Japonya (%1,87), ABD (1,85), Almanya (%1,5), Finlandiya (% 1,46), Fransa (1,44), İrlanda (%1,05) ve Kanada (%0,96)dan sonra gelmektedir. Ar&Ge harcamalarının %10' u mineral, %56' sı üretim ve %15' i bilgi ve haberleşmeye ayrılmaktadır.

ABS' e (Australian Bureau of Statistics:ABS) göre Avustralya IT&T sektöründe 13.569 bilim adamı bulunmaktadır. 1992-1993' e göre bu sayı %87 artmıştır. Bilim adamlarının %65' i bilgisayar danışmanlık servisinde ve %17' si bilgisayar satış endüstrisinde bulunmaktadır. IT&T bilim adamlarının toplam geliri 1992-1993' e göre %81 artış ile 49.765,3 milyon Dolar (Avustralya)dır.

1995-1996 Avustralya IT&T ev ürünleri ve servis gelirleri, toplam IT&T gelirinin %67' si olup 31.574,1 milyon Dolar (Avustralya)dır. IT&T ihracatı 3.594,8 milyon Dolar (Avustralya) iken, IT&T ithalatı 10.710 milyon Dolar (Avustralya)dır. Ticaret açığı 7.115,2 milyon Dolar (Avustralya) olmaktadır.

Avustralya Internet ticareti 61 milyon Dolar (Avustralya) iken 2001' de 1.3 milyar Dolar (Avustralya) olması beklenmektedir. Dünyada şimdiki değeri 2.6 milyar Dolar (Avustralya) olan Internet ticareti 2001' de 215 milyar Dolar (Avustralya) olacaktır. Forrester Research' e göre şimdiki değeri 15 milyar Dolar (ABD) Internet ticareti 2000 de 200 milyar Dolar (ABD) olacaktır . [25]





### 3.2.5 Hindistan Elektronik Endüstrisi

Elektronik ve Bilgi Teknolojisi Hindistan Endüstrisinde üretim ve ihracat olarak en hızlı büyüyen endüstridir. Bugün, elektronik endüstrisi uzay ve savunma elektroniği dışında lisans sahibidir.

Son zamanlarda Hindistan 'Yazılım Geliştirme ve Bilgi Teknolojileri' alanında uluslar arası büyük fırsatlara sahiptir. Hükümet Hindistan'ı Global Bilgi Teknoloji Süper Gücü ve Bilgi Devriminin öncüsü yapmak için gereken bütün adımları atmaktadır. Hükümet Bilgi Teknolojisini ülkenin ilk beş önceliği arasına almış ve Bilgi Teknolojisi ve Yazılım Geliştirme Ulusal Görev Kuvveti'ni kurmuştur.

#### 3.2.5.1 Elektronik Endüstrisi

Elektronik Endüstrisi Üretimi:
Elektronik endüstrisi Hindistan Endüstrisinde en hızlı büyüyen sektördür. Sekizinci Plana göre elektronik endüstrisi üretimde yıllık %20 ve ihracatta yıllık %40 büyüme göstermiştir. 1998-1999 elektronik üretimi 41.140 kror (crore) Rupi (Hindistan)dur. Dokuzuncu Plana (2001-2002) göre yıllık elektronik üretimin 138.350 kror Rupi (Hindistan) ve yıllık büyüme oranının %39 olması hedeflenmektedir.

1998-1999' da Tüketici elektronik sektörü 9.200 kror Rupi (Hindistan) üretim gerçekleştirmiştir. Eleman endüstrisi özellikle renkli TV üretiminden oluşur. Renkli TV endüstrisi eşsiz bir büyümeye sahiptir. Elektronik sektör üretimi tabloda verilmiştir.

**Tablo 3. 58. Elektronik sektör üretimi [26]**

| Sektör [*100.000 Rupi (Hindistan)] | 1993-94 | 1997-98 | 1998-99 | 2001(*: hedef) |
|---|---|---|---|---|
| Tüketici Elektroniği | 41,50 | 76,00 | 92,00 | *170 |
| Endüstriyel Elektronik | 17,70 | 31,50 | 33,00 | *77 |
| Bilgisayar Sistemleri | 18,20 | 28,00 | 23,00 | *178,5 |
| Haberleşme Cihazları | 31,50 | 32,50 | 44,00 | *216,5 |
| Stratejik Elektronik | 5,00 | 9,00 | 13,00 | *22,5 |
| Eleman | 26,80 | 44,00 | 47,50 | *156 |
| Alt toplam | 140,70 | 221,00 | 252,50 | *820,5 |
| Yazılım İhracatı | 10,20 | 65,00 | 109,40 | *365 |
| Kullanıcı yazılımı | 6,95 | 34,70 | 49,50 | *198 |
| Toplam | 157,85 | 320,70 | 411,40 | *1383,5 |
| % Büyüme | ? | 20,40 | 28,30 | ? |

1 Milyon Dolar(ABD): 3,554 kror Rupi(Hindistan)

Bilgisayar endüstrisi üretimi negatif bir büyüme göstermesine rağmen, PC satışları artmaktadır. Dünya piyasasında bilgisayar fiyatları düşmektedir. Haberleşme sektörü %35 stratejik elektronik ise %44 büyümüştür.

Elektronik Eleman Endüstrisi:
Elektronik eleman sektörünün büyümesi tüketici elektronik endüstrisine bağlıdır. Kablolu TV ve Renkli Resim Tüp Endüstrisi 1998' de %40 büyüme göstermiştir. Renk saptırma

elemanları, yumuşak feritler, hoparlörler, tüketici PCB ve diğer tüketici elektroniği elemanları da bu yıl içerisinde büyüme göstermişlerdir.

Profesyonel eleman alanında önemli bir gelişme olmamıştır. Bilgisayar ve Haberleşme cihazlarında kullanılan elemanlar yüzey montajlı mikroelektronik elemanlardır. Genel olarak elektronik cihazların küçülmesini sağlayan eleman küçültmenin Hindistan eleman endüstrisine bir katkısı bulunmamaktadır. Bilgisayar ve Haberleşme cihazlarında kullanılan elemanların üretimi yatırımcıları cezp etmemekle birlikte bu alandaki üretim çok zayıftır. Bununla birlikte, profesyonel PCB ve konnektör ihracat performansı geliştirilmiştir.

Eleman fiyatı ithal edilen elemanların ucuzluğu nedeni ile düşmektedir. Bunun sonucu olarak eleman üretimi büyük bir baskı altındadır. 1998-1999 toplam eleman üretimi 4.750 kror Rupi (Hindistan) ile bir önceki yıla göre %8 büyüme göstermiştir.

### 3.2.5.2 Bilgisayar Endüstrisi

Hindistan Bilgi Teknoloji (IT) Endüstrisi ekonomideki bütün sektörlerin büyümesinin motorudur. PC kullanımı bugün 3/1000 iken 2002' de 14/1000 olacaktır.

Bilgisayar sistemleri üretimi masa üstü PC, iş istasyonu ve sunucudan oluşmaktadır. Bilgisayar yardımcı elemanları ise klavye, monitör (renkli ve renksiz), nokta matrisli yazıcı, satır yazıcı, disk sürücüler, çiziciler, iş ağı ürünleri ve diğerlerini içerir. Yoğun üretim ise Pentium PCler üzerinedir. Yazıcı alanında nokta matrisliden ucuz maliyet ve baskı kalitesinden dolayı mürekkep püskürtmeli yazıcıya doğru geçiş vardır.

Elektronik Endüstrisi İhracatı:
1970' de 50 milyon Rupi (Hindistan) olan elektronik eleman ihracatı 1998-1999' da 117.400 milyon Rupi(Hindistan) olmuştur.

Yazılım endüstrisi en hızlı büyüyen endüstridir. Yazılım endüstrisinin yıllık büyüme oranı %50 olup 1998-1999 sermayesi 2.6 milyar Dolar(ABD) ı ihracat olmak üzere toplam 4 milyar Dolar(ABD) dır. Hükümet bu değerin 2008 yılında 50 milyar Dolar(ABD) olmasını hedeflemektedir. [26]

**Tablo 3. 59. Elektronik sektörü ihracatı [26]**

| Sektör [Milyon Rupi (Hindistan)] | 1993-94 | 1997-98 | 1998-99 | 2001-02 |
|---|---|---|---|---|
| Tüketici Elektroniği | 2,50 | 6,00 | 4,00 | 23,80 |
| Endüstriyel Elektronik | 1,15 | 2,00 | 1,60 | 6,20 |
| Bilgisayar Sistemleri | 4,20 | 12,50 | 4,00 | 59,30 |
| Hab.Cih.ve Stratejik Elek. | 0,98 | 1,10 | 0,80 | 10,00 |
| Eleman | 2,25 | 8,40 | 7,60 | 25,00 |
| Alt toplam | 11,08 | 30,00 | 18,00 | 124,30 |
| Bilgisayar Yazılımı | 10,20 | 65,00 | 109,40 | 365,00 |
| Toplam | 21,28 | 95,00 | 117,40 | 489,30 |

### 3.2.6 Macaristan Elektronik Endüstrisi

Macaristan bilgi ve haberleşme teknolojileri hakkında güncel ve kesin bilgiler bulunmamaktadır. KSH (Central Statistical Office:KSH) bilgileri 1995 yılına ait olup verilen bilgiler mesleki tahminlere dayanmaktadır.

Macaristan Donanım ve Yazılım Ticaretinin Başlaması:
Sovyet yapımı ilk bilgisayar, Aralık 1959' da Macaristan Bilim Akademisinde (Hungarian Academy of Sciences ) çalıştırılmıştır. Batının tasarladığı ilk bilgisayar ise dört yıl sonra Ministry of Heavy Industry tarafından üretilmiştir. Central Development Program of Computer teknoloji programına göre bir sosyalist ülkede COMECON çalışma bölümüne göre yüzlerce bilgisayar üretilmiştir. Bu program 1969' da başlamış ancak bir buçuk yıl sürmüştür. Sıkı merkezi dağıtımı sonucu sadece birkaç Batı bilgisayar şirketi ülke yönetiminin ve ekonomisinin farklı bölümlerinde kendilerine yer bulabilmişlerdir. 1975' de COCOM (o zamanki hükümet) bilgisayar ve ilgili cihaz ithalatını yasaklamıştır.

Büyük sayıda PC, 1982' de ihracatçıların büyük karı ile Macaristan' a ihraç edilmiştir. Bu yıllarda yerli şirketler daha çok Ar&Ge ve PC montajına yönelmişlerdir. Bu süre ithalat serbestliğinin getirilmesi ile son bulmuştur. Bundan sonra COCOM zayıflamış ve COCOM' a el konmuştur. Böylece yerli bilgisayar pazarında yeni bir dönem başlamıştır.

1989' deki ithalat serbestliği ve Doğu pazarının yıkılması Macaristan bilgi ve haberleşme şirketlerinin düşük teknolojili ürünleri üzerinde '**pazarlanamazlık**' şok etkisini yapmıştır. Yerli donanım üretimi pratik olarak doksanlarda durmuştur. Macaristan şirketleri, olmayan aksesuarlar, tamamlayıcı üniteler ve yerli ürünlerin adaptasyonu üzerinde özelleşmektedirler.

Bilgisayar sektörünün Durumu:
Bilgi Teknolojisi endüstriyel ve ticari hareketlerin yaklaşık olarak %5' ine sahiptir. Şirketler genellikle gelirlerinin %1' den azını bilgi teknolojisine harcamaktadırlar.

Macaristan pazarına PC ve yazıcılar hakimdir. 1996' da yaklaşık olarak 120 bin PC ve 7500 diz üstü (laptop) bilgisayar satılmıştır. 1997' de bilgi teknolojisi cihazlarının satışı %(9-10) artacaktır. Yazılım ve bilgisayar teknolojisine olan ilgi artmaktadır.

Macaristan Bilgi Teknolojisi yatırımı ve giderleri tablolarda verilmiştir.

**Tablo 3. 60. Macaristan Bilgi Teknolojisi yatırımı [27]**

| Bilgi Teknolojisi | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 tahmin | 1998 tahmin |
|---|---|---|---|---|---|
| Yatırım (Milyon ECU) | 599 | 565 | 610 | 677 | 734 |

PC pazarında Albacomp ve Compaq en önemli destekçi iken, yüksek kapasiteli Alpha işlemcili Dijital' in bilgisayarları ve süper sunucu ile multi-işlemci sistemli bilgisayar alanında Compaq ve HP' in bilgisayarları yaygın kullanıma sahiptir.

**Tablo 3. 61. Macaristan Bilgi Teknolojisi giderleri [27]**

| Bilgi Teknolojisi(Milyon ECU) | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 tahmin | 1998 tahmin |
|---|---|---|---|---|---|
| Bilgisayar Donanım | 333 | 272 | 288 | 320 | 341 |
| Sunucu (büyük) | 19 | 0 | 3 | 11 | 4 |
| Sunucu (orta) | 28 | 21 | 21 | 24 | 25 |
| Sunucu (küçük) | 27 | 19 | 21 | 23 | 24 |
| İş istasyonu | 10 | 7 | 8 | 10 | 11 |
| Taşınabilir PC | 20 | 16 | 18 | 19 | 24 |
| Masa üstü PC | 174 | 159 | 168 | 180 | 194 |
| PC-yazıcı | 55 | 48 | 49 | 53 | 59 |
| Yazılım | 84 | 93 | 99 | 105 | 114 |
| Sistem yazılımı | 38 | 42 | 44 | 47 | 51 |
| Kullanıcı yazılımı | 46 | 51 | 55 | 58 | 63 |
| Bakım servisi | 120 | 135 | 154 | 177 | 200 |
| Bilgi haberleşme yatırımı | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Ofis desteği | 50 | 52 | 56 | 59 | 64 |
| TOPLAM | 599 | 565 | 610 | 677 | 734 |

1989' den beri uluslar arası bilgi teknolojisi şirketleri Macaristan'daki ofislerini ve dağıtım ajandalarını kurmuşlardır. Bugün Macaristan' da bilgisayar teknolojisi alanında 15 firma 100 çalışana ve 100 firma 20-100 çalışana sahiptir.

En büyük donanım ve yazılım firmaları: .Albacomp, Compaq, IBM (1936' da Macaristan' da kuruldu), Digital, HP, Olivetti, Graphisoft, AST, Computer 2000, CSH, HRP, Muszertechnika, Microsoft, Novell, Oracle, Synergon, Montana, KFKI Szamitastechnikai Rt., Slicon Graphics, ICL, Walton, SZÜV, Scala, SAP, Recognita, Ikon, Areco Systems, Informix, Lotus, Sun, 3M, Bull, Ingres, Siemens, Psion, Kerszöv ve Morphology' dır.

Yerli program üretiminde Graphisoft ArchiCAD, TopCAD ve PlotMaker programlarını dünyaya satmaktadır. Graphisoft' un Almanya, ABD, Japonya, Hong Kong, İngiltere ve İspanyada temsilcilikleri vardır. 1996 bütçesi 17.5 milyon Dolar(ABD) dır.

Macaristan Bilgisayar Teknolojisinde Yabancı Firmaların İmkanları:
Macaristan' a Yabancı yatırımcıları cezbeden ana neden yüksek eğitimli iş gücüdür. Bununla birlikte, yazılım gelişimi ve servis alanı oldukça avantajlı görünmektedir. Gelişmiş ülkelere göre maaşlar düşüktür. Yabancı yatırımcılara yapılacak indirim ve alt yapı geliştirme bu cazibeyi artırabilir.

Yüksek kaliteli iş gücü tabanlı donanım üretimi Macaristan' da ileri imkanlara sahiptir. Yerli üretimde yerli pazar talebi ile birlikte Doğu-Avrupa talebi de göz önüne alınmalıdır. Elektronik eğlence ve medya endüstrisi Macaristan' da henüz yeni başlamıştır. Bu alanda komşu ülkelerde olduğu gibi Macaristan'da da önemli gelişmeler beklenmektedir. [27]

### 3.2.7 Çek Cumhuriyeti Elektronik Endüstrisi

Çek Cumhuriyeti elektronik endüstrisi üretimi üç bölümden oluşmaktadır:

i. Elektronik valf, tüp ve diğer elemanların üretimi
ii. TV ve radyo vericisi, telefon, telgraf ve parçalarının üretimi
iii. TV ve radyo alıcısı, ses ve görüntü kaydedicileri

1997 ürün ve servis satış payları tüketici elektronik %18, haberleşme teknolojisi %34 ve elektronik eleman %48dir.

Elektronik eleman üretimi ekonomik geçiş çerçevesinde özelleştirilmiştir. En büyük üreticiler AVX CZ ve TESLA; Lanskroun, TEROSİL ve TCT; Roznov pod Radhostem, UNIT Expert; Prelouc, PCB; Benesov Praha, TESLA Vrsovice; Praha ve TESLA; Jihlava dır.

Haberleşme teknolojisindeki önemli üreticiler TESLA Karlin, TESLA Praha, TESLA Telekomunikace, Siemens Telekomunikace ve Telekominikacni montaze Praha' dır.

Tüketici elektroniğinin büyük bir kısmını renkli TV ve radyo alıcıları, ses kaydetme cihazları, video ve video kameralar oluşturur. Gerçekte renkli TV montajı dışında, Çek Cumhuriyetinde üretim yapılmamaktadır. Matsushita Electric Industrial şirketi Plzen' de kurduğu fabrikada yılda 1.2 milyon renkli TV montaj etmektedir. Bu fabrika tüketici elektronik alanındaki en büyük yabancı yatırımcıdır.

1996' da ürün ve servis satışı, ek değer, çalışan sayısı ve her bir girişimci grup büyüklüğüne göre payları tabloda verilmiştir.

**Tablo 3. 62. 1996 girişimci grup büyüklüğüne göre ana üretim göstergeleri [28]**

| Milyon CZK/kişi | 0-9 | 10-49 | 50-249 | 250-999 | 1000 den fazla |
|---|---|---|---|---|---|
| Ürün ve servis satışı | 1.472 | 2.540 | 5.068 | 4.746 | 1.068 |
| Değer ekli | 411 | 862 | 1.350 | 1.657 | 500 |
| Çalışan sayısı | 1.671 | 3.284 | 5.826 | 9.109 | 3.051 |

**Tablo 3. 63. 1994-1997' de ana üretim gelişiminin göstergeleri [28]**

| Milyon CZK,kişi | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|---|---|---|---|---|
| Üretim(fiyat) | 9.585 | 12.817 | 15.299 | 15.187 |
| Değer ekli(fiyat) | 3.167 | 3.867 | 4.780 | 4.834 |
| Çalışan sayısı | 27.612 | 24.271 | 22.941 | 23.518 |

**Tablo 3. 64. 1994-1997' de çalışan üretkenliğinin gelişimi [28]**

| Bin CZK/çalışan | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|---|---|---|---|---|
| Üretimde değer ekli payı | 0,330 | 0,303 | 0,312 | 0,318 |
| Çalışan üretkenliği(sabit fiyatlı) | 347,1 | 512,7 | 626,8 | 587,0 |
| Çalışan üretkenliği(değişken fiyatlı) | 114,7 | 160,1 | 208,4 | 205,5 |

**Tablo 3. 65. 1994-1997 Ev ürünleri tüketimi [28]**

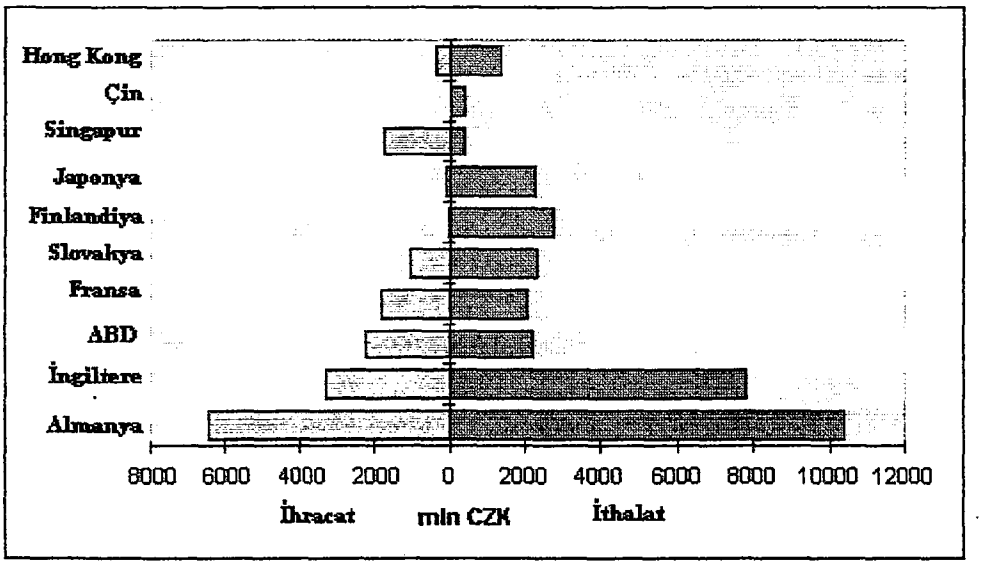
| Milyon CZK | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 tahmin |
|---|---|---|---|---|---|
| Ev ürünleri tüketimi (değişken fiyat) | 20.378 | 26.261 | 39.714 | 39.263 | 40150 |
| Ev ürünleri tüketimi (sabit fiyat) | 20.378 | 25.496 | 37.326 | 35.688 | 36313 |
| Yıllık sabit fiyat indeksi | x | 125,1 | 146,4 | 95,6 | 101,8 |
| Sabit fiyatlarda toplam indeks | 100,0 | 125,1 | 183,2 | 175,1 | 178,2 |

**Tablo 3. 66. 1995-1998' de ithalat ve ihracat gelişimi [28]**

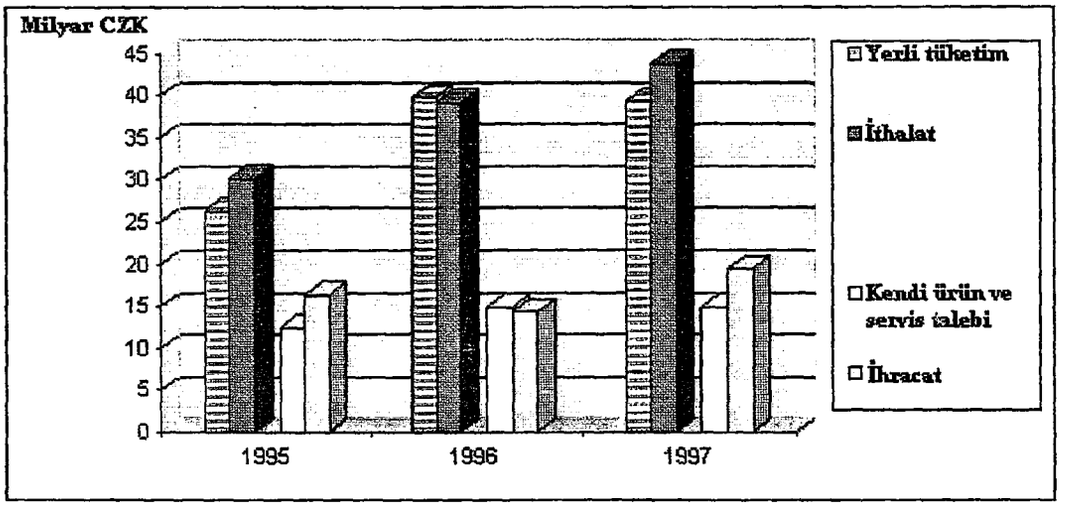
| Milyon CZK | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 tahmin |
|---|---|---|---|---|
| Sabit değerli ihracat | 16.316 | 14.328 | 19.376 | 15.956 |
| Sabit değerli ithalat | 30.210 | 39.149 | 43.797 | 32.860 |
| Ticaret dengesi | -13.894,0 | -24.821,0 | -24.421,0 | -16.903,0 |

Elektronik eleman, haberleşme cihazları ve tüketici elektronik ithalatı sürekli olarak ihracattan daha yüksektir. Ev ürünleri kapasitesi, pazar gereklilikleri ve yatırım imkanlarından dolayı, yakın gelecekte ticaret açığının kapanması beklenmemektedir. En fazla ithal edilen ürünler telefon için elektrik cihazları (%12), radyo-telefon aparatları (%8), elektrik kondansatörü (%14), tümdevreler (%10) ve düz bağlama elemanları (flat coupling) (%5)dır. En fazla ihraç edilen ürünler ise elektrik kondansatörü (%39), kablolu telefon için elektrik cihazları (%11), düz bağlama elemanları (%10), tümdevre ve mikroişlemciler (%10) ve TV ekranları (%6)dır. Çek Cumhuriyetinin elektronik eleman ve haberleşme cihazları ürünlerinin en büyük müşterileri Almanya, İngiltere ve ABD' dır.

**Grafik 3. 57. 1997 Yabancı ticaret dağılımı(CZK:Çek Cumhuriyeti) [28]**



**Grafik 3. 58. 1995-1997 İç ve dış talep gelişimi(CZK:Çek Cumhuriyeti) [28]**




EUROSTAT istatistiğine göre 1996 CEFTA ihracatının %16.6' sı Çek Cumhuriyetine aittir. İhracatın öncülüğünü elektronik eleman, renkli TV ve düz bağlama elemanları yapmaktadır. 1994-1997' de Avrupa Birliği ülkelerine yapılan ihracat ve bu ihracattaki Çek Cumhuriyetinin payı (CEFTA içinde) tabloda verilmiştir.

**Tablo 3. 67. 1994-1997' de Avrupa Birliği ülkelerine yapılan ihracat gelişimi [28]**

| İhracat(Bin ECU, %) | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|---|---|---|---|---|
| CEFTA dan | 438.224 | 770.163 | 1.197.334 | 847.486 |
| Yıllık indeks | x | 175,4 | 155,5 | 165,4 |
| Çek Cumhuriyetinden | 106.769 | 169.019 | 199.425 | 113.023 |
| Yıllık indeks | x | 158,2 | 117,8 | 117,6 |

Uluslar arası şirketler kaliteli iş gücüne ve avantajlı konuma sahip ülkelerde üretim yapmak için iş birliği yoluna gitmişlerdir.

Çek Cumhuriyeti yasaları ile Avrupa Birliğine tam uyumu sayesinde Avrupa Birliğinin şartları sağlanmış olunacaktır.

Avrupa Birliği sayesinde Çek Cumhuriyetindeki üreticiler çevre şartlarına rağmen, negatif etkilerden kurtulacaktır. [28]

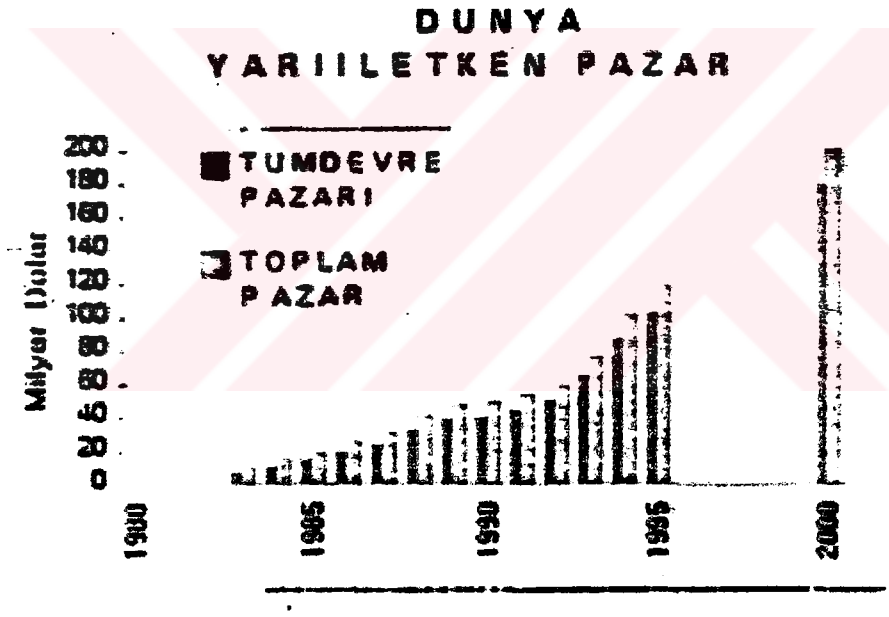
# BÖLÜM 4 MİKROELEKTRONİK ENDÜSTRİSİ

## Giriş

Dünya elektronik sanayi pazarı 90lı yılların başından bu yana ortalama %12'lik bir artış göstererek 1994 yılı itibariyle yaklaşık olarak 1.1 trilyon Dolara (ABD) ulaşmış olup, makine ve otomobil gibi sanayi sektörlerini geride bırakarak dünyanın bir numaralı pazarı konumuna gelmiştir. Türkiye açısından bakıldığında ise tam bir elektronik endüstrisinden söz etmek mümkün değildir. Mikroelektronik alanındaki çalışmalar ise bazı özel şirketler ve bazı üniversitelerle sınırlı kalmaktadır.

1980'li yılların başından itibaren ağırlıklı olarak silisyum tümdevre üretimine yönelen yarıiletken pazarı 1994 yılında 100 milyar Doları (ABD) aşmış olup 2000'li yılların başında 200 milyar Dolara (ABD) ulaşması beklenmektedir. 1993 ve 1994 yıllarında ortalama artış %30lar düzeyinde olmuştur. Yarıiletken pazarının %85'ini oluşturan tümdevre (IC) payının asrın sonunda %90lara ulaşması beklenmektedir.

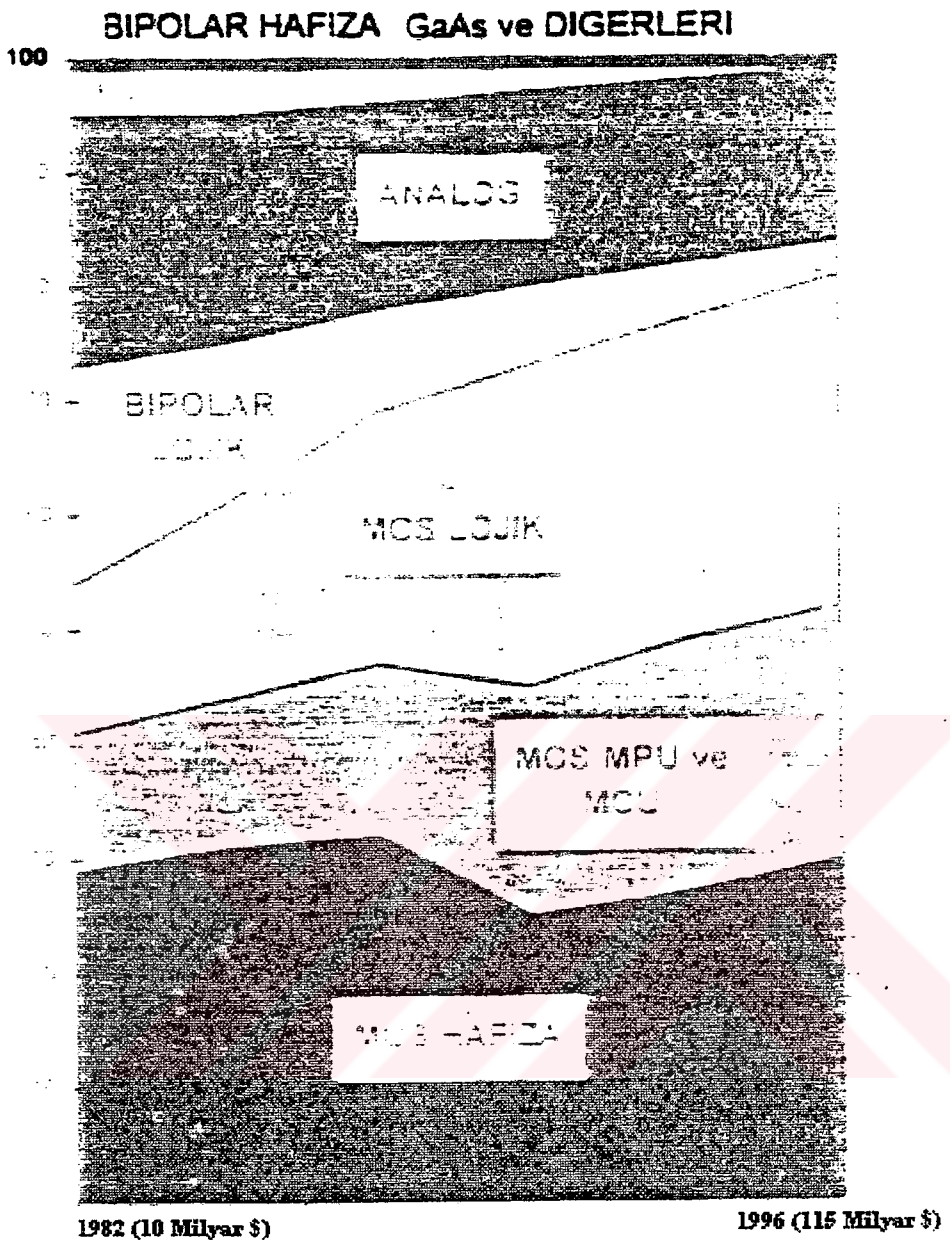
Elektronik sanayinin itici gücünü mikroelektronik endüstrisi oluşturmaktadır. Şekil 4.1'de dünya yarıiletken ve tümdevre (IC) pazarının gelişimi görülmektedir.




**Şekil 4. 1 Dünya yarıiletken ve tümdevre pazarlarının yıllara göre değişimi [29]**

%30 düzeyinde pazar payını oluşturan MOS-bellek ve özellikle %20lik pazar payı ile DRAM, yarıiletken teknolojisinin boyut ve tümleştirme yoğunluğu açısından öncü rolünü üstlenmektedir. Şekil 4.3'de tümdevrelerdeki gelişimin kullanılan teknoloji açısından değişimi verilmektedir. 1980'li yılların başından itibaren ağırlık, bipolar teknolojisinden MOS ve özellikle CMOS yapı olarak bilinen PMOS ve NMOS elemanlarının kullanıldığı CMOS teknolojisine kaymıştır. Bipolar teknolojisinin yarıiletken pazarındaki payı, gelecekte %10lar düzeyinde doyma eğilimi göstermektedir.

Dünya ticari tümdevre pazarının ürünler açısından dağılımı Şekil 4.2' de görülmektedir.

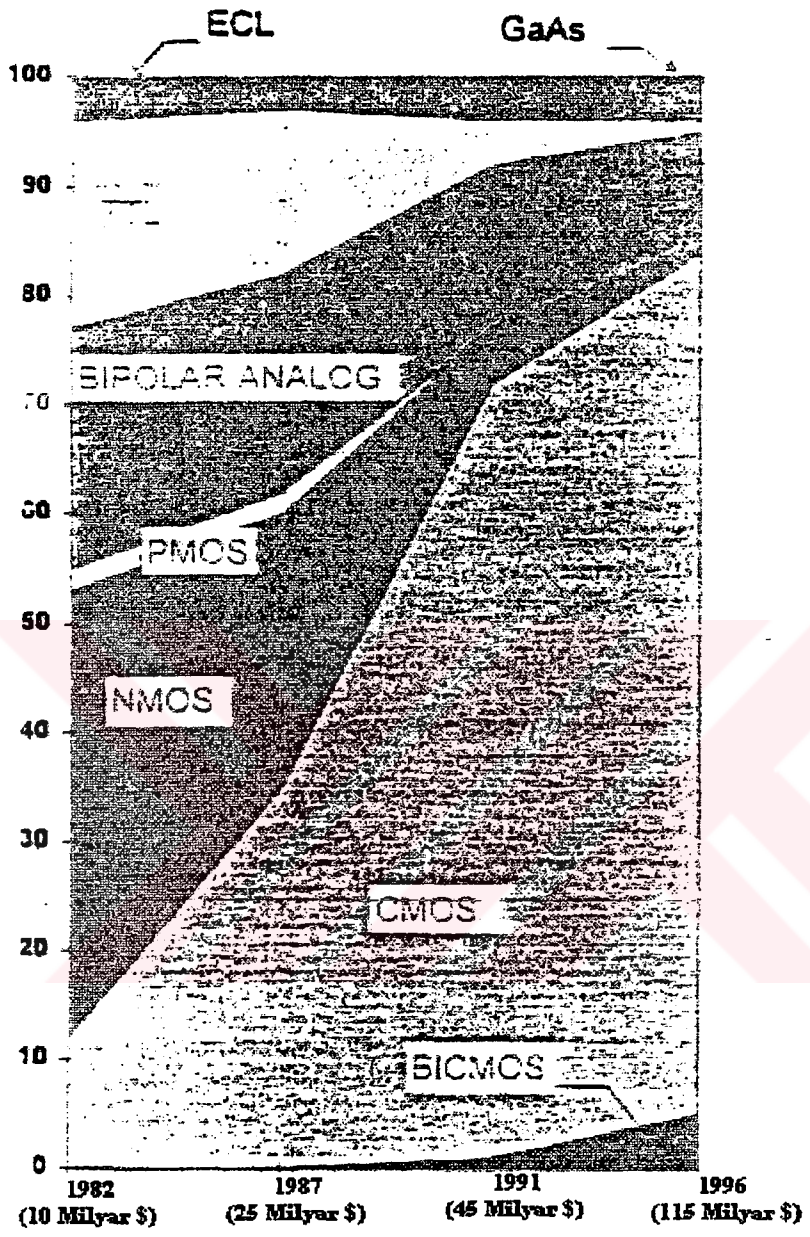



**Şekil 4. 2 Dünya ticari tümdevre pazarının ürünler açısından dağılımı [29]**

Teknolojik Gelişme:

Tümdevre teknolojisi 1960'lı yılların başında bipolar analog devrelerin üretimi ile başlamıştır. 1970'te yoğunluğu 1Kbit olan PMOS teknolojisiyle üretilen bellekler INTEL tarafından piyasaya sürülmüştür. 1968 yılında Denard farafından bulunan tek transistorlu DRAM hücre yapısının kullanıldığı 4Kbit bellekler 1972 yılında aynı firma tarafından üretilmiş ve minimum 8 μm boyutlu teknoloji kullanılmıştır. 1970'li yılların ortalarında başlayan bir silisyum kırmığı (chip) üzerine en küçük boyutlu ve en yüksek yoğunluklu devre oluşturma yarışı devam etmektedir. Teknolojinin öncülüğünü ise periyodik bir yapı ve yüksek pazar payı ile DRAMlar yapmaktadır. Tablo 4.1' de DRAMların bellek kapasiteleri ve minimum desen

boyutunun (NMOS yapısının kanal uzunluğu) yıllara göre gelişimi ve öngörülen gelişme süreci özetlenmiştir.




**Şekil 4. 3 Kullanılan teknoloji açısından dünya pazarının zaman içinde değişimi [29]**

**Tablo 4. 1 DRAM kırmıklarında bellek kapasitesi ve minimum boyutun yıllara göre değişimi [29]**

| **Yıl** | **1976** | **1980** | **1983** | **1986** | **1989** | **1992** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bellek Kapasitesi | 16K | 64K | 256K | 1M | 4M | 16M |
| Min Boyut (Mikrometre) | 5 | 2 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,5 |
| **Yıl** | **1995** | **1998** | **2001** | **2004** | **2007** | **2010** |
| Bellek Kapasitesi | 64M | 256M | 1G | 4G | 16G | 64G |
| Min Boyut (Mikrometre) | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,13 | 0,1 | 0,07 |

Kırmık alanı, 16Kbit DRAMlar için 16 $mm^2$ 'ye, 64Mbit için 190 $mm^2$ 'ye genişlemiştir. 64Gbit için 1400 $mm^2$ olacağı tahmin edilmektedir. Bunun doğal sonucu olarak Si-pul çapları günümüz teknolojisindeki 150-200 mm den gelecekte 300-400 mm' ye ulaşacaktır. Buna paralel olarak üretim teknolojilerinde yeni yöntemlerin geliştirilmesi, yeni cihazların üretilmesi ve uygun malzemelerin kullanılması zorunlu olacaktır.

Silisyum Tümdevre Teknolojisi:
Tümdevre teknolojisi tasarım ve üretim olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Tasarım teknolojisi teknoloji seçimine bağlı olarak (NMOS, BIPOLAR, CMOS, BICMOS) mevcut devre elemanları ve devre bloklarına ait bilgisayar ortamında depolanmış verileri kullanarak uygun yazılımlarla istenen devrenin; a)tasarlanması, b)devre simülasyonunun yapılması, c)kırmık üzerine yerleşim planlarının hazırlanması (layout), d)bağlantı kapasite ve dirençlerini de kapsayan ikinci bir simülasyonun yapılmasından oluşmaktadır. Üretim teknolojisi ise yerleşim planlarına göre üretilmiş maskeler yardımıyla Si pul (wafer) üzerine selektif ve ardışıl olarak uygulanan a)oksitleme, b)katkılama, c)katman oluşturma, d)katman aşındırma ve e)litografi işlemlerinden oluşmaktadır. Oksitleme, Si pulun oksijen veya su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta doğrudan oksitlenmesidir. Katkılama, Si taban malzemesinin iletkenlik değişimini sağlamak amacıyla iyon ekme ve difüzyon yöntemleri ile yabancı atomlarla (B, P, As) katkılanması olarak tanımlanmaktadır. Katman oluşturma, Si-pul üzerinde CVD veya PVD yöntemleri ile istenen katmanların oluşturulması süreçlerini içermektedir.

Si tümdevre teknolojisinde kullanılan temel katmanlar yalıtım, maskeleme ve pasivasyon amaçlı kullanılan $SiO_2$ ve $Si_3N_4$ katmanları, geçit malzemesi olarak kullanılan polisilisyum, kontak ve bağlantı iletkeni olarak kullanılan Al' dur. Katman aşındırma, katmanların sıvı kimyasal malzemeler kullanılarak (ıslak aşındırma) veya plazma ortamında tutularak (kuru aşındırma) selektif olarak alt katmana kadar aşındırılması işlemini kapsamaktadır .Litografi yukarıda belirtilen bu süreçlerin selektif olarak gerçeklenmesi, diğer bir deyimle istenen desenlerin Si-pul yüzeyinde oluşturulması için kullanılan süreçtir. Bu amaçla Si-pul fotorezistle kaplanır, adım hizalayıcı (stepper) ile öngörülen maske kullanılarak ışıklandırılır ve banyo edilerek rezist üzerinde istenilen desen oluşturulmuş olur. Üretim sürecinde kullanılan maske sayısı teknoloji seçimine bağlı olarak 6-18 arasında değişmektedir. Süreç adımlarının sayısı 400lere kadar çıkmaktadır. Pul üzerinde oluşturulan tümdevreler test edildikten ve çalışmayanlar işaretlendikten sonra kesilir ve kılıflanır. Kılıflama sonrası tekrar test edilen tümdevreler piyasaya sürülür. [29]

## 4.1 ABD Mikroelektronik Sanayi

WSTS (Wold Semiconductor Trade Statistics:WSTS):

WSTS Sponsor organizasyonları;

i. SIA (Semiconductor Industry Association)
ii. EIAJ (The Electronic Industries Association of Japan)
iii. EECA (European Electronic Component Manufacturers Association )
iv. KSIA (Korea Semiconductor Industry Association )
v. TSIA (Taiwan Semiconductor Industry Association )

WSTS istatistiklerine göre dünya yarıiletken pazarı 1998-1999' da 15.6 % artacak ve 145.2 milyar Dolar(ABD) a ulaşacaktır. Bahar 1999 tahmini 12.6% idi.

a. 1999 ikinci yarısında 1999 birinci yarısına göre 16.2% büyüyecektir.
b. 2000' de dünya büyümesi 18.7% ve toplam pazar 172.3 milyar Dolar (ABD) olacaktır. 2000' de en hızlı büyüme MOS bellek, MOS lojik ve MOS mikroişlemcilerde olacaktır. Bölge olarak Asya-Pasifik dünya ortalamasından daha hızlı gelişecek. Bununla rağmen, Japonya, Avrupa ve Amerika dünya ortalamasından daha yavaş büyüyecektir.
c. 1999-2002' de tüm dünya yarıiletken pazarı 15.5% büyüyecektir. [30]

**Tablo 4. 2 Dünya yarıiletken pazarı [30]**

| | | Milyar$(ABD) | | | %Büyüme | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1998 | 1999 | 2000 | 98/97 | 99/98 | 00/99 |
| Amerika | 41,4 | 47 | 55,3 | -9,6 | 13,5 | 17,7 |
| Avrupa | 29,4 | 31,4 | 37 | 1,1 | 6,6 | 18,1 |
| Japonya | 25,9 | 31,7 | 37,5 | -19,2 | 22,4 | 18,1 |
| Asya Pasifik | 28,9 | 35 | 42,4 | -4,4 | 21,5 | 21 |
| Tüm Dünya | 125,6 | 145,2 | 172,3 | -8,4 | 15,6 | 18,7 |
| Ayrık | 11,9 | 13 | 14,5 | -9,4 | 9,2 | 11,6 |
| Optoelektronik | 4,6 | 5,6 | 6,5 | 2,5 | 20,6 | 16,7 |
| Bipolar Dijital | 1,1 | 1 | 0,9 | -31 | -6,6 | -8,8 |
| Analog | 19,1 | 21,2 | 24,8 | -3,6 | 11,2 | 17 |
| MOS Mikro | 47,3 | 51,4 | 60,8 | -0,9 | 8,5 | 18,4 |
| MOS Lojik | 18,6 | 22,8 | 27 | -11,8 | 22,6 | 18,8 |
| MOS Bellek | 23 | 30,2 | 37,7 | -21,6 | 31,5 | 24,6 |
| Toplam Yarıiletken | 125,6 | 145,2 | 172,3 | -8,4 | 15,6 | 18,7 |

**Tablo 4. 3 Tümdevre Pul Fabrikasyon Kapasitesi [31]**

| Yıl (çeyrek) | 1997 | | 1998 | | | | 1999 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Haftalık İşlenen Pul Sayısı*1000 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| MOS >0,7&mikro; | 567,9 | 557,5 | 545,9 | 552,2 | 535,8 | 499,6 | 474,1 | 486,2 | 483 |
| MOS <0,7&mikro | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MOS >(0,4-0,7)&mikro | 461,7 | 464,1 | 436,7 | 414,7 | 384 | 348,2 | 349 | 363,1 | 360 |
| MOS <0,4&mikro | 420,3 | 438,7 | 489,5 | 548,9 | 607,2 | 641,2 | - | - | - |
| MOS <(0,4-0,3)&mikro | - | - | - | - | - | - | 352,1 | 350,9 | 344,3 |
| MOS <0,3&mikro | - | - | - | - | - | - | 290,6 | 321,5 | 358,1 |
| MOS Toplam | 1450 | 1460 | 1472 | 1516 | 1527 | 1489 | 1466 | 1522 | 1545 |
| 8 inch pul MOS toplam | 345,9 | 362,7 | 370,3 | 385,6 | 433,9 | 441,8 | 432,9 | 472,3 | 475,5 |
| Bipolar (5 inch eşdeğerleri) | 328,5 | 342,3 | 349,4 | 337,4 | 360,1 | 339,9 | 297,3 | 305,5 | 299,5 |

**Tablo 4. 4 Tümdevre Pul Fabrikasyon Kullanımı [31]**

| Yıl (çeyrek) | 1997 | | 1998 | | | | 1999 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yüzde | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| MOS >0,7&mikro; | 92,6 | 91,6 | 90,6 | 85,3 | 80,8 | 79,1 | 82,9 | 88,4 | 92,1 |
| MOS <0,7&mikro | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MOS >(0,4-0,7)&mikro | 93,8 | 92,6 | 84,5 | 80,6 | 72,2 | 75 | 78,7 | 84,5 | 87,2 |
| MOS <0,4&mikro | 94,9 | 96,5 | 94,8 | 91,9 | 88,2 | 90,2 | - | - | - |
| MOS <(0,4-0,3)&mikro | - | - | - | - | - | - | 91,1 | 94,1 | 90,4 |
| MOS <0,3&mikro | - | - | - | - | - | - | 93 | 93,6 | 96 |
| MOS Toplam | 93,7 | 93,4 | 90,2 | 86,4 | 81,6 | 82,9 | 85,9 | 89,9 | 91,5 |
| 8 inch pul MOS toplam | - | - | 93 | 88,9 | 86,9 | 89 | 92,6 | 92 | 91,6 |
| <8 inch pul MOS toplam | - | - | 87,9 | 84,3 | 76,1 | 76,2 | 78,4 | 87,3 | 91,3 |
| Bipolar | 86,7 | 87,8 | 86,1 | 84,5 | 76 | 74,1 | 74,4 | 83,5 | 86,3 |
| TOPLAM TÜMDEVRE | 92,7 | 92,6 | 89,6 | 86,1 | 80,8 | 81,7 | 84,5 | 89,1 | 90,8 |

SIA (Semiconductor Industry Association):
Yarıiletken endüstrisi ülke ekonomisi ve askeri güvenlik için vazgeçilmezdir. Yarıiletken teknolojisi 400 milyar Dolar (ABD) kapasiteye ve 2.5 milyon işçiye sahip ABD elektronik endüstrisinde yükselen bir teknolojidir.

Sık olarak **"bilgi çağının ham petrolü"** olarak adlandırılır. Yarıiletken endüstrisinde 1980' e kadar ABD üretici şirketleri önde iken yabancı endüstri talepleri ve illegal indirimler ABD endüstri marketini eritmiştir. ABD şirketleri ancak 1990larda yeniden dünya lideri olmuşlardır.
SIA, ABD yarıiletken üreticilerini temsil etmektedir. 1977' de Robert Noyce (Intel Corporation) ve dört meslektaşı tarafından kurulmuştur: Wilfred Corrigan (LSI Logic

Corporation); Charles Sporck (National Semiconductor Corporation); W. J. Sanders III (Advanced Micro Devices); ve John Welty (Motorola, Incorporated). SIA, ABD yarıiletken liderliğini etkileyen ekonomik ve politik faktörleri ortaya koymak için kurulmuştur.

Organizasyonun iki ana hedefi vardır:

i. ABD yarıiletken endüstri ticareti, teknolojisi ve ekonomik politikaları konusunda yabancılara platform sağlamak,
ii. Genel konularda etkili çözümler sağlamak için endüstri hareketlerini idare etmek ve ABD yarıiletken endüstrini tehdit edenlere cevap vermektir.

SIA' nın kurduğu iki üye organizasyon SRC (Semiconductor Research Corporation: SRC) ve SEMATECH (SEmiconductor MAnufacturing TECHnology: SEMATECH) yarıiletken endüstrisinin araştırma ve üretimi konularında faaliyet göstermektedirler.

SRC, Research Triangle Park, North Carolina Üniversitesinde 1982' de SIA tarafından kurulmuştur. Endüstri destekli SRC, ABD üniversitelerine yarıiletken araştırma konusunda kaynak ve yönlendirme desteği vermektedir.

SEMATECH, 1987' de SIA tarafından ABD yarıiletken üretim teknolojisinin rekabet gücünü artırmak için kurulmuştur. Austin, Texas konsorsiyumu üye şirket fonları ile ileri üretim araştırma ve geliştirme çalışmalarını yürütmektedir.

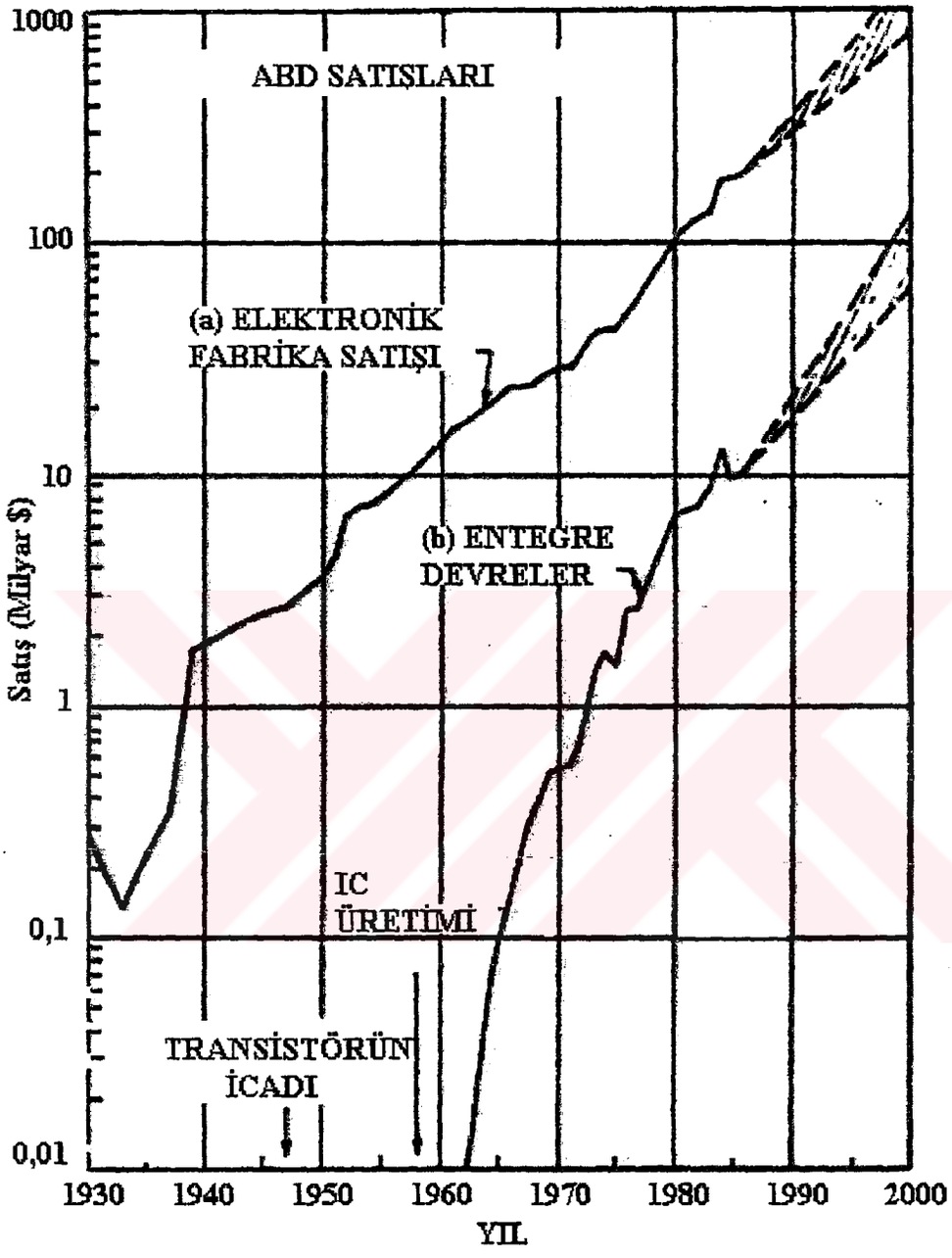
SIA üye şirketlere tekliflerinde destek vermektedir. Bundan dolayı, SIA program ve aktiviteleri üyeler tarafından belirlenmektedir. [32]

Son yıllarda ABD'de elektronik endüstrisi hızlı bir şekilde gelişmiştir. 1960'dan beri fabrika satışı 15 kat artmıştır. 1986'da elektronik satışı 20 milyar Dolar (ABD) iken yılda %12'lik artış ile 2000 yılında 1 trilyon Dolar (ABD) olacaktır. Tümdevre (IC) pazarı elektronik satış oranından daha hızlı artmaktadır (Şekil 4.4.b). ABD'de IC satışları 1986'da 11 milyar Dolar (ABD) iken yılda %16'lık artış ile 2000 yılında 90 milyar Dolar (ABD) olacaktır. Bu hızlı artışın nedeni elektronik ürünlerin artması ve tümdevrelerdeki teknolojik gelişmelerdir. Dünya elektronik pazarı (yaklaşık olarak ABD pazarının iki katı) benzer oranda artmaktadır ve 2000 yılında otomobil, kimya ve çelik endüstrisini de geçecektir. Şekil 4.5, ana IC gruplarının satışlarını ve bu satışların son yıllardaki değişimini göstermektedir. 1960larda IC pazarı bipolar transistora dayanmaktaydı. 1975'den sonra dijital MOS ICler çıkmıştır. Günümüzde bipolar transistorların hız avantajı olmasına rağmen, MOSFETler ikinci alternatiftir. Eleman küçültülmesi, düşük güç harcaması ve yüksek verim avantajları ile 2000 yılında dijital MOS ICler IC pazarında öne geçip yarıiletken pazarında büyük bir paya sahip olacaktır.

Eleman Küçültülmesi:
IC karışıklığı SSI' dan VLSI' ya doğru artmaktadır. Son yıllarda kırmık tanımlama, tasarlama ve işleme zorluklarından dolayı bu büyüme oranı yavaşlasa bile 2000 yılında bir kırmıkta 100 milyon eleman olacaktır.

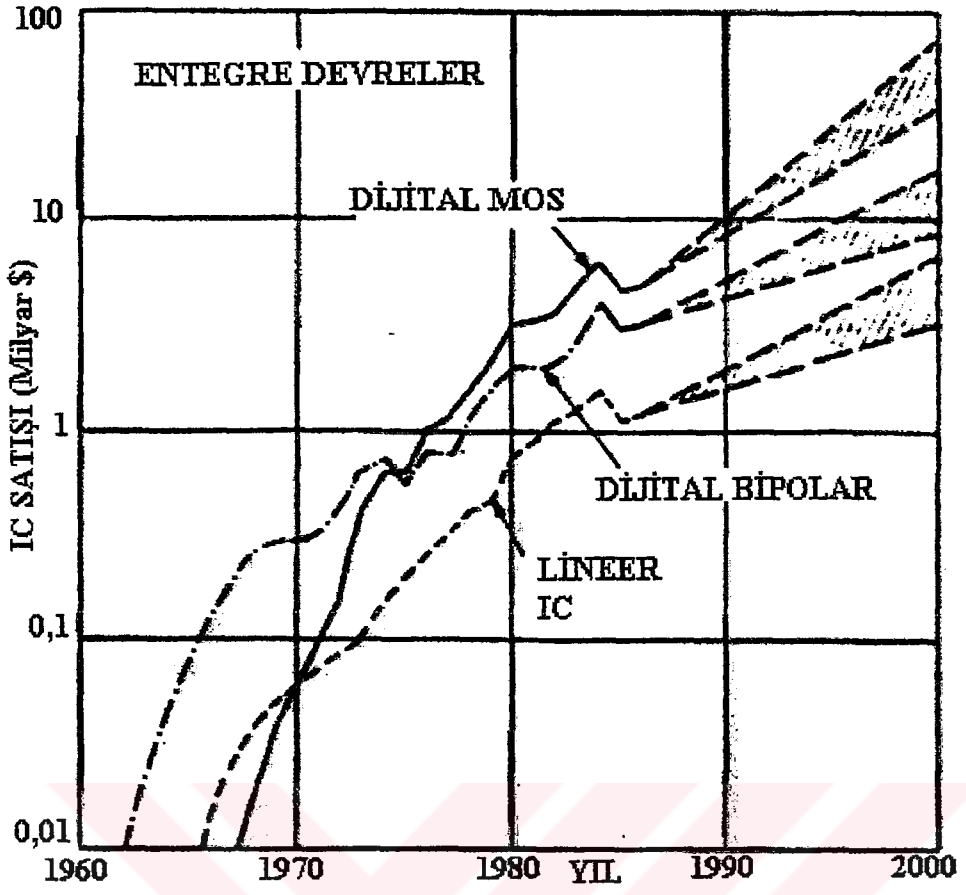
Böyle güçlüğü başarmanın en önemli faktörü eleman boyutunun 1960'dan beri yıllık %13 küçültülmesidir. Bununla birlikte, bu orandaki alan uzunluğu 1 μm iken 2000 yılında 0.1 μm olacaktır.

Eleman küçültülmesi fonksiyon masrafını azaltırken performansı artırır. RAM belleklerde her iki yılda bellek bit masrafı yarı yarıya düşmektedir. 2000 yılında 64Mbit bellek kırmığının bit maliyeti 0.1 mili sentten az olacaktır. Benzer maliyet düşüşü lojik IClerde de beklenmektedir.



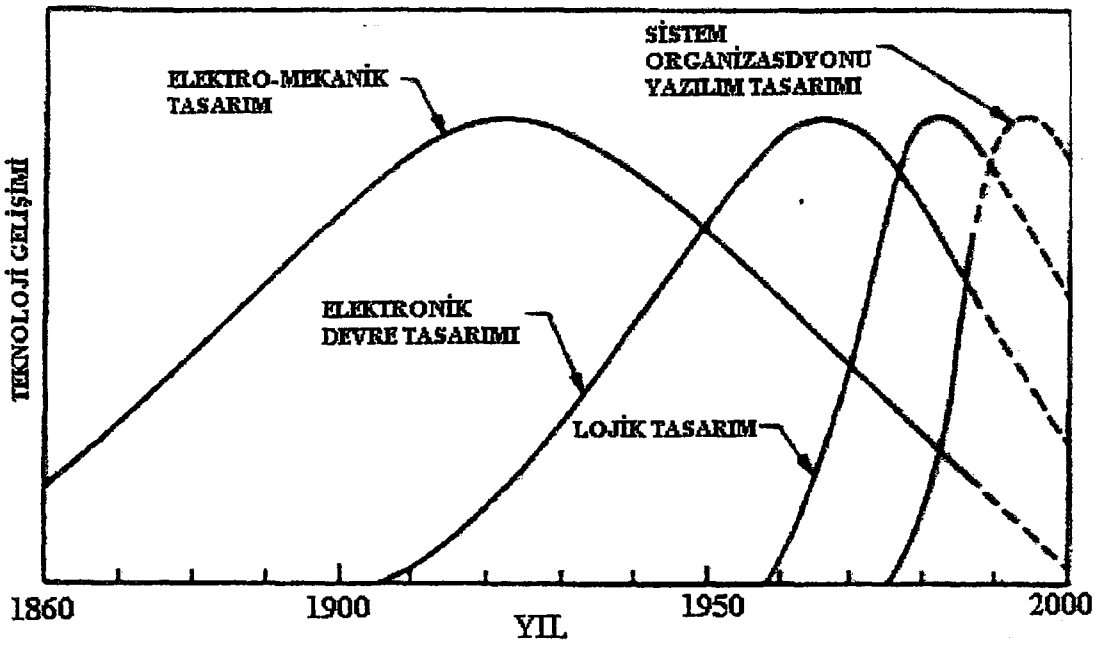

**Şekil 4. 4 ABD (a)elektronik fabrika satışı, (b)tümdevre pazarı [33]**

Eleman boyutu azaldıkça MOSFET anahtarlama zamanı da doğrusal olarak azalmaktadır. 1960'dan beri eleman hızı 4 kat geliştirilmiştir. Yüksek hız IC fonksiyon verimini artırmıştır. Gelecekte, dijital IClerin bilgi işleme, sayısal hesaplama ve sinyal işleme hızı +10Gbit/sn olacaktır. Küçültmenin diğer yararı güç harcaması azaltmasıdır. Eleman boyutu küçüldükçe daha az güç harcamaktadır. Bundan dolayı, anahtarlama enerjisi küçülmektedir. 1960'den beri lojik kapı enerji tüketimi 5 kat azalmıştır.




**Şekil 4. 5 ABD'deki IC grupların satışları [33]**

Bilgi Çağı:




**Şekil 4. 6 ABD elektronik endüstrisinin teknolojik değişimi [33]**

Şekil 4.6, ABD elektronik endüstrisinin değişim periyotlarını göstermektedir. Her bir periyot normal yaşam özelliği göstermektedir (oluşum, gelişim, doyum ve gerileme). 1906'da vakum tüpün gelişimi ve 1947'de transistorun icadı elektronik devre tasarım alanını açmıştır. 1958'de tümdevrelerin geliştirilmesi yeni lojik ailelerin oluşumuna neden olmuştur. 1975'den sonra VLSI' in başlaması, ICli sistem organizasyonu ve yazılım tasarımlarına ortam hazırlamıştır.

Konuşma analizi/hatırlama ve depolama devreleri gibi bir çok VLSI kırmıklı sistemler pazarın "**Bilgi Çağı**"nı yakalamak isteme talebinden doğmuştur. Bu çağda işlerimizin çoğu bilgi işçileri ile yapılmaktadır: toplama, üretme, işleme, dağıtma ve bilgiyi kullanma. 1906'den önce en büyük tek grup tarım idi. Sonraki periyotta 1950lerin ortalarına kadar baskın grup endüstri idi. Şimdi baskın grup bilgi işçileridir: Avrupa' da tüm işlerin %50'si ve Japonya' da ise tüm işlerin 40-45% 'i bilgi işçileri tarafından yapılmaktadır. Japonya oranının bu yüzyılın sonunda ise %50 olması beklenmektedir. VLSI' deki gelişmeler VLSI Bilgi Çağının anahtar teknolojisi olduğundan dünya ekonomisine derin bir etkisi vardır. [33]

## 4.2 Kanada Mikroelektronik Endüstrisi

Eleman sektörü endüstri ticaret istatistiklerine göre iki alt sektöre ayrılmaktadır. Yarıiletken ve baskılı devre.

**Tablo 4. 5. 1994 endüstri ticaret istatistikleri [23]**

| | İhracat | İthalat |
|---|---|---|
| Yarıiletken | 2,0 milyar Dolar (Kanada) | 6 milyar Dolar (Kanada) |
| Baskılı Devre | 0,6 milyar Dolar (Kanada) | 1,0 milyar Dolar (Kanada) |

Yarıiletken Endüstrisi:
Kanada mikroelektronik ve IC paketleme endüstrisi 1994-95' de 2.0 milyar Dolar (Kanada) ihracata sahiptir. Bu oran 1995' de 154 milyar Dolar (Kanada) olan dünya yarıiletken endüstrisinin çok küçük bir kısmıdır. Kanada' da bu endüstride 6.000 kişi çalışmaktadır.

Kanada' da tasarım, paketleme, aktif eleman üretimi yapan ve konu ile ilgili mühendislik imkanı sunan 50 şirket vardır. Ürün çeşitleri CMOS, Si bipolar IC, ASIC ve GaAs, optik emiter ve dedektörden oluşan çeşitli yarıiletken bileşimleri olarak sıralanabilir. Yarıiletken araştırma, geliştirme, tasarım ve fabrikasyon Ottawa bölgesinde yoğunlaşmıştır.

Yarıiletken üretiminin büyük bir kısmı iki telekomünikasyon firması NorTel ve Mitel tarafından gerçekleştirilmektedir. Nortel 100 milyon Dolar (Kanada) ve Mitel 1993' de 53 milyon Dolarlık (Kanada) yarıiletken üretimine sahiptir.

IBM Kanada tümdevre paketlemede dünya sınıfında olanaklara sahip iken Gennum Corporation ise sadece bipolar Si fabrikasyon olanaklarına sahiptir. Yaklaşık olarak Kanada IC üretiminin 2/3'ü Kanada' da kalanın %70' i de ihraç için üretilmektedir.

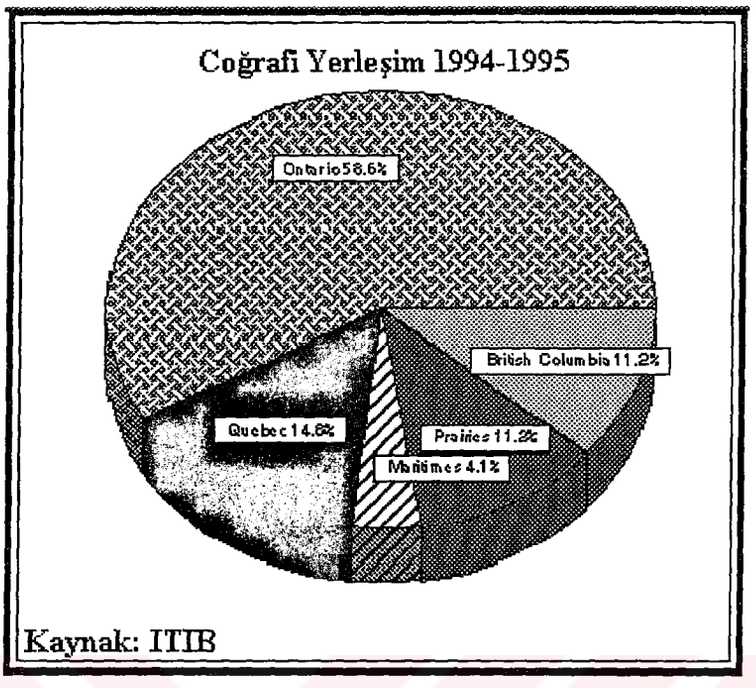
Kanada yarıiletken pul fabrikasyonunda üç şirket faaliyet göstermektedir. Mikron altı VLSI ile Northern Telecom, GaAs üretimi ile Bell Northern Research ve CMOS üretimi ile Mitel Semiconductor. Gennum Corporation ise sadece bipolar üretimi yapmaktadır.

Baskılı Devre:
Kanada şirketleri baskılı devre üretim spektrumunun tümünde faaaliyet göstermektedirler: tek yanlı, çift yanlı, çok tabakalı, fleks, ince ve kalın film seramik. Şirketler dünya sınıfında olanaklara sahiptirler. Kanada 1994 ihracatı 615 milyon Dolar (Kanada) ve ithalatı ise 926 milyon Dolar (Kanada) dır. ABD ithalatın %79' una sahipken Güney Kore, Hong Kong, Tayvan, Japonya ve Almanya ithalatın geri kalanını karşılamaktadır. İhracatın %98' i ABD' ye yapılmaktadır. Kalın ve ince film baskılı devreler 5 firma ve baskılı devre bordlar (Printed Circuit Boards:PCB) ise 40 firma tarafından yapılmaktadır.

**Tablo 4. 6. 1998 PCB üretimi [23]**

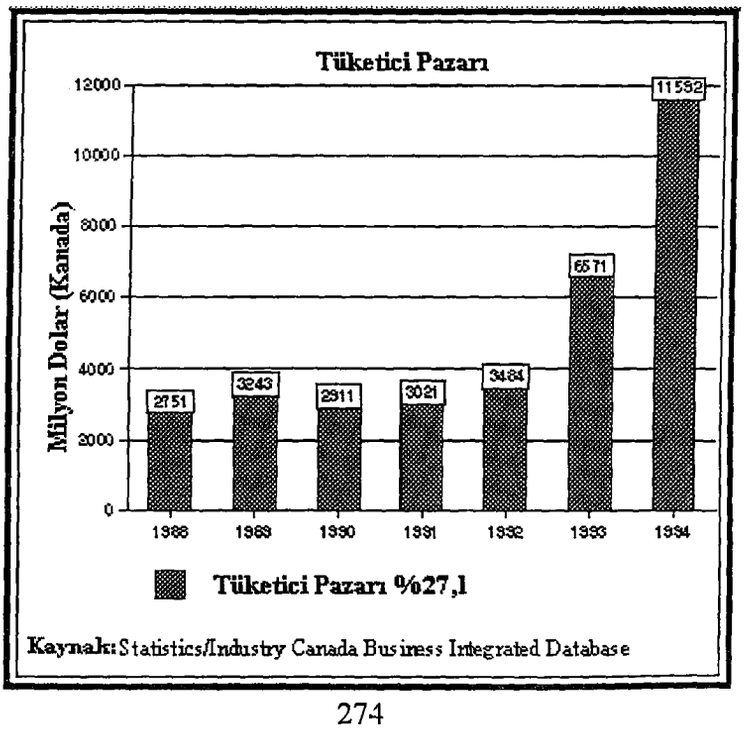
| Milyon Dolar(Kanada) | Kağıt&Bileşik | Cam epoksi | Kütle lam | Fleks | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|
| Batı Avrupa | 544 | 4.668 | 194 | 282 | 5.688 |
| Kuzey Amerika | 529 | 7.024 | 406 | 550 | 8.509 |
| Japonya | 2.415 | 5.062 | 578 | 1.062 | 9.117 |
| Güney-Doğu Asya | 868 | 3.263 | 156 | 161 | 4.448 |
| Diğer | 942 | 3.616 | 83 | 93 | 4.734 |
| Dünya | 5.298 | 23.633 | 1.417 | 2.148 | 32.496 |

**Grafik 4. 1. Kanada firmalarının coğrafi yerleşimi [23]**




Kanada Endüstri Büyümesi ve Performansı:
Elektronik eleman tüketici pazarının büyüklüğü bilgisayar, enstrüman, tıbbi cihazlar, telekomünikasyon cihazları ve otomotiv elektroniği cihazları talebini göstermektedir. Kanada elektronik eleman tüketici pazarı 1994' de %76 büyüyerek 11,6 milyar Dolara (Kanada) ulaşmıştır. Bununla birlikte,elektronik eleman endüstrisi ihracatının sadece %3,8' ini tüketici talebi oluşturmaktadır.

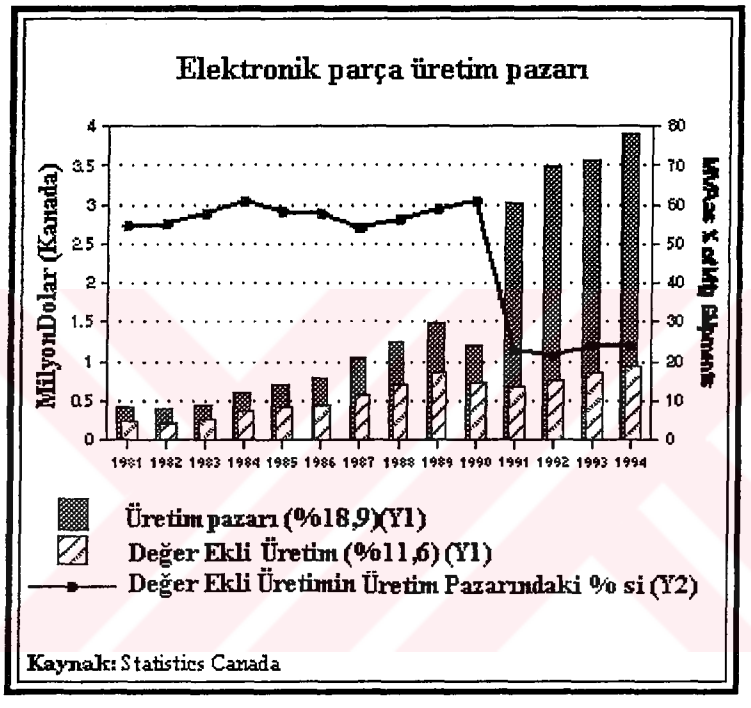
**Grafik 4. 2. Kanada tüketici pazarı [23]**



Üretim:
Elektronik dünyanın en büyük üretim endüstrisi görünümündedir. Son 10 yıldaki imalat elektronik elaman üretiminde önemli bir maliyete sahiptir. 1994' de malzeme ve temin %87 ağırlığa sahiptir.

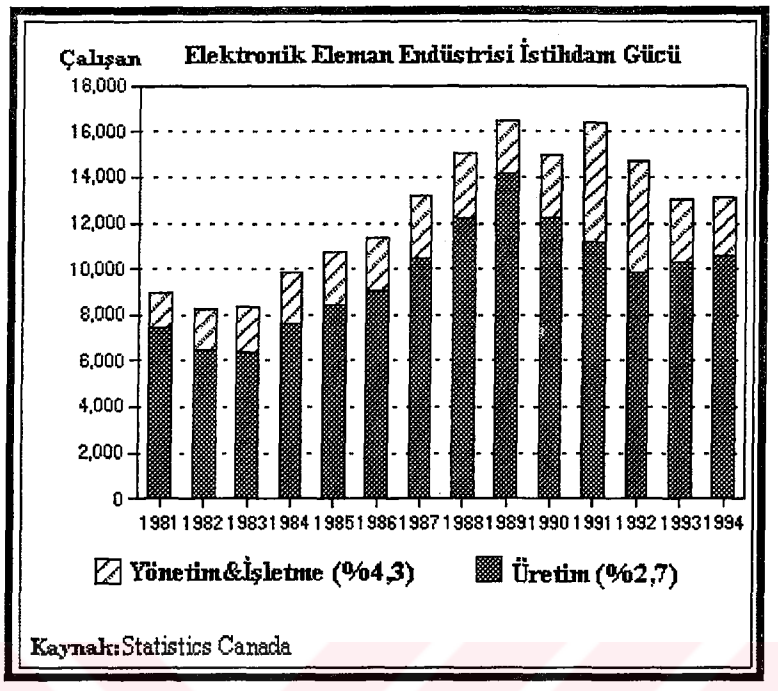
1994' de Kanada elektronik eleman endüstrisi toplam üretimi 4 milyar Dolar (Kanada) olup Kanada toplam üretiminin %1,1' ine karşılık gelmektedir. 1981-1994 Kanada elektronik eleman endüstrisi yıllık üretim büyümesi %18,9 olup Kanada toplam üretimini %4,8 artırmıştır.

**Grafik 4. 3. Kanada elektronik eleman üretimi (1981-1994) [23]**



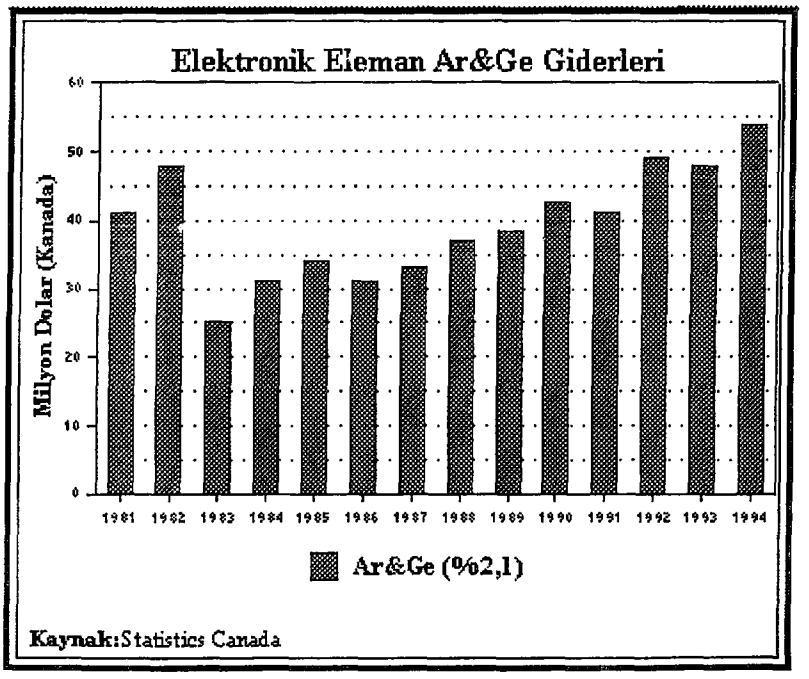

İstihdam:
1994' de Kanada elektronik eleman endüstrisinde %80' i üretimde olmak üzere 13.100 işçi çalışmaktadır. Kalan %20 ise yönetim ve işletme pozisyonundadır. 1991-1994' de Kanada toplam üretimindeki istihdam %0,7 düşerken elektronik eleman endüstrisinde %3 artmıştır. Bundan dolayı, Kanada toplam istihdamı %1,2 artmıştır.

**Grafik 4. 4. Elektronik eleman endüstrisi istihdam gücü [23]**



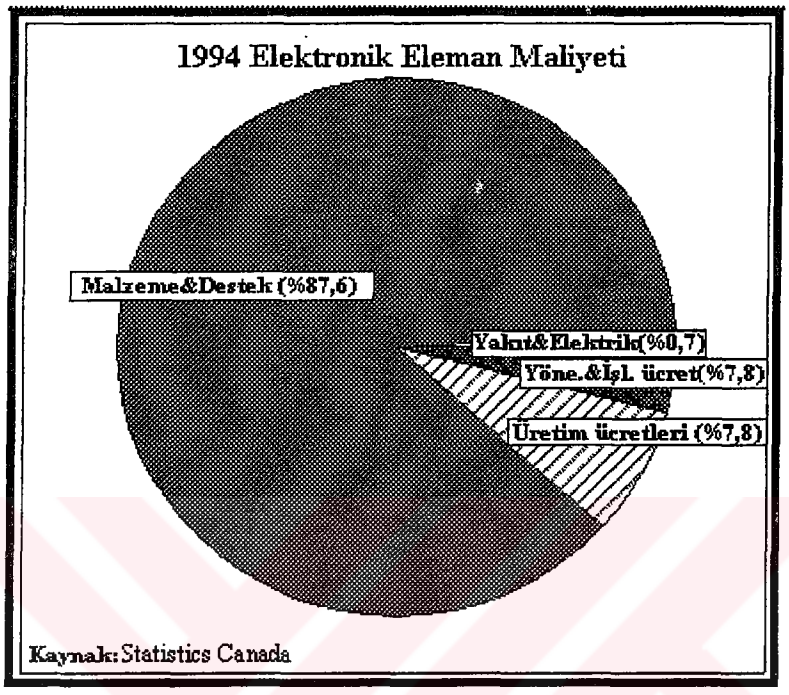

Ar&Ge Performansı:
1981-1995 Kanada elektronik eleman Ar&Ge harcaması toplam yıllık iş teşebbüsü Ar&Ge oranına (%8,9) göre yıllık %2,1 oranında artmıştır.

**Grafik 4. 5. Elektronik eleman Ar&Ge giderleri [23]**

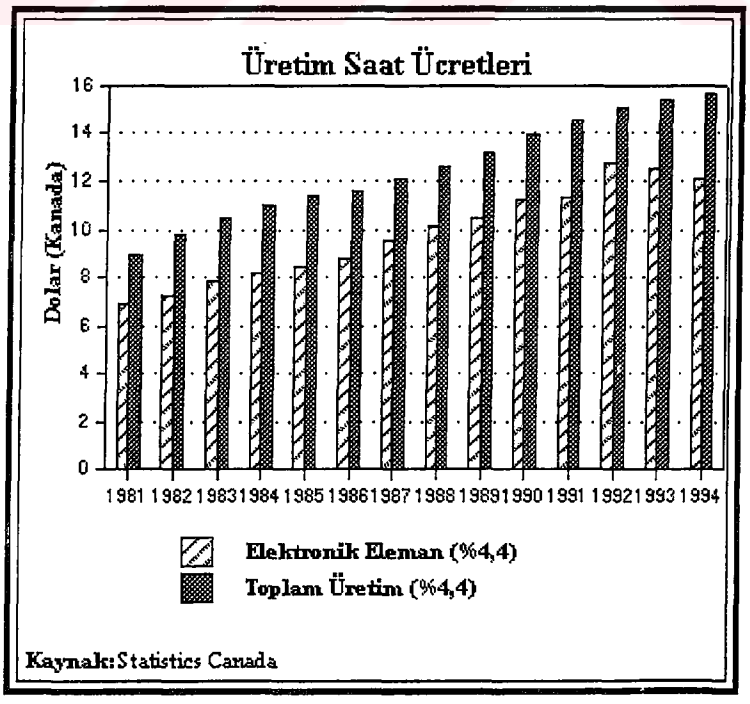


Maliyet/Maaş ve Ücretler:
1994' de Kanada elektronik eleman endüstrisi toplam maliyeti %84,5dir. Bu maliyetin çoğunluğu (%87,6) malzeme ve malzeme temininde kullanılmaktadır. Diğer maliyetler ise üretim (%7,8), yönetim ve işletme (%3,8) ve yakıt ve elektrik (%0,7).

**Grafik 4. 6. Elektronik eleman maliyeti [23]**



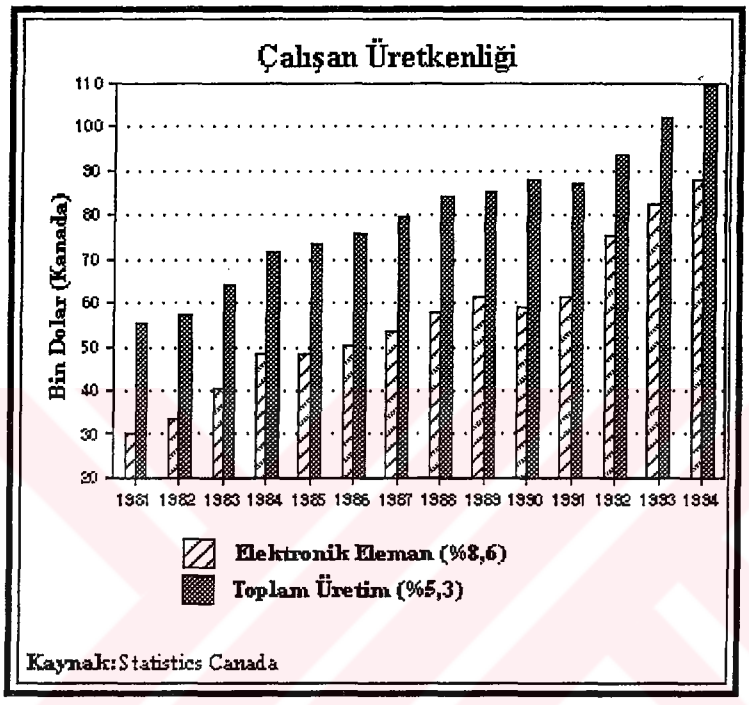

**Grafik 4. 7. Kanada elektronik eleman üretim saat ücretleri [23]**



1981-1994 periyodunda Kanada elektronik eleman endüstrisinde ortalama saat ücreti toplam üretime göre oldukça düşüktür. 1994' de ortalama saat üretim ücreti toplam üretim ücretlerinden %22,9 düşüktür.

1981-1994 ortalama saat ücreti yıllık %4,4 artmakta olup toplam üretim saat ücreti ile uyumlu iken çalışan üretkenliğinin (%8,6) önemli miktarda aşağısındadır. Bu önemli fark maaş dışı gelirle karşılanabilir.

**Grafik 4. 8. Kanada elektronik eleman çalışan üretkenlik oranı [23]**




Gelişme ve İmkanlar:
Aktif eleman alanında yarıiletkenler elektronik sistemlerin en büyük parçası olmaktadır. 10 yıl önce %10, bugün %16 ve 2000lerde %20 olacaktır.

Yarıiletken endüstrisi dünyada en iyi rekabet eden endüstrilerden biridir. Şirketler her zaman maliyetleri azaltma ve pazarı yayma metotlarını araştırmaktadır. Küçük geometri ve düşük voltajlı teknolojik gelişmeler yeni pazarlar oluşturmaktadır. Verimi artıma ve pul büyüklüğünü artırma maliyetleri azaltmaktadır.

1990larda Kırmık Talebi Etkenleri:

i. PC pazarı 1995' de 65 milyon adet büyümüştür. Yarıiletken iletken kullanımının ana etkeni 90 milyar Dolarlık (Kanada) bilgisayar satışlarıdır.
ii. PC değer performansının her yıl ikiye katlanması 1998' de yıllık PC satışlarını 3,7 milyar Dolar (Kanada) artıracaktır.
iii. 1995' de PCS (Personel Communication Service: PCS)lerde bellek kullanımı 16 MB/sistem ve 1996' da 20-24 MB olmuştur.
iv. Dünyadaki kablosuz telefon istasyon adeti 50 milyondan 2000' de 150 milyona çıkacaktır.

v. Otomobil yarıiletkeni her 5 yılda ikiye katlanacaktır. En son otomobiller 800-100 Dolarlık (Kanada) yarıiletken ve 50 IC kullanmaktadırlar.
vi. Dünya yarıiletken pazarı 1995' de 150 milyar Dolar (Kanada) iken 2000' de 350milyar Dolar (Kanada) olacaktır. Dünya yarıiletken cihazları 1995' de 20 milyar Dolar (Kanada) iken 2000' de 40 milyar Dolar (Kanada) olacaktır.

1990larda Teknolojik Gelişmeler:

i. 1995' de en küçük geometrik büyüklük yarım mikron seviyelerinin altındadır: 0,35 mikron üretimde ve 0,25 mikron Ar&Ge Laboratuarında.
ii. Pul fabrikasyon maliyeti 1,2 milyar Dolar (Kanada) iken 10 yıl içinde ikiye katlanması beklenmektedir.
iii. Bugün 40.000 8-inch 0,35 mikron hat genişliğindeki pul bir ayda üretilmekte olup 0,25 mikron hat genişlikli pullar ise 2 yıl içinde üretilecektir.
iv. Her bir pul fabrikasyon cihazının maliyeti 1 milyon Dolar (Kanada) ile 5-6 milyon Dolar (Kanada) arasında değişmekte olup teknolojik olarak kullanım süresi 5 yıldır.

İmkanlar:
SIA endüstrinin 1996' da 185 milyar Dolar (ABD) a ulaşmasını ve %26 büyümesini tahmin etmektedir. WSTS (World Semiconductor Trade Statistics: WSTS) e göre endüstri pazarı %44 büyüyerek 146 milyar Dolar (ABD)a ulaşacaktır. Bellek kırmıkları %40 artacaktır. Asya-Pasifik firmaları dünya pazarını 1994' de %9 ve 1995' de %12 artırmışlarıdır. Kuzey Amerika ve Japonya pazarın %40'ına sahip olup Intel ve NEC sıra ile bu ülkelerin lider firmalarıdır. 60 milyar Dolar (ABD) ile Kuzey Amerika kısmı dünyanın en büyük pazarı olmaya devam edecektir.

1996' da elektronik cihaz tahmini 855 milyar Dolar(Kanada) olacaktır. Gelişen bölümler ise bilgisayar , bilgisayar parçaları, Haberleşme, tüketici elektroniği, endüstriyel ve enstrüman ürünleri ve otomotiv elektroniğidir.

### 4.3 Japonya Mikroelektronik Endüstrisi

AEA(American Electronics Association):
Bilgi teknolojisi ve elektronik endüstrisinin en büyük ticaret organizasyonu olan AEA, sağlıklı iş çevresi oluşturmak ve ABD ileri teknolojisini (Hi-Tech) dünyaya yaymak amacı ile 1943' de Washington D.C.' de kurulmuştur. AEA' in Tokyo, Beijing ve Brussels' de ofisleri vardır.

1984' de ABD Ticaret Departmanı işbirliği ile AEA Japonya Ofisi kurulmuştur. Ofisin amacı ABD elektronik firmalarını Japonya' da yaymak ve ABD elektronik endüstrisini imajını artırmaktır.

#### 4.3.1 Yarıiletken endüstrisi

Ocak-Kasım 1998 istatistiklerine göre Japonya yarıiletken pazarı %9,6lik düşüşle 27,3 milyar Dolardan (ABD) (1997) 22,1 milyar Dolara (ABD) düşmüştür. Genel durgunluk özellikle DRAM talebini etkilemiştir. 1998' de 64 M DRAM fiyatı Kore, Tayvan ve Japonya firmalarının fazla üretimi sebebi ile yaklaşık olarak %50 (yaklaşık olarak 18 Dolar (ABD)) düşmüştür. Buna rağmen, 1999 talebi 22,8 milyar Dolar (ABD) olup tüm Japonya pazarı 2000-2003 arasında %11 büyüyecektir.

ASIC kırmıklar bilgi teknolojisi sisteminin önemli elemanlarıdır ve yarıiletken toplam pazar talebinin %40'ını oluşturmaktadır.

1998' de ithal edilen yarıiletken değeri 9,8 milyar Dolar (ABD) dır. Yarıiletken ithali toplam Japonya yarıiletken pazarının %44' ü iken ABD yarıiletken pazarının %49' u dur. Japonya yarıiletken ithalatının 2000-2003' de yıllık %12 büyümesi beklenirken ABD'de aynı zamanda %13 büyüme beklenmektedir.

1998' de yaklaşık olarak 32,4 milyar Dolar (ABD) yarıiletken üretimi toplam Japonya pazarının %56'sını oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak tüm Japonya üretiminin %61' i ihraç edilmektedir. 2000-2003' de ASIC talebinden dolayı ithalatın artması beklenmektedir.

Pazar Satışları ve Özellikleri:

**Tablo 4. 7 Japonya Yarıiletken Pazarı (Japonya Yeni) [34]**

| Milyar Yen (Japonya) | 1997 | 1998 | 1999 | 2000-2003 |
|---|---|---|---|---|
| | (Gerçek) | (Beklenen) | (Tahmin) | (Bek. Yıllık Ger. Büyüme) |
| İthal pazarı | 1.447 | 1.316 | 1.390 | %12 |
| Yerel üretim | 4.763 | 4.376 | 4.280 | %9 |
| İhracat | 2.909 | 2.707 | 2.590 | %10 |
| Toplam Pazar | 3.301 | 2.985 | 3.080 | %11 |
| ABD den ithalat | 709 | 685 | 690 | %13 |

Enflasyon oranı 1998 ve 1999' da 0% kabul edilmiştir.
Tahmini yıllık enflasyon oranı 2000-2003: 1,0 %

**Tablo 4. 8 Japonya Yarıiletken Pazarı (Dolar :ABD) [34]**

| Milyon Doları (ABD) | 1997 | 1998 | 1999 |
|---|---|---|---|
| İthal pazarı | 11.959 | 9.748 | 10.3 |
| Yerel üretim | 39.364 | 32.415 | 31.7 |
| İhracat | 24.041 | 20.052 | 19.19 |
| Toplam Pazar | 27.282 | 21.111 | 22.81 |
| ABD'den ithalat | 5.86 | 5.074 | 5.11 |
| Değişim oranı [Yen/$(ABD)] | 121 | 135 | 135 |

1998 ithalat pazar dağılımı:

USA: %52
Asya: %40
Avrupa: %8

Toplam Japonya yarıiletken pazar talebi (1997) 27,3 milyar Dolardan (ABD) (1998) 22,1 milyar Dolara (ABD) düşmüştür. 1999 talep tahmini 22,8 milyar Dolardır (ABD). 2000' de ise %11 büyüme 2003' e kadar devam edecektir. Büyümenin çoğu SOC (Systems-On-Chip: SOC) yarıiletkenlerde özellikle dijital tüketici elektroniği, bilgisayar, PC, PC parçaları, taşınabilir PC, MODEM, dijital video kamera, yazıcı, depolama ünitesi, taşınabilir dijital telefon gibi yüksek entegre sistemlerde olacaktır.

SOC yarıiletken mikroişlemci, A/D çevirici, dijital sinyal işleme, giriş/çıkış sürücü, analog devre, lojik devre ve yarıiletken belleklerden (DRAM, SRAM, EEPROM, vb.) oluşan tümdevrelerin anahtar fonksiyonlarının birleşiminden oluşur.

SOC yarıiletken uygulamaya göre sınıflandırılır. Örneğin; yerleşik ileri mikrokontrolör, uygulamaya özgü dijital sinyal işleme, multimedya cipseti (MPEG, grafik, ATM ve dijital ses/görüntü sinyal kontrolü), video sinyal işleyici, 3-boyutlu grafik çoklu ortam LSI cipset, VOD (Video-On-Demand: VOD) cipset, set-top-box cipset ve DVD(Digital Video Disk) cipset.

Otomobil sistemlerinde 32 bit ve 64 bit RISC CPU, yüksek yoğunluklu DRAM, SRAM, flaş bellek, GPS (Global Positioning Systems: GPS) yön sensör, CD-ROM cipset, DVD cipset, ses tanıma cipset, vb gibi ileri yarıiletken kırmıklar kullanılır. Yarıiletken cihazlarda talep; taşınabilir dijital telefon, video oyunları ve LCD display sürücü gibi uygulamaya özgü LSI alanında artmaktadır.

Yeni talepler yeni jenerasyon CPU, USB tabanlı LSI, IEEE 1394 tabanlı LSI, DVD LSI, JAVA işlemci, 0,18 mikron ASIC, mutimedya fonksiyonlu DSP ve kripto kırmıklar oluşturmaktadır. 0,25 mikrometre uygulamaları 64 M DRAM ile sınırlıdır. Bununla rağmen, diğer LSI sistem uygulamalarında da 0.25 mikrometre işlemi kullanılmaktadır. Yani, yüksek performanslı ve yüksek hızlı uygulamaya özgü yarıiletken kırmıklar daha düşük maliyetle üretilebilecektir. Özellikle, bellek ve DSP fonksiyonuna sahip yerleşik uygulamaya özgü LSI CPU hızına uygun mikron altı işleme gereksinim duymaktadır.

Mikron altı pul fabrikasyonu üretim kapasitesi ABD' den yavaş artmaktadır. Diğer taraftan, Japonya kapı dizi lojiği 1996' dan beri zayıflamakla beraber 1997' de 203 milyar Japonya Yenidir (yaklaşık olarak dünya kapı dizi pazarının %40).

Rekabet Ortamı
1997' de 39,4 milyar Dolar (ABD) olan ticari yarıiletken üretimi 1998' de %8,1 düşerek 32,4 milyar Dolara (ABD) ve 1999'da da %2,2 düşerek 31,7 milyar Dolar (ABD) olmuştur. Bununla birlikte, ticari üretimin 2003' e doğru yıllık %9 artması beklenmektedir. 1998' de Seiko Epson dışındaki bütün Japon firmaları üretimlerini düşürmüştür. Özellikle DRAM üreten firmalar üretimlerini kesmek zorunda kalmışlardır.

Yaklaşık olarak ticari üretimin %61' i ihraç edilmektedir. NEC, Toshiba, Hitachi, Fujitsu, Mitsubishi, Matsushita, Sanyo, Sharp, Sony, Oki ve Roam Japonya'nın en iyi on firmasıdır. 1998' de en iyi on iki yarıiletken üretici firmanın üretimi 5,12 trilyon Japonya Yeni iken 1997' de 5,5 trilyon Japonya Yeni idi (%6,9 düşüş).

Aşağıda Japonya'daki en iyi yarıiletken firmasının yeni üretimleri ve piyasaya sürecekleri ürünleri listelenmiştir:

i. **NEC**:Set-top-box için Sistem LSI, yerleşik dijital TV için sistem LSI, 64 RISC CPU, 0,18 mikron ASIC ve Rambus DRAM.
ii. **Fujitsu**:3V flaş bellek, 32 bit CPU, çoklu ortam sistem ASIC, yüksek performanslı RISC 32bit CPU, yüksek yoğunluklu flaş bellek, taşınabilir telefon için ASIC.
iii. **Toshiba**:64 RISC CPU, CCD görüntü elemanları, 64M/128M/256Mbit senkron DRAM, 72Mbit direk rambus DRAM, yüksek yoğunluklu flaş bellek, MPEG LSI, CMOS katı hal imaj elemanı.
iv. **Hitachi**:RISC CPU, 0,18 mikron hücre tabanlı IC, 64M senkron DRAM, DRAM yerleşik ASIC, 256 M flaş bellek(IC kart için), GSM RF/IF 1 kırmık LSI.
v. **Mitsubishi**:DRAM yerleşik ASIC (dijital ticari elektronik), dijital TV cipset, taşınabilir sistemler için flaş ve SRAM yerleşik kırmık, GSM için LSI, IGBT modül.
vi. **Matsushita**:Yeni jenerasyon taşınabilir telefon için cipset, dijital TV cipset, DVD için cipset, flaş bellek yerleşik 16/32 bit mikrobilgisayar.
vii. **Sanyo**:Flaş/EEPROM yerleşik mikrobilgisayar/ASIC/ASSP, dijital durgun kamera için CCD cipset, dijital ses görüntü sistemi için sistem LSI.

Japonya yarıiletken üreticileri CPU ve ileri çoklu ortam yarıiletken üretiminde zayıf görünseler bile büyük üreticiler uygulamaya özgü ve sistem-üzeri-kırmık (SOC) üretimine odaklanmaktadırlar. Örneğin; son üç yılda üreticiler uygulamaya özgü ve sistem-üzeri-kırmık LSI üzerine araştırma yapmaktadırlar.

1998' de Japonya sistem LSI pazarı 15 milyar Dolar (ABD) büyümüştür. PC, çoklu ortam sistemleri, dijital taşınabilir telefon, dijital kamera, HDD, DVD, otomobil vs. gelecek üç yılda dijital ticari elektronik sistemleri ve otomotiv uygulamaları en hızlı büyüme gösterecektir.

Bazı ABD yarıiletken üretici firmaları bağımsız veya Japonya üreticileri ile birlikte Japonya' da üretim yapmaktadırlar. Bağımsız firmalar Texas Ins., Motorola, AMD ve LSI Logic, İş birlikçi firmalar ise Intel, National Semiconductor, Lucent Technologies, Analog Devices, Conexant(Rockwell), Cirrus, VLSI, Fairchild, Altera, Atmel, Lattice, Xilinx ve Harris.

Son Kullanıcı Profili:
Sistem-üzeri-kırmık yarıiletken beş sınıfa ayrılır: dijital ticari elektronik, bilgisayar /çoklu ortam sistemleri, dijital haberleşme, enstrümantasyon ve otomotiv elektroniği.

Büyük son kullanıcılar toplam pazarın yaklaşık olarak %70' ini, küçük ve orta büyüklükteki son kullanıcılar ise yaklaşık olarak %30' unu oluşturur. Japonya' da gelecek üç yılda

taşınabilir telefonları da içeren taşınabilir dijital çoklu ortam uygulamaları sistem-üzeri-kırmık yarıiletken üretiminde en büyük pazar payına sahip olacaktır.

Otomotiv elektroniğinde Japonya otomotiv üreticileri olan Toyota, Nissan, Honda, Mitsubishi, Mazda, Isuzu, Fuji(Subaru), Suzuki ve Daihatsu anahtar uygulamalarda kullanılan özel yarıiletkenleri kendi teknoloji merkezlerinde gerçekleştirmektedirler. Bu üreticiler aynı zamanda ortakları ile ticari sistem-üzeri-kırmık (standart yarıiletken) tasarlamakta ve geliştirmektedirler.

Pazar İlişkileri:
Ürüne bağlı olarak elektronik özellik standardı ve paketleme gereklilikleri resmi olmayan gümrük engeli olarak görülebilir. Örneğin; EIAJ standardı uluslar arası standartlardan farklıdır ve Japonya son kullanıcıları genellikle ürünlerin EIAJ standartlarına uygun olmasını tercih etmektedir. ABD Japonya'da iş yaparken EIAJ standartlarına uymak zorundadır.

ABD-Japon Yarıiletken İşbirliği (1991' de yapılmış ve 31 Ekim 1996' da son bulmuştur.) yarıiletken ticaretinin GATT' a ( General Agreement on Tariffs and Trade: GATT) uygun olarak geliştirilmesi amacı ile yapılmıştır. İşbirliği ile ABD yarıiletken endüstrisinin önerdiği Japonya yarıiletken dış pazarı "**dereceli ve kararlı**" ilerleme ile 1986 ve 1991 anlaşmalarına uygun olarak %25-%28 büyüyecektir.

ABD-Japon Yarıiletken İşbirliğinin (2 Ağustos 1996) üç kısımdan oluşur: Uluslar arası işbirliğini yaymak, pazar erişim konularını tartışmak ve ortak hareketleri desteklemek için endüstri kuruluşlarının kurduğu "**yarıiletken konsey**"ini endüstri-endüstri işbirliğinin çekirdeği yapmak. Kullanıcı-bayi işbirliği ve bayi-bayi işbirliğinin standart, çevre ve güvenlik, pazar geliştirme ve ticaret alanlarındaki faaliyetlerinin devamı işbirliğinin amaçları arasındadır.

Endüstri uzmanları pazar durumu hakkında bilgi toplayarak analiz sonuçlarını her iki hükümete rapor etmektedirler. Bunun sonucu olarak Japonya pazarının durumu ortaya çıkmaktadır.

İşbirliğinin ikinci kısmında "Diğer ülkelerin endüstri organizasyonları gümrük tarifelerini askıya alarak veya yürürlükten kaldırarak konseye katılabilirler." Şartı yer almaktadır. Bu şart konseyde Avrupa Birliği erken üyeliğine bir göz atmak olarak formüle edilir. İşbirliği yarıiletken konseyini kontrol etmek ve birlikte çalışmak için "**danışma mekanizma**" sını kurmuştur.

İşbirliğinin üçüncü kısmı GGF' den (Global Governmental Forum:GGF) oluşur. Bu forum ile yarıiletken üzerine yılda en az bir kere tartışma yapmak üzere toplanılacaktır. Tartışma konuları ticaret ve yatırım serbestliği, yasal prosedürler, çevre konuları, çalışan sağlığı ve güvenliği, standardizasyon, zeka hakları, temel bilimsel araştırmalara yaklaşım ve global bilgi toplumudur. Tüm ana yarıiletken üretici ülkelerin hükümetleri ön şartsız olarak foruma davet edilecektir. GGF' in ilki Tokyo' da16 Aralık 1996' da yapılmıştır.

### 4.3.2 Yarıiletken Üretimi

1999' da Japonya yarıiletken üretimi 5,914 trilyon Japonya Yenidir. Yedi büyük Japon yarıiletken üretici firması 1999' da 1998' a göre %10 büyüme beklemektedirler. 1998' de ithal edilen yarıiletken 9,8 milyar Dolar (ABD) olup toplam Japon ithalat pazarının %44' ı dır.

En iyi on iki Japon yarıiletken üretici üretimi 1998' da 5,4 trilyon Japon Yeni iken %9,6 artış ile 1999' da 5,9 trilyon Japon Yeni olmuştur. 1999' da ticari yarıiletken üretimi toplam Japonya yarıiletken pazarının %55 iken tüm Japon üretiminin %60' ı ihraç edilmektedir. Tabloda Japon yarıiletken üreticilerin üretim değerleri görülmektedir.

**Tablo 4. 9 Japonya yarıiletken üretici firma üretim değerleri [34]**

| Milyar Yen (Japonya ) | 1997 | 1998 | 1999 |
|---|---|---|---|
| NEC | 1.150 | 1.020 | 1.070 |
| Toshiba | 870 | 760 | 900 |
| Hitachi | 710 | 600 | 650 |
| Fujitsu | 570 | 480 | 530 |
| Mitsubishi | 510 | 480 | 510 |
| Matsushita | 370 | 345 | 380 |
| Rohm | 296 | 292 | 296 |
| Sanyo | 289 | 255 | 260 |
| Sharp | 253 | 245 | 280 |
| Sony | 240 | 225 | 270 |
| Oki | 139 | 123 | 145 |
| Seiko-Epson | 102 | 90 | 100 |
| Sanken | 79 | 74 | 77 |
| Fuji Electric | 69 | 63 | 63 |
| Shindengen | 48 | 45 | 48 |
| New JRC | 43 | 39 | 42 |
| Asahi-Kasei | 25 | 25 | 25 |
| Ricoh | 30 | 24 | 24 |
| Mitsumi | 28 | 23 | 28 |
| Yamaha | 30 | 19 | 19 |
| Toko | 17 | 18 | 19 |
| Diğerleri | 158 | 150 | 178 |
| TOPLAM ÜRETİM | 6.026 | 5.398 | 5.914 |

Tablodan görüldüğü gibi yarıiletken üretimi 1997' den 1998' e %10,4 düşmüştür. Yerel Japonya yarıiletken üreticileri tam kapasite üretim yapmakta olup dünyada üretim eksikliğinin aksine malzeme sorunu olmamaktadır.

Japonya yarıiletken üreticileri standart lojik ve lineer devreler gibi tüketici yarıiletken kırmıklarından çok patentli üretime odaklanmışlarıdır. ASSP ve sistem-üzeri-kırmıklı IT uygulamaları pazar talebi artmakta olup dijital imaj pazarının yayılması uygulamaya özgü sistem LSI kırmık talebini artırmaktadır.

Japonya yarıiletken endüstrisi 2000' de başlamak üzere yarıiletken üretici üretiminde büyük bir artma beklemektedir. Bilinmeyen anahtar faktör ise Japonya yarıiletken üreticilerinin güçlü bölgesel pazar talebini karşılamak için DRAM üretimine odaklanıp odaklanmaklarıdır. Uzun vadede, bir çok firmanın üretimini bellek harici yapacağını göstermektedir.

### 4.3.3 Yarıiletken Cihaz

1997' de 1,46 milyar Dolar (ABD) olan yarıiletken cihaz ithalatı tüm Japon pazarının 1/4' ünü oluşturmaktadır. ABD ithalatı %85dir.

1996' da 7,02 milyar Dolar (ABD) olan Japonya yarıiletken cihaz pazarı %4,1 azalma ile 1997' de 6,21 milyar Dolar (ABD) ve %18,3 azalma ile 1998' de 4,69 milyar Dolar (ABD) olmuştur. Bununla birlikte, 1999-2002 arası yıllık büyümenin %13 olması beklenmektedir. Aynı zaman aralığında ABD ithalatının %15-%16 artması beklenmektedir.

Gelecek üç yılda özellikle plazma CVD sistemleri ve difüzyon sistemlerini içeren işlem cihazlarına güçlü bir talep olması beklenmektedir. Bugün pul işleme kontrol cihazları tüm yarıiletken cihaz talebinin yaklaşık olarak %65' ini oluşturmaktadır.

Pazar Durumu:

**Tablo 4. 10 Japon yarıiletken cihaz pazarı (Japon Yeni) [34]**

| Milyar Yen (Japonya) | 1996 | 1997 | 1998 | Yıllık % büyüme(1999-2002) |
|---|---|---|---|---|
| İthalat pazarı | 191 | 175 | 170 | 15 |
| Yerel üretim | 1.194 | 1.32 | 1.15 | 14 |
| İhracat | 620 | 750 | 710 | 14 |
| Toplam pazar | 765 | 745 | 610 | 13 |
| ABD'den ithalat | 162 | 149 | 153 | 16 |

1998 enflasyonu : %0,2 , 1999-2002 tahmini enflasyon: %1,4

**Tablo 4. 11 Japonya yarıiletken cihaz pazarı (Dolar :ABD) [34]**

| Milyar Dolar (ABD) | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|
| İthalat pazarı | 1.75 | 1.46 | 1.31 |
| Yerel üretim | 10.95 | 11 | 8.85 |
| İhracat | 5.69 | 6.25 | 5.46 |
| Toplam pazar | 7.02 | 6.21 | 4.69 |
| ABD'den ithalat | 1.49 | 1.24 | 1.18 |
| Değişim oranı [Yen/Dolar(ABD)] | 109 | 120 | 130 |

1997 İthalat Pazarı Paylaşımı
Amerika :%85
Avrupa: %10
Asya:%5

Pazar Talebi:
Yarıiletken cihaz ticari üretimi 1997' de toplam talebin %76,5' i olup 11 milyar Dolar (ABD) dır. Talebin uygulamaya özgü kırmık ve CPU yerleşik kırmık gibi büyük ölçekli yarıiletken kırmık işleyen mikron altı ve 300 mm Si pul yarıiletken cihazlarında kararlı bir şekilde artması beklenmektedir. İthalatın pul işleme cihaz talebini önemli bir miktarda karşılaması beklenmektedir.

1991' den 1996' ya kadar Japonya yarıiletken üreticileri artan global yarıiletken eleman talebini karşılamak için tam kapasite çalışmışlardır. Yüksek talepli elemanlar dijital IC, LSI, bellek, uygulamaya özgü cip set, PC için VLSI, çoklu ortam ve bilgi sistemleri, taşınabilir haberleşme ve tüketici elektroniktir. 1997' de Japon yarıiletken cihaz yatırımlarındaki azalmanın sebebi DRAM gibi yüksek yoğunluklu bellek üretiminin azalmasıdır. En azından, beş yeni üretim işlemi 1999' a ertelenmiştir. Ocak 1997' de 159 milyar Japon Yeni olan kayıtlı miktar %62lik düşüşle Ocak 1998' de 60 milyar Japon Yeni olmuştur. Böyle bir düşüş son on yılda görülmemiştir. Bu düşüşün ana sebebi tüm Japon ekonomik durgunluğundan dolayı yarıiletken cihaz üreticilerin üretim işlem olanakları yatırımlarını ertelemek zorunda kalmalarıdır.

Uzun vadeli planda işlemleri güncellemek ve kapasiteyi artırmak için üretim cihazları yatırımı artırılmalıdır. Özellikle yarıiletken cihaz talebi tekrar eski haline gelmelidir. 2002' de Japonya yarıiletken cihaz pazarının 8 milyar Dolara (ABD) ulaşması beklenmektedir. Büyüme ultra ayrıntılı işlem ve yüksek yoğunluklu uygulamalarda kullanılan yüksek çözünürlüklü büyük Si pul işleyen cihazlarda kararlı hale gelecektir.

Tüm yarıiletken cihazlar içerisinde pul işleme cihazları tüm satışların yaklaşık olarak %60' ı dır. Çeşitli test cihazları tüm pazar talebinin %20' sini oluşturmaktadır. Pul işleme cihaz talebi 1999-2002' de %14 büyüyecektir.

Yarıiletken üretim cihazları beş ana bölümde toplanmıştır: Pul üretme cihazları, maskeleme/reticle cihazları, pul işleme cihazları, birleştirme ve paketleme cihazları ve test cihazları. Tabloda Japonya'daki yarıiletken cihaz satışları görülmektedir.

**Tablo 4. 12 Japonya yarıiletken cihaz pazarı [34]**

| Milyar Yen (Japonya) | 1996 | 1997 | 1998 tahmini |
|---|---|---|---|
| Maskeleme/reticle cihazı | 11.4 | 11.9 | 12 |
| Pul için üretim cihazı | 11.2 | 13.5 | 12 |
| Pul üretim cihazı | 16.7 | 13.3 | 11 |
| Pul işleme cihazı | 517 | 477 | 410 |
| Birleştirme/paketleme cihazı | 43.1 | 53.6 | 40 |
| Test cihazı | 125 | 138.2 | 105 |
| Diğer yarıiletken cihazları | 40.9 | 37.5 | 20 |
| TOPLAM | 765.3 | 745 | 610 |

Ticari Üretim:
1997' de 11 milyar Dolar (ABD) olan ticari üretim 1998' de %13,1 düşerek 8,85 milyar Dolar (ABD) olmuştur. 1997' de ticari üretim ihracatı yaklaşık olarak %57 iken ticari üretim toplam pazarın %76,5' i idi. 1999-2002' de ithalatın artması ile ticari üretim toplam pazar payının azalması beklenmektedir. Yine de bu zaman aralığında ticari üretim yıllık %13 artacaktır.

Japonya özellikle yarıiletken pul işleme ve birleştirme cihaz pazarı başta olmak üzere %60lık dünya yarıiletken cihaz payına sahiptir. Ana Japonya yarıiletken cihaz üreticileri Anelva Corp. , Canon Inc., Dainippon Screen Mfg. Corp., Hitachi Ltd., Toshiba Machines, Tokyo Elektron, Nikon Corp., Kaijo Corp., Kokusai Electric, Advantest Corp. ve Ando Electric Corporation' dır.

ABD yarıiletken cihaz firmaları Japonya servis ve ürünlerini sunmak zorunda kalmışlardır. ABD' de bu durum Japonlar için geçerlidir. Ürün kalitesi ve marka Japonya' da büyük bir öneme sahiptir. Japon cihaz kullanıcıları markalı ve yüksek kaliteli ürünler talep etmektedirler. Kalite problemi olursa firmalar bu problemi hemen çözmek zorundadırlar. Yeni pazar araştırıcıları müşteri isteklerine cevap vermek ve özellikle Japon müşterilere göre ürünler geliştirmek için bölgesel destek olanaklarına ve bayilere sahip olmalıdırlar.

Son Kullanıcı Profili:
Temel Japonya yarıiletken cihaz son kullanıcıları, yarıiletken eleman (kırmık ve cip set IC) üreticiler ve flat panel display üreticilerdir. 100 Japon yarıiletken üretici ve 5 ABD yarıiletken eleman üretici ile 15 ana Japon yarıiletken üretici Japonya' da faaliyet göstermektedir.

1997 Japonya yarıiletken cihaz ve LCD pazarı son kullanıcı profili tabloda özetlenmiştir.

**Tablo 4. 13 Japonya yarıiletken cihaz ve LCD pazarı [34]**

| Üretim | 1997 tahmini (Milyar Dolar(ABD) | Toplam pazar yüzdesi |
|---|---|---|
| Yarıiletken eleman | 6,21 | 84 |
| Flat panel display (LCD) | 1,16 | 16 |
| Toplam pazar | 7,37 | 100 |

Listede Japonya yarıiletken eleman üreticilerin son durumları görülmektedir. Yatırım planları elektronik cihaz global talebine ve ticarete bağlı olduğundan 1999-2000 yatırım rakamları verilememiştir.

**Tablo 4. 14 Japonya yarıiletken eleman üretici yatırımları [34]**

| Üreticiler | 1996 | 1997 | 1998 | Büyüme% |
|---|---|---|---|---|
| NEC | 190 | 180 | 180 | 0 |
| Toshiba | 170 | 170 | 140 | -17,6 |
| Hitachi | 150 | 120 | 80 | -33,3 |
| Fufitsu | 192 | 175 | 90 | -48,6 |
| Mitsubishi | 115 | 90 | 50 | -44,4 |
| Matsushita | 100 | 90 | 60 | -33,3 |
| Sanyo | 53 | 45 | 45 | 0 |
| Sharp | 72 | 64 | 43 | -32,8 |
| Sony | 50 | 70 | 65 | -7,1 |
| Oki | 44 | 34 | 14 | -59 |
| Rohm | 21 | 20 | 28 | 43,6 |
| Diğerleri | 45 | 50 | 50 | 0 |
| TOPLAM | 1.202 | 1.108 | 845 | -23,7 |
| ABD Milyar $ | 11 | 9,15 | 6,5 | -29,3 |
| Yen/$(ABD) | 109 | 121 | 130 | |
| Birim:Milyar Yen (Japonya) | | | | |

Pazar İlişkileri:
Japonya yarıiletken cihaz pazarına ithalatta herhangi bir resmi veya gümrük engeli yoktur. Japonya yarıiletken cihaz pazarı son kullanıcı ve bayi desteği şartı ile ABD firmalarına tamamen açıktır.

1997' de yarıiletken cihaz ithalatı toplam talebin %23,5' i olup 1,46 milyar Dolardır (ABD). 1998' de toplam ithalatın 1,31 milyar Dolara (ABD) düşmesine rağmen, toplam pazarın %27,9 olması beklenmektedir.

Tüm ithalatın 1999-2002' de yıllık %15 artması tahmin edilmektedir. Bu büyüme ABD'nin daha güçlü olduğu özellikle bilgisayar-destekli ve hassas işlem teknoloji parçaları olmak üzere yüksek performanslı yarıiletken cihazlarında olacaktır. Asya ülkelerinden ithalatın artması beklenmemektedir. İthalatın çoğu ABD' den yapılacaktır.

1997' de ithalat pazarı ABD payı yaklaşık olarak %85 olup ABD ürünleri toplam pazarın %20' sidir. Tüketici üretimi %76,5 olup diğer ithalat %3,5dir. ABD ithalat payının 1998' de %90' a yükselmesi beklenmektedir.

1999-2002' de ABD ithalatının yıllık %16 büyümesi tahmin edilmektedir. Bu büyüme alt kategori büyüme oranı%15' den daha büyük ve tüm pazar büyüme oranı%13' den daha hızlıdır.

Japonya'daki ana ABD yarıiletken cihaz firmaları Applied Materials, Watkins-Johnson, Varian, KLA Instruments, Kulicke&Soffa, Novelus ve Lam Research dır.

ABDli üreticiler 1996-1998 pazar talebi %50 olan mikron altı işlemlerde pul fabrikasyonu ve işleme cihazlarında çok güçlüdürler. Doğrusu, ABD yapımı pul işleme cihazları şu anki Japonya sitemlerinden çok iyidir. Bu nedenle birkaç ABD yarıiletken cihaz üretici firması son yıllarda Japonya pazarında iyi bir yer tutmuştur.

Otomatik birleştirme ve test cihazlarında ABD ithalatı zayıf olsa da bu çeşit cihazlarda pazar talebi ABD firmalarına fırsatlar sunacağa benzemektedir. Yeni ABD firmaları pazara rahat girebilecekken Japonya firmaları ilk üç yılda önemli miktarda yatırım yapmak zorundadırlar.

## 4.4 Endonezya Mikroelektronik Sanayi

Endonezya mikroelektronik endüstrisi ve araştırma-geliştirme çalışmaları anlatılacaktır. Telekomünikasyon sektörü 2000 yılında 0,6 milyar Dolar (ABD) payı ile mikroelektronik endüstrisinin en önemli alanı haline gelecektir. Endonezya mikroelektronik endüstrisi için uluslar arası insan eğitici çalışmaları yapılmaktadır.

Elektronik ve mikroelektronik endüstrisi Endonezya 'da yeni bir sektördür. Bugünkü mikroelektronik endüstrisi telekomünikasyondaki araştırma-geliştirme çalışmaları ile henüz gelişme aşamasındadır. Endonezya 'da mikroelektronik ürünlerin gelişmesi için insan kaynakları gelişiminin araştırılması gerekmektedir.

1986'da ITB' de IUC (Inter University Center :IUC)' in kurulması ile mikroelektronik alanında üç araştırma enstitüsü çalışmalara başlamıştır:

i. IUC Mikroelektronik, ITB
ii. Endonezya Fen Bilimleri Enstütüsü (LIPI)
iii. PT LEN endüstrisi

Özellikle IUC Mikroelektronik Endonezya mikroelektronik endüstrisinin insan kaynaklarını geliştirmeden sorumludur. Uluslar arası işbirliği gerekmektedir.

1993'de 78'i tüketim elektronik, 156'sı endüstriyel elektronik ve 63'ü eleman elektroniği olmak üzere toplam 295 şirket bulunmaktadır. Endonezya'da toplam elektronik endüstrisi 1,2 milyar Dolar(ABD) ihraç olmak üzere toplam 2 milyar Dolar(ABD) kapasiteye sahiptir. 1993'te Endonezya' da elektronik endüstrisinde yaklaşık olarak 100.000 çalışan bulunmaktadır.

Endüstri bölümünün tahminine göre (Mart 1994) 1999'da elektronik endüstrisi 5 milyar Doları (ABD) ihraç olmak üzere toplam 10 milyar Dolarlık (ABD) bir hacme sahip olacaktır. Gelecek 5 yılda çalışan sayısı 150.000 olacaktır. Bu hedefe ulaşmak için insan kaynakları konusunda önemli araştırmalar yapmak gerekmektedir.

SRI raporuna göre tüketim elektroniği diğer sektörlerden daha iyi kabiliyetlere sahiptir. Diğer sektörlerde durum kötüdür; yani bu sektörlerde ithal cihaz ve elemanlara ihtiyaç vardır.

Telekomünikasyon sektörü diğer sektörlerle karşılaştırıldığında en karlı görülmektedir. Endonezya telekomünikasyon sektörüne daha fazla önem vermektedir. Diğer bir deyişle, hemen hemen tüm araştırmalar yabancı şirketlerle sürdürülmektedir. Endonezya elektronik telekomünikasyon birliği (AIETI) Ar-Ge çalışmalarına %1'lik yatırımın 2000 yılında Endonezya'ya yaklaşık olarak 0,6 milyar Dolar(ABD) tasarruf sağlayacağını tahmin etmektedir. 1999 'a kadar %1'lik araştırma ile 5 yılda 75 milyon Dolar (ABD) Endonezya telekomünikasyon Ar-Ge çalışmalarına ayrılmış olacaktır.

Endonezya'da Mikroelektronik Araştırmaları:
Endonezya'daki mikroelektronik araştırma yapan enstitüler IUC Mikroelektronik ve Endonezya Fen Bilimleri Enstitüsüdür. Burada IUC Mikroelektronik ITB 'nin yaptığı çalışmalar ve Endonezya 'daki mikroelektronik gelişmeler özetlenecektir:

i. Lazer direk yazma(1μm çözünürlük ) ve Intertech sistemi (Burnaby, Canada) GateArray.Anolog IC' li yüksek hızlı modemlerde kullanılır.

ii. Tam müşteri IC işleme (20μm çözünürlük ) ve 4. Sınıf 10.000 temiz oda (her biri 150 $m^2$). HP enstrümantasyon, SUPREM 3&4 ve PISCES-2B simülatörleri mikroelektronik sensör ve mikrodalga IC araştırmalarda kullanılır. Mikroelektronik tasarım entegrasyonu henüz gelişme aşamasındadır.
iii. IC tasarım imkanı, 15 iş istasyonu (Berkeley, Stanford, RMIT, UNSW cihazları) ve Mentor Graphics ticari cihazları.
iv. FPGA (Xilinx lojik hücre dizisi) geliştirme sistemi, Microcomputer Electronic Design Station (MEDS) destekli ve Future-Net DASH LCA yazılımlı.

IUC Microelectronic' deki ana araştırma ve enstitü araştırmaları (1987-1991) 200.000 Dolar (ABD) /yıl oranında Devlet Bütçesinden karşılanmaktadır. Ana araştırma çalışmaları;

i. Telekomünikasyon ve bilgi teknolojisinde
   a. Görüntü işlemcilerin tasarım ve implementasyonu: yardımcı işlemci (coprocessor) uyumlu
   b. Entegre imaj Haritası (Integrated Image Map) ve pozisyon belirleme (Position Detection), GPS (Global Positionning System) kullanarak
   c. Yüksek hızlı bölgesel paket radyo bilgisayar şebekesi (High Speed Regional Packet Radio Computer Network) gelişimi
   d. Merkez telefon (Central Telephone) için Switching Matrix kırmığının tasarım ve implementasyonu
   e. CD-ROM tabanlı multi-medya bilgi sistemi
   f. PCM arafaz IC tasarımı
   g. İnşa&indirme Düşük Dünya Yörüngeli (Low Earth Orbit: LEO) Mikro Uydu.
ii. Biyomedikal elektronik
   a. Bilgisayarlı empedans Tomografi (Computed Impedanse Tomograph)

iii. IC tasarım, işleme ve enstrümentasyon
   a. Güç elektroniği uygulamaları için yarı iletken elemanların tasarlanması ve üretilmesi
   b. Kalın film sensörlerin geliştirilmesi
   c. Mikroelektronik enstrümentasyon: sıvı, katı ve transdüser dizileri için PVDF filmin kullanıldığı UltraSonic Sensors.
   d. Pul ölçekli entegrasyon konfigürasyonu
   e. Mikrodalga monolitik tümdevreler
   f. 64Kbps MSK paket radyo modeme dayalı Kapı Dizisi.

Endonezya telekomünikasyonu IUC Microelectronics' den, Analog ve Mikrodalga IC araştırma gruplarından büyük destek görmüştür. Çalışmaların yarısı biyomedikal elektronik ve mikroelektronik sensör araştırma grupları arasında paylaşılmaktadır. [35]

# BÖLÜM 5 ÜNİVERSİTE VE AR-GE MERKEZLERİNİN TÜMDEVRE FABRİKASYONU KONUSUNDAKİ ÇALIŞMALARI

## Giriş

Bu bölümde tümdevre fabrikasyonu ve tasarımı alanında Türkiye ve dünyadaki üniversite ve Ar-Ge merkezlerindeki çalışmalar, gerçekleştirilen projeler, tasarım ve fabrikasyon cihazları ve laboratuar kullanma şartları anlatılacaktır.

## 5.1 Türkiye'deki Çalışmalar

Yarı iletken teknolojisi transferinde Araştırma-Geliştirme (A+G) Enstitülerinin rollerinin tartışıldığı bu çalışmada, gelişmekte olan ülkeler özellikle ele alınmış, teknoloji transferinde belirlenmesi gereken strateji, A+G Enstitülerinin alt yapısı ve transferdeki görevleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, dolaylı transferin şekilleri üzerinde ayrıntılı durulmuş, Ankara Nükleer Araştırma Merkezi' nin yarı iletken teknolojisi ile ilgili çalışmalara başladığı tarihten bugüne kadar elde ettiği gelişme ve tecrübeler, teknoloji transferi açısından değerlendirilerek sunulmuştur. İlave olarak, Türkiye' deki yarı iletken teknolojisi ile ilgili faaliyetler insan gücü ve laboratuar imkanları bakımından gözden geçirilmiş, eksiklikler dile getirilmiş ve bu arada YİTAL' in bu konuda alması gereken rol hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik alanında elde edilen ilerlemeler, yakın geçmişin en önemli olayları arasındadır. İnsanoğlunun uzay teknolojisine girmesi, stratejik silahların geliştirilmesi bu sayede mümkün olabilmiş; entegre mikroelektronik sistemler, uydu haberleşmesinden dijital saatlere kadar çok geniş bir alanın vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Özellikle bilgisayardaki gelişme oldukça çarpıcıdır. Zira, mikroelektronik sayesinde her bir hafıza biriminin maliyet fiyatı son 10 yılda 25 defa azalmıştır. Bugün insan hayatının hemen hemen her safhasına girmiş bulunan mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi, bütün ülkeler için öğrenilmesi ve kullanılması kaçınılmaz olan bir teknolojidir. Bunu yapmayan ülkeler, belki de geri kalmaktan kurtulamayacaklardır. Gelişmekte olan ülkelerin mikroelektroniğe girmesi ve bu alanda ilerleyebilmesi, başlangıçta bu konuda gelişmiş ülkelerden transfer edeceği teknolojik bilgi ve beceriye bağlıdır. Bilgi akımının sürekli olması şarttır. Bunu sağlamak için gelişmekte olan ülkenin, bu konuda diğer ülkeler arasında teşkil edilen bir '**enformasyon ağı**' nın içinde bulunması ve gelişmelerden en seri şekilde bilgi sahibi olması çok faydalıdır.

Hiç şüphesiz, sadece dışardan temin edilen bilgi ve beceri ile bir ülkede sağlıklı bir teknolojiye kavuşmak düşünülemez. Yerli teknolojinin üretilmesi de aynı derecede önemli ve önceliklidir. Dışardan sağlanan teknoloji ile üretilen teknoloji arasında iyi bir denge kurulmalı, birinden diğerine kolay ve sağlıklı geçişler sağlanabilmiş olmalıdır. Yani, yabancı teknolojinin transfer edilmesi, onun ülkede kullanılabilir hale gelmesi; hatta yerli imkanlarla üretilen teknolojinin transfer edilenden yaralanılarak geliştirilmesi ve gereğinde ihraç edilmesini içine alan bir çevrimin ülkede teşkili lüzumludur. Bu çevrimin içinde A+G enstitülerine önemli görevler düşmektedir. Ancak, A+G enstitülerinin görevlerini yerine getirmeleri, mikroelektronik konusunda alt yapıyı oluşturan diğer müesseselerin çevrim içinde etkin rol oynamasına bağlıdır. Tek başına bir A+G enstitüsünün teknoloji transfer etmesi, onu faydalı hale getirmesi ve yerli teknoloji üretmesi mümkün değildir. A+G enstitülerine ilave olarak üniversiteler, kalite kontrol ve kalite idame müesseseleri, üretim tesisleri gibi çevrim

unsurlarının birlik ve beraberlik içinde çalışmaları gereklidir. Bunlardan birinin eksikliği, sonucu menfi yönde etkiler.

Mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi alanında gelişmiş, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülke tarifleri nasıl yapılmalıdır? Bir ölçü olarak;

i. Yukarıdaki çevrimi her unsuru ile tam olan, teknolojiyi üretmede, ithal ve ihraç etmede etkili ve dünya pazarlarında yer tutmuş bulunan ülkeleri gelişmiş,
ii. Çevrimi tamam ve fakat kendi teknolojisini üretebilmek için yabancı teknoloji transferine ihtiyaç duyan ülkeleri gelişmekte olan; ve
iii. Mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi konularına ciddi olarak girmemiş, dolayısıyla çevrimi bulunmayan ülkeleri de gelişmemiş

ülkeler şeklinde tarif etmek mümkündür. Bu durumda Türkiye' yi (ii) ve (iii)' ün arasında mütalaa etmek gerekir. Zira, bazı gelişmiş üniversitelerdeki çalışmalar, YİTAL' in mevcudiyeti, hızla gelişmekte olan elektronik endüstrisi ve nihayet TESTAŞ' ın üretim alanındaki faaliyetlerine hız kazandırması için gösterilen çabalar dikkate alındığında, Türkiye' yi (ilgili müesseseler arasında sıkı işbirliğinin en kısa zamanda temin edilmesi ümit ve arzusu ile) mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi alanında gelişmekte olan bir ülke gibi düşünmek mümkün olur.

Mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi elektronik endüstrisinin içindedir. Elektronik endüstrisi ise ülkenin ekonomik ve teknolojik politikaları ile yakından ilgilidir. Bu sebeple transfer edilecek teknolojinin ;

i. seçimi,
ii. absorbe edilmesi,
iii. adapte edilmesi,
iv. geliştirilmesi,
v. optimize edilmesi ve
vi. ülkenin sosyoekonomik şartlarına uyum sağlaması

gibi hususları ihtiva eden stratejinin belirlenmesi lazımdır. Ayrıca, ayrıntılı ve gerçekçi plan ve programlar yapılması, plan ve programların uygulanmasında her türlü engeli ortadan kaldıracak önlemlerin alınması şarttır. Teknolojinin transferinde belirlenecek strateji, hazırlanacak plan ve programlarda, A+G enstitüleri devletin en güvenilir danışmanlarıdır. Plan ve programların içinde yabancı teknolojinin ülke şartlarına uydurulması, endüstriye aktarılması ve geliştirilmesi konularında, A+G enstitüleri aktif rol oynar. Genel olarak;

i. insan gücü,
ii. laboratuar imkanları,
iii. mali imkanlar ve
iv. etkili bir yönetime sahip bulunan A+G

enstitüsü, teknoloji transferinde;

i. prototiplerin hazırlanması için gerekli bilgiyi ithal edebilir veya üretebilir,
ii. endüstri ile işbirliğine giderek prototiplerin imalatında yardımcı olabilir ve
iii. endüstriye sürekli bir şekilde yeni gelişmeler hakkında bilgi sağlayabilir.

Teknoloji transferi iki şekilde yapılabilir:
i. Doğrudan doğruya transfer (satın alma)
ii. Dolaylı transfer.

Doğrudan doğruya transfer, anahtar teslimi bir satın almayı tanımlamaktadır. Bu tip bir transfer mikroelektronik ve yarı iletken teknolojisi gibi seviyeli bir teknoloji için zararlıdır. Bu durumda teknolojinin absorpsiyonu ve geliştirilmesi oldukça zordur. Ancak böyle bir durum söz konusu olursa, o zaman A+G enstitüleri;

i. satın alma sırasında danışmanlık yapmada ve
ii. satın alınan sistemin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamada yardımcı olabilir.

Dolaylı transfer yöntemlerinden en önemlileri;

i. Lisans alma,
ii. İş başında eğitim,
iii. Teknik toplantılar,
iv. İşbirliği,
v. Yayınlar ve
vi. Teknolojik entelijans

olarak sıralanabilir.

Lisansla ülkeye kazandırılacak olan teknolojinin seçimi sırasında, kopya edilip ülke şartlarına uydurulmasında ve geliştirilmesinde A+G enstitülerine önemli görevler düşer. İyi sonuç almak için lisans satın alan kuruluş ile A+G enstitüsü arasında çok sıkı ve belki de gizli bir işbirliğinin olması gerekir.

İş başında eğitim teknoloji transferinde oldukça önemli bir yer tutar. Lisans anlaşmalarında genellikle yer alır. Eğitim görenlerin eğitimleri sırasında ve sonrasında araştırma enstitüleri ile irtibat halinde olmaları çok faydalıdır. Lisans anlaşmaları olmadan da iş başında yurt dışı eğitim imkanları sağlamak, bunun için ülkelerarası, müesseseler arası yardımlaşmalardan veya uluslar arası organizasyonların imkan ve aracılığından bilinçli bir şekilde yararlanmak mümkündür. Ancak bu durumlarda ne istendiğinin en küçük ayrıntısına kadar bilinmesi ve buna göre çaba gösterilmesi gerekir. Bilinçsiz ve başı boş bir eğitimin faydası olmaz.

Kongre, sempozyum, seminer gibi toplantıların, iyi hazırlanmış olmak ve uzman personelin katılmasını temin etmek kaydı ile teknoloji transferinde işe yaradığı söylenebilir.

Teknoloji transferinin önemli unsurlarından olan uluslar arası ikili işbirliği, proje bazında gerçekleştirilirse yeni teknolojiler ithalinde çok faydalı olur. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta, proje bazındaki işbirliğinin içine hem kullanıcının hem de o konuda uzman A+G enstitüsünün dahil edilmesi ve bu ikilinin çok yakın işbirliği içinde bulunmasıdır. En sağlıklı ve verimli transfer bu suretle gerçekleştirilmiş olur.

Uluslar arası bilimsel ve teknik yayınlar, ülkeler arasında değiştirilen teknik raporlar, periyodikler, faaliyet raporları gibi yayınlar, iyi bir dağıtım yapmak, dikkatle ve uzman kişiler tarafından incelenmek kaydı ile teknoloji transferinde faydalı olabilir.

Ülkemizde hemen hemen hiç önemsenmeyen ve fakat teknoloji transferinde çok etkin bir rol oynayan '**bilimsel ve teknik entelijans**' faaliyetlerinde A+G enstitülerine yine önemli görevler düşer. Gelen ham bilgilerin olgunlaştırılarak kullanıcıya aktarılması hiç şüphesiz uzmanlık isteyen bir husustur. Bu da ancak A+G enstitüleri veya üniversiteler gibi ülkenin en yüksek bilim ve teknoloji düzeyine sahip bulunan kuruluşlarında gerçekleştirilebilir.

### 5.1.1 ANAEM

Nükleer alanda faaliyet göstermek üzere 1966 yılında Türkiye Atom Enerjisi Komisyonu (şimdiki adı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından Ankara 'da kurulan ANAEM' in (Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) yarı iletken fiziği ve teknolojisi konusundaki çalışmaları kuruluş yılı ile başlamıştır. Bir mikro-mikro ampermetre ve yüksek voltaj güç kaynağından ibaret olan laboratuar imkanları ile Naftalin kristali üzerinde elektriksel iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Kristal büyütme, kontak alma gibi bazı teknik tecrübenin ışığı altında daha ziyade Naftalinin enerji band diyagramını çözümlemeye yönelik teorik ağırlıklı çalışmalar yapılmıştır. CENTO yardımından sağlanan bazı temel laboratuar imkanlarından sonra, Si ve Ge kristalleri ile çalışılmaya başlanmış ve 1968-1971 yılları arasında p-n eklemleri (jonksiyon) , Schottky engelleri, tek ve çift enjeksiyon akımlarının incelendiği SCL diyodlar, varaktör diyodlar ve p-i-n diyodlar inşa edilmiş, teknolojik her türlü problem klasik yarı iletken teknolojisi çerçevesinde laboratuarda çözülmüştür. Problemlerin çözümünde rol oynayan faktörlerin başında Birmingham Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü ile yapılan çok sıkı işbirliği zaman zaman katılınan bilimsel toplantılar ve iç-yayınlar mübadelesi gelmektedir. Bu zaman aralığı içinde yukarıdaki elemanları inşa edip geliştirebilecek nitelikte 9 eleman kazanılmıştır.

1971' den sonra uluslar arası organizasyonların imkanlarını kullanmak ve Birmingham Üniversitesi ile işbirliğini devam ettirmek sureti ile yurt dışına iş başı eğitimi, kısa süreli araştırma ve tetkik gezileri için eleman gönderilmiş ve bunların dönüşlerini takiben 1972 başlarında entegre komponent yapımı, oksit büyütme gibi teknolojilere girilmiştir. 1972-1977 yılları arasında MOS, $p^-$ nM, MSM, p-i-n gibi elemanlar Si pullar üzerinde aynı özelliklere sahip olacak şekilde ve çok sayıda inşa edilebilmiştir. Maske hazırlama, fotolitografi, kimyasal işlemler, kesme ve paketlemenin tümü laboratuarda gerçekleştirilmiştir. Fotolitografi laboratuarı imkanları da Merkezde geliştirilerek imal edilmiştir. Daha sonraki yapılan çalışmalar bu elemanların bazı elektronik özelliklerinin ölçülmesi, sonuçlarının bir tezde veya raporda yayınlanmasından ibaret kalmıştır. 1972-1977 yılları arasında bu konularda yetişen eleman sayısı 16' dır.

Yarı iletken teknolojisine paralel olarak kristal büyütme, termolüminesans, ince ve kalın yalıtkan filmler, CdS ve $Cu_2O$' den yapılan Schottky diyodlar ve Hall olayı gibi konularda da çalışmalar sürdürülmüş ve 17 eleman yetiştirilmiştir.

1966-1977 yılları arasında ANAEM Katı Hal Fiziği Laboratuarında çalışan eleman sayısı toplam olarak 42' dır. Bunların 13 tanesi istihdam edilenler, 29 tanesi de 1-3 yıl arasında laboratuarda bulunarak tez çalışmaları yapanlardır. Yapılan tezlerin 6' sı Doktora, 5' i lisans ve de en az 1 yıl süreli yüksek mühendis tezleridir.

ANAEM' de başladığı çalışmaları halen yurt içinde ve yurt dışında, üniversite veya araştırma enstitülerinde sürdürmekte olan 11 eleman vardır. Bunlardan sadece 3 tanesi ANAEM' de olup MIS tipi güneş pilleri üzerinde çalışmaktadır.

ANAEM 'in katı hal fiziği konusundaki bu faaliyetleri 1977 ortalarından itibaren durmuş ve bir süre 2-3 kişilik bir grup vasıtası ile katı hal radyasyon dedektörlerinin yapımı ve geliştirilmesini içine alan çalışmalarla sürdürülmüştür.

1968-1977 yılları arasında ANAEM Katı Hal Fiziği Laboratuarında yapılan çalışmalar, yarıiletken teknoloji transferine ve teknoloji üretimine tipik bir örnektir. Elde edilen teknoloji, ANAEM' den ayrılanlarla birlikte başka müesseselere taşınmış ve orada geliştirilmeye, en azından sürdürülmeye çalışılmıştır. Ancak bu teknolojinin kazanılmasında katkısı, bilgi ve

becerisi olan bir çok kişi, tamamen ilgisiz konularda çalışmak zorunda kaldıklarından, bu teknolojiyi geliştirmek şöyle dursun, maalesef unutmuşlardır. Tarafsız bir gözle geçmiş yıllara ve zamanımıza bakıldığında, ANAEM' de teknoloji kazanma çabalarının amacına ulaşmadığı görülür. Bunun sebebi, teknoloji kazanılmasında varolması kaçınılmaz olan üretim imkanının o zaman ülkede mevcut olmamasıdır. Şayet mevcut olsaydı, yarı iletken teknolojisinde bilgi ve beceri kazanmış olan elemanların istihdamı yolu ile bu teknolojik tecrübe yaşatılıp geliştirilebilirdi.

Türkiye yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik alanında geçmişe göre bazı ilerlemeler kaydedilmiş olmakla beraber, yine pek farklı bir durumda değildir. Üniversite ve A+G enstitülerinde şahsi gayretlerle sürdürülen, büyük bir kısmı akademik derece almaya yönelik, birbirinden bağımsız ve habersiz çalışmalar vardır. 1984 yılında yapılan bir ankete göre yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik konuları ile ilgili olan personel sayısı 54' dür. Laboratuarlarda faaliyet gösterenlerin sayısı ise 36 olup, bunlar 15 değişik konuda çalışmaktadır. Bunların hepsi mikroelektronik alanında çalışıyor olsa bile, Türkiye gibi bir ülke için çok küçük bir insan gücünü teşkil eder. Zira, gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Arjantin' in sadece Elektronik Komponent Geliştirme Merkezi (CENICE)' de 18' i bilim adamı 20' si kalifiye teknisyen olmak üzere toplam 51 kişi çalışmaktadır. Bu da gösteriyor ki, Türkiye'nin her şeyden önce yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik alanında kaliteli ve yeterli sayıda insan gücüne acil ihtiyacı vardır.

Laboratuar durumuna gelince, yarı iletken teknolojisi ve mikroelektronik alanlarında donatılmış 9 laboratuar vardır. Bunlardan bir tanesi TÜBİTAK' da olmak üzere 5 tanesi Türkiye şartlarına göre iyi donatılmış sayılır. Ancak uluslar arası düzeyde düşünülürse, YİTAL dışında hepsinin pek çok eksikleri mevcuttur.

Bu laboratuara her yıl harcanan paranın miktarı hakkında bir şey söylemek mümkün değildir. Zira hepsi ayrı kuruluşların içinde yer almakta ve kendilerinin kontrolünde olan bir bütçeye sahip bulunmamaktadır. Ancak bu laboratuarın harcamalarının çok düşük seviyelerde olduğuna da şüphe yoktur. Arjantin' in CENICE Merkezinin 1981 yılı bütçesi 1.6 milyar Dolar yani yaklaşık 690 milyon TL.' dır. Sanırım Türkiye 'deki bütün yarı iletken laboratuarının bütçeleri toplamı bunun yarısı bile değildir. 1981 yılında Türkiye'nin toplam A+G harcamalarının 12 milyar TL. civarında olduğu düşünülürse yalnız CENICE' in bütçesinin bu miktarın %8 ' i civarında olduğu görülür. Bu durumda, yarı iletken teknolojisi ve mikroelektroniğe Arjantin' de verilen önem ortaya çıkar.

Bütün bunlar gösteriyor ki, Türkiye' de yarı iletken teknolojisi alanında;

i. insan gücü yetersiz,
ii. laboratuarlar tam teçhiz edilmemiş ve dağınık,
iii. mali imkanlar çok kısıtlı ve
iv. plan, program ve kuruluşlar arası koordinasyon

zaaf içinde bulunmaktadır.

Bu sebeple önce bütün bu menfi etkenleri ortadan kaldırmak, daha sonra bilinçli ve sağlıklı bir teknoloji transferi veya üretimi meselesine el atmak lazımdır. Kanımca, bunun için alınacak ilk ve acil tedbir örgütlenmedir. Yani, Türkiye' de yarı iletken çalışmaları amaçlı, planlı, programlı ve koordineli bir şekilde yürütülmelidir. Bu iş için odak noktası YİTAL olabilir. YİTAL' in diğer bütün laboratuarlarla ve elektronik endüstrisi ile çok yakın işbirliği içinde bulunması, kendisi ile ilgili faaliyetlerinde onlara yardımcı olması gereklidir. YİTAL Türkiye'nin yarı iletken teknolojisi alanında yegane ümididir. Laboratuar imkanları yeterli

(mevcut yatırım tutarı 1.1milyon Dolar (ABD), CENICE' nın yatırım tutarı 1.87miyon Dolar (ABD), fakat insan gücü çok az ve mali kaynakları kısıtlıdır. İnsan gücünü en kısa zamanda yeterli seviyeye çıkarması gerekir. Bunun için iç ve dış imkanlardan azami derecede ve seri bir şekilde faydalanmalıdır. Nihayet, lider bir kuruluş olması bakımından YİTAL' in aşağıdaki soruların cevaplanmasında öncülük etmesi faydalı olur:

i. Türkiye mikroelektronik teknolojisine nereden girmelidir?
a. komponent geliştirme bakımından
b. uygulamalar bakımından (haberleşme, medikal, bilgi işlem,... vb)

ii. Temel ve uygulamalı araştırmalarda plan ve programlar ne olmalıdır ve hangi kuruluşlarla yürütülmelidir?
iii. Mikroelektronikle ilgili diğer konularda (sensör geliştirme, paketleme, materyal geliştirme, test teknikleri, ....vb) ne şekilde yol izlenmelidir?

Dolayısıyla YİTAL, ülkede mikroelektronikle ilgili,

i. teknoloji transferi, üretilmesi ve geliştirilmesi,
ii. araştırma-geliştirme faaliyetlerinin teşviki, organizasyonu ve koordinasyonu

gibi konularda öncü bir kuruluş olmalıdır. Bu görevler, bünyesinde veya TÜBİTAK' da teşkil edilecek komisyon veya sürekli komiteler ile yerine getirebilir. [36]

### 5.1.2 TÜBİTAK MAM UEKAE

Tümdevre üretim teknolojileri konusunda yerel endüstriye araştırma geliştirme desteği vermek ve gerektiğinde bu tümdevrelerin üretimini gerçekleştirmek amacıyla 1983 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi bünyesinde Yarı İletken Teknolojisi Araştırma Laboratuarı (YİTAL) kurulmuştur. 1983-1987 yılları arasında standart lineer bipolar tüm devre süreci geliştirilerek 'darbe genişlik modülatörü-PWM' ve 'faz kenetlemeli çevrim-PLL' tüm devrelerinin protip üretimleri yapılmıştır. Buna paralel olarak güç diyodu, güneş pili, yüksek frekans güç transistoru gibi ayrık devre elemanları konusunda da geliştirme çalışmaları yapılmıştır. 1988 yılında NATO SfS programı çerçevesinde sağlanan maddi destek ile ' Silicon LSI/VLSI Circuits Fabrication Technologies' projesine başlanmış ve laboratuar CMOS tüm devre üretimi için gerekli teçhizat ile donatılmıştır. 1992 yılında tamamlanan bu proje ile 3 μm CMOS teknolojisi kullanılarak endüstri için 3 faklı tüm devre üretilmiştir. Ayrıca 2 tüm devre üretimde olup 1 tüm devre tasarım aşamasındadır. Bunlara paralel olarak 2 KBit ROM, 5 bit 15 MHz analog-sayısal çevirici, işlemsel kuvvetlendirici, yapay sinir ağları için özel uygulamalar gibi tümdevreler laboratuar içi çalışmalarda üretilen tüm devrelerden bazılarıdır. 1994 yılında NATO SfS programı çerçevesinde '1.5 mikron CMOS ASIC Fabrication Technology' isimli yeni bir proje başlatılmıştır. Laboratuarın mevcut cihaz donanımı 1.5 μm olup çift metal çift poli CMOS tümdevre üretimi için gerekli teçhizatla geliştirilmektedir.

Mikroelektronik, günlük yaşamın hemen her aşamasında karşımıza çıkan, elektronik sistemlerin çok küçük fakat çok yetenekli olmasını sağlayan bir teknoloji olarak 20. Yüzyılın ikinci yarısına damgasını vurmuştur. Dünya yariiletken pazarı 1994 yılında 100 milyar Doları (ABD) aşmış olup 2000'li yılların başında 200 milyar Dolar (ABD) olması beklenmektedir.
Ülkemizde bu konuda yapılan ilk çalışmalar 1970'li yıların sonlarında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Fakültesi bünyesinde kurulan Mikroelektronik Laboratuarı ile başlamıştır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde bir Yarı İletken Teknolojisi

Laboratuarı (YİTAL) kurulması konusunda ilk girişimler 1977 yılında başlamış ve bir kamu kuruluşu olan TESTAŞ' ın bir yarıiletken fabrikası kurma girişiminde bulunması üzerine, kurulacak laboratuarın ilk aşamada, TESTAŞ' a araştırma-geliştirme desteği verecek şekilde donatılması ve İTÜ mikroelektronik laboratuarının bu alanda yetişmiş personelinin katkılarından yararlanılması uygun görülmüştür. Laboratuarın kuruluş çalışmaları 1983 yılı Nisan ayında tamamlanmış ve süreç deneme çalışmalarına başlanmıştır.

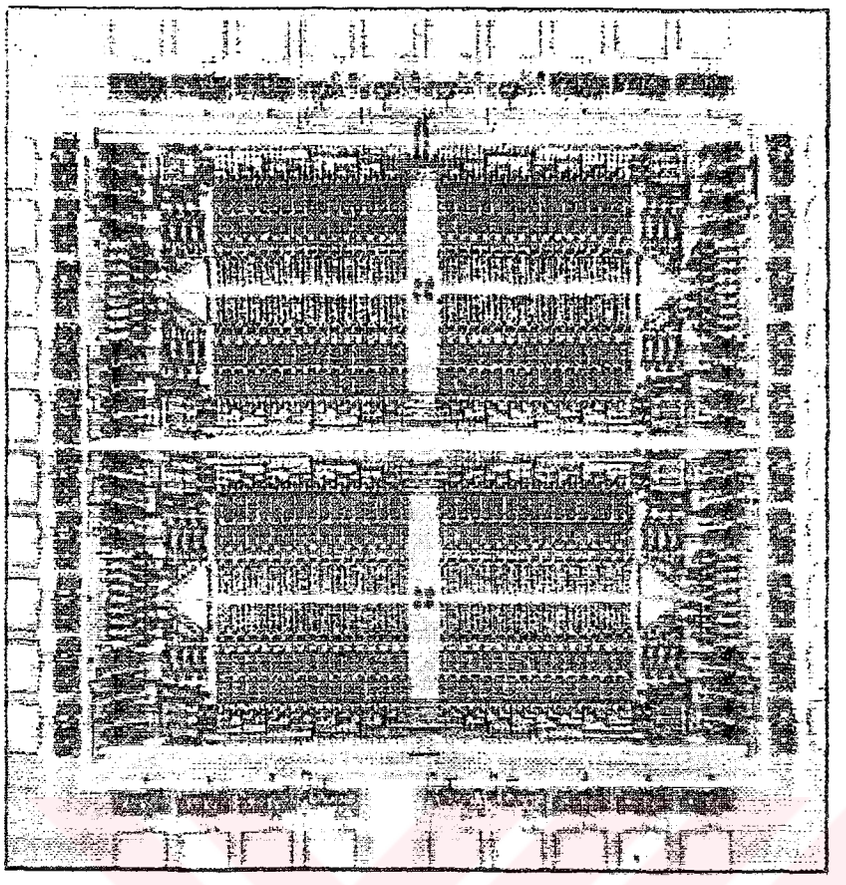
Bipolar Tümdevre Üretimi:
YITAL' de gerçekleştirilen ilk çalışma, TESTAŞ' ın yurt dışından satın aldığı 'analog bipolar tüm devre üretim prosesi bilgi paketinin- Know How' ülkemiz koşullarına uyacak şekilde değiştirilerek uygulanmasıdır. Bilgi paketinde p-tipi katkı kaynağı olarak önerilen $BCl_3$ gazı ömürlü bir malzeme olup kararlılığı iki ayda bozulmaktadır. Böyle bir malzemenin Türkiye'ye ithalinin pratik olarak mümkün olmaması nedeniyle bu gaz kaynağı yerine, BorNitrür(BN) katı kaynağı ve $BBr_3$ sıvı kaynağı p-tipi difüzyon için YITAL' de optimize edilmiştir. Ülke şartlarına daha iyi uyan bu prosesle prototip tüm devre üretimi gerçeklenmiş ve 'Darbe Genişlik Modülatörü' ile 'Faz Kenetleme Devresi' üretilmiştir.

Bipolar tüm devre üretim prosesine paralel olarak güç diyodu, güneş pili ve yüksek frekans güç transistoru gibi çeşitli ayrık devre elemanı üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yüksek frekans güç transistoru iki ayrı test devresinde denenmiştir. 27 MHz C sınıfı çalışan ilk test devresi 20W çıkış gücüne, 13dB kazanca ve %75 verime sahiptir. 145 MHz AB sınıfı çalışan ikinci test devresi ise 10W çıkış gücüne, 5 dB' den büyük kazanca sahiptir. Tek kristal silisyum pullar kullanılarak güneş pilleri gerçeklenmiştir.

MOS Tümdevre Üretimi:
a. PMOS ve NMOS tümdevre üretimi:
YİTAL' in tümdevre üretimine elverişlilik açısından bir ön değerlendirme yapma amacıyla daha önce İTÜ Mikroelektronik Laboratuarında 'spin-on' katkılama tekniği kullanılarak geliştirilmiş olan Alüminyum geçitli kanal oluşturmalı PMOS teknolojisi ile çeşitli boyutlarda MOS transistorlar ile büyük alanlı bir yük pompası ihtiva eden bir test tümdevresi üretilmiştir. Bu çalışmada, İTÜ' de geliştirilen prosesten farklı olarak bazı temizlik süreçlerinde değişiklikler yapılmış, geçit oksiti kalınlığı 1200 A°' den 1080 A°'e, kaynak ve savak(akaç) jonksiyon derinlikleri 3 μm' den 2 μm' ye indirilmiştir.

YİTAL' de 3μm CMOS tüm devre üretimi çalışmalarının başladığı 1988 yılında, laboratuar henüz bu süreçler için gerekli teçhizatla tam olarak donatılmamış iken fotolitografi, implantasyon gibi çeşitli süreç adımlarını test etmek amacıyla, Alüminyum geçitli NMOS teknoloji kullanılarak bir test tümdevresi üretilmiştir. Bu tümdevrede kanal ayarlamalı (depletion type) ve kanal oluşturmalı(enhancement type) transistorlar, eviriciler, ring osilatörleri ve çeşitli test yapıları bulunmaktaydı. Kanal ayarlamalı transistorlar iyon ekme cihazı kullanılarak kanal bölgesine Arsenik implantasyonu yapılmak suretiyle, kanal oluşturmalı transistorlar ise kanal bölgesine Bor implantasyonu yapılarak elde edilmiştir. Geçit oksiti kalınlığı yaklaşık olarak 450 A° yapılmıştır.

b. 3 μm tek metal CMOS tümdevre üretimi:
1987 yılında endüstrinin taleplerine uygun olarak CMOS LSI/VLSI devreler için proses geliştirilmesini ve protip üretimini yapabilecek bir merkeze sahip olmak, bu alandaki gelişmeleri izleyip özümleyebilecek ve lokal endüstrilere destek verebilecek nitelikte elemanlardan oluşan bir '**kritik kütle**' oluşturmak amacıyla başlatılan projeye 'NATO Science for Stability' programından maddi destek sağlanmıştır. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi ve TELETAŞ' ın katıldıkları bu proje ile 3 μm poli geçitli tek metal n-kuyu CMOS tümdevreler üretebilmek için gerekli ilave teçhizatlar YİTAL' e kurulmuştur.



**Şekil 5. 1 YİTAL' de üretilen ROM kırmığının foto-mikrografiği [37]**

Bu proje kapsamında, 'Uygulamaya özgü tümdevre –ASIC (Application Specific IC)' yaklaşımıyla üretim yapabilmek amacıyla 3μm CMOS standart hücre kütüphanesi hazırlanmıştır. Bu kütüphane hem kişisel bilgisayar hem de iş istasyonu ortamlarında kullanılabilmektedir.

1992 yılında Avrupa Topluluğu bünyesinde oluşturulan EUROCHİP organizasyonuna üye olunarak alınan maddi destek ile tümdevre tasarımı ve test edilmesi alanında gerekli donanım geliştirilmiş ve eğitim desteği sağlanmıştır.

1992 yılında tamamlanan CMOS LSI/VLSI projesi ile elde edilen teknolojik düzey ile SİMKO ve NETAŞ için 3 ASIC üretilmiştir. Yine endüstri için 2 tümdevre üretimde olup 1 tümdevre tasarım aşamasındadır. Ayrıca üniversite öğrenci projeleri ve laboratuar içi çalışmalar olarak 2Kbit ROM, yapay sinir ağı uygulama devreleri, aşağı-yukarı sayıcı ve geliştirilen çift poli prosesi desteği ile 15 MHz 5 Bit analog-dijital çevirici, CMOS işlemsel kuvvetlendirici gibi tümdevreler üretilmiştir.

c. 1.5 μm çift metal CMOS tüm devre üretimi:

Özellikle telekomünikasyon alanında çalışan firmaların gereksinim duyduğu tümdevrelerin hız ve fonksiyon karmaşıklığı açısından daha düşük geometrik desenli ve en az çift metal katmanlı CMOS teknolojilerine ihtiyaç duyması nedeniyle, 1994 yılında 'NATO Science for Stability' programı ve TELETAŞ, NETAŞ, BEKO ve SİMKO' nun maddi destekleriyle '1.5 Micron CMOS-ASIC Fabrication Technology' isimli yeni bir projeye başlanmıştır.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

1.5 μm çift-poli çift-metal iki-kuyu CMOS tümdevre üretimi için gerekli ilave donanımın satın alımı ve laboratuara kurulması işlemleri devam etmektedir. 1995 yılı içinde 1.5μm transistor, evirici ve ring osilatöründen oluşan bir test tümdevresi tek metal katmanlı olarak üretilmiştir. 1.5 μm çift-metal CMOS standart hücre kütüphanesi geliştirme çalışmaları devam etmektedir. 1996 yılı içinde bu standart hücrelerin bir test tümdevresi içinde üretilip karakterizasyonunun yapılması planlanmaktadır.

Yital Donanımı:
a. Altyapı

YİTAL, bir $ft^3$ ' deki 0.5μm ve üzerindeki partikül sayısı 1000 adet olan $450m^2$'lik bir temiz alandır. Hava Şartlandırma Sistemi; laboratuar sıcaklığını 20 C° de tutmakta ve 1260 $m^3$ olan laboratuar havasını dakikada 2 kez değiştirmektedir. DI(DeIyonize) Su Sistemi; 23 C°' de 18 MΩcm dirençli, 0.2 μm filtreli ve 2 ton/gün kapasiteye sahiptir. Egzoz Fan Sistemi; laboratuar içinde kullanılmakta olan zehirli gazların kullanıldığı 12 farklı cihazda değişen debilerde havalandırma sağlamaktadır. Su Soğutma Sistemi; 15-20 C° sıcaklık aralığında, 60 litre/dakika debiye sahiptir.

b. Tümdevre Tasarım Olanakları:

- İş İstasyonları:

1 adet SUN SparcStation2,
1 adet SUN SparcStation10,
1 adet HP710

- Yazılım Paketleri:

SYNOPSYS (Lojik Devre Sentezi),
HSPICE (Devre Simülasyonu),
MINIMOS (MOS Transistor Simülasyonu),
SUPREM (Süreç Simülasyonu).

c. Üretim Olanakları

- Süreç Alanı:

10 adet yüksek sıcaklık (900-1200 C°) difüzyon ve oksidasyon fırınları,
İyon ekme cihazı(Varian CF-5),
3 adet LPCVD Sistemi ($SiO_2$, poli-Si ve $Si_3N_4$ film depolamaya uygun),
APCVD Sistemi (katkılı $SiO_2$ depolamak için),
$O_2$ plazma reaktörü(Technics),
$Si_3N_4$ plazma aşındırma reaktörü(Technics),
İki odalı Reaktif İyon Aşındırma Sistemi (Oxford Plasma),
Alüminyum Buharlaştırma Sistemi, e-gun ve sputter (R&D Coater Varian),
TEOS tabanlı $SiO_2$ oluşturmalı PECVD sistemi (STS),
Alüminyum Sputter Sistemi (STS),

- Süreç İçi Ölçüm Sistemleri:

Taramalı Elektron Mikroskobu (JEOL JSM-5800),
İnce Film Kalınlığı Ölçme Sistemi(Nanometrics),
Ellipsometre (Applied Materials),
Metal Film Ölçme Sistemi (M-gauge Tencor),
Yüzey Profilleme Cihazı (Alpha-Step Tencor),

Dört Nokta Probu(Veeco),
Kapasite-Gerilim Ölçme Sistemi,

- Fotolitografi Alanı:

Cam Maske Üretme Cihazı (Gyrex, 1005),
Projeksiyonlu Patern Transfer Sistemi (GCA 6300),
Fotorezist Film Serme Sistemi,
Temaslı Patern Transfer Sistemi (Karl Süss MJB3),
Optik Mikroskoplar,

- Kimya Odası:

Kimyasal Süreçlere uygun temiz tezgahlar,
Silisyum pul kurutma sistemi,
Sıcaklık kontrollü banyolar,
Optik Mikroskop,

- Tüm devre Kılıflama Sistemleri,

Silisyum pul inceltme sistemi (Logitech),
Pul kesme sistemi (Tempress),
Kırmık yapıştırma sistemi (Kulicke&Sofia),
Ultrasonik tel bağlama sistemi (Tempress),
Kılıflama fırını,

- Tüm devre Test Sistemleri,

Otomatik prober (KARL Süss PA200),
ASIC Test Cihazı (LV-500 Tektronics),
Parametre Analizörü (HP4145).

Sonuçlar ve Hedefler:
1987 yılında başlatılan 'Silicon LSI/VLSI Circuits Fabrication Technologies' projesi ve 1994 yılında başlatılan '1.5 Micron CMOS-ASIC Fabrication Technology' projesi için bir 'Bilgi Paketi-Know How' satın alınmamış, her iki üretim süreci, açık literatürden yararlanılarak YİTAL' de geliştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda tümdevre üretim teknolojisi alanında yeterli bilgi birikimi ve yetişmiş çekirdek kadro oluşmuştur.

2 Danışman, 11 Mühendis ve 4 Teknisyan ile çalışmalarını sürdüren YİTAL, tümdevre kırmık alanına bağlı olmakla beraber yılda ortalama 20.000 tümdevre üretebilecek kapasiteye sahiptir. Bu sayıda tümdevrenin yurt dışında kılıflattırılması gerekmektedir. YİTAL' de mevcut kılıflama olanaklarının geliştirilerek bu işleminde YİTAL' de yapılması planlanmaktadır.

Elektronik mühendisliği öğrenimini gören öğrencilerimizin mikroelektronik alanına olan ilgilerinin artırılması, üniversitelerde bu konularda ders programlarının geliştirilmesinin teşvik edilmesi ve YİTAL ' deki bilgi birikiminin üniversitelerimizle paylaşılması amacıyla 'TÜBİTAK-Üniversite Mikroelektronik İşbirliği Projesi- TÜMİP' adıyla bir projenin 1997 yılında hayata geçirilmesi planlanmaktadır. [37]

### 5.1.3 İTÜ-ETA

ETA (Advanced Electronic Technologies: ETA) Tasarım Merkezi İTÜ-ETA Vakfi'nın bir girişimi olarak 1991' de İTÜ Teknoparkında (İTÜ-KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezinde) faaliyete geçti. Vakıf 1989' da 5 elektronik sanayi şirketi tarafından İTÜ'nün elektronik alanında üniversite-sanayi işbirliğini teşvik amacı ile kurulmuştu. Sayıları şimdi 7 olan destekleyici sanayi kuruluşları tüketim elektroniği, telekomünikasyon, ev cihazları ve kontrol alanlarında faaliyet göstermektedir. Vakfin tüm faaliyetleri destekleyici kuruluşların üst yöneticileri ve İTÜ temsilcilerinden oluşan bir Yönetim Kurulu tarafından düzenlenmektedir.

Vakfin ilk girişimi olarak kurulmuş olan ETA Tasarım Merkezi için üç alanda görev tanımı yapılmıştır:

i. Destekleyici kuruluşların yahut diğer sanayi kuruluşlarının ihtiyaç duydukları ASIC tasarımının yapılması, prototip ve seri üretimlerinin yaptırılması için gerekli hizmetlerin sunulması,
ii. ASIC konusunda eğitim ve danışmanlık hizmetlerinin verilmesi,
iii. ASIC teknolojileri alanında dünyadaki gelişmeleri izleyerek sanayinin ihtiyaçları doğrultusunda Ar-Ge projeleri üretmek.

1976' dan beri mikroelektronik öğretimi yapmakta olan İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, bu faaliyetlerin gerçekleştirilesi için gerekli olan bilimsel ve teknolojik desteğin sağlanacağı ana kaynak olarak tanımlanmıştır.

Aşağıda ETA Tasarım Merkezinin sahip olduğu alt yapı kısaca özetlenmiştir:

Tüm tasarım çalışmaları bir 'SUN Ultra Enterprise' sunucuya bağlı 6 SUN Ultra-1 iş istasyonu üzerinden yapılmaktadır. Kullanılan yazılım Solaris 2.5.1. işletim sistemi üzerinde çalışan 'Cadence Design Framework version 4.4.1 QSR5 dır ve aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- 'Design Entry, Simulation Test Language, Waveform Display, Open Simulation System, Open Test Code Generator' sayısal tasarım araçları,
- 'EDIF in/out, Stream in/out' çeviriciler,
- 'Cadence Synthesiser & Optimizer (Synergy)' sayısal sentez araçları, Cadence'den Synopsis' e ara yüz,
- 'Verilog, Veritime, VHDL-XL, Verifault' sayısal doğrulama araçları,
- 'Analog Artist Design Entry, SPICE interface with SPICE 2G-6, Analog Artist Layout Editor' analog benzetim araçları,
- 'Virtuoso Layout Editor, Virtuoso Compactor, Layout Synthesiser' serim tasarımı araçları,
- 'HSPICE, CADENCE SPICE, Spectre' analog tasarım araçları,
- 'Design Planner Cell Ensemble, Block Ensemble' yerleştirme ve birleştirme araçları,
- 'DIVA (DRC, ERC, LPE, PRE, LVS)' serim doğrulama araçları,
- 'SYNOPSIS Design System (Design Compiler, Design Analyser, Test Compiler, VHDL Compiler, VHDL System Simulator)',
- HSPICE version H98.02,
- XILINX FPGA tasarım aracı.

ETA' da 'Tektronix LV 512 ASIC Tester' merkezli bir test sistemi de bulunmaktadır.

ETA Tasarım Merkezi, tasarımı yapılan tümdevrelerin prototip ve sınırlı sayılarda üretimi için bir Avrupa Komisyonu organizasyonu olan EUROPRACTISE ve CMP üzerinden Avrupa' da bulunan çeşitli tümdevre üretim evlerine (Alcatel Microelectronics, Austria Mikro Systeme, GEC Marconi, Newport Wafer Fab., Temic Matra MHS....) erişme olanağına sahiptir.

ETA Tasarım Merkezi, bir EUROPRACTISE üyesi olan ve benzer donanım ve yazılım altyapısına sahip olan 'İTÜ VLSI Tasarım Laboratuarı' nın desteğine de sahiptir. Bu laboratuar araştırma ve eğitim hizmeti vermekte olup elemanlarının birikiminden ETA Tasarım Merkezinde de yararlanılmaktadır. ETA ayrıca endüstriyel tasarım projelerinde görev alabilecek niteliklere sahip geniş bir yüksek lisans öğrencileri havuzuna erişim olanağına da sahiptir.

ETA' da bugüne kadar tamamlanmış olan projeler standart hücre tabanlı sayısal tasarımlardan ve transistor düzeyinden başlayan yüksek performanslı analog-sayısal tasarımlara kadar geniş bir spektruma yayılmıştır. Tasarım deneyimi haberleşme sistemlerinde kullanılan tümdevrelerden tüketim elektroniği devrelerine kadar geniş bir alanı kapsamaktadır.

İTÜ-ETA Vakfi sanayi kuruluşlarına sistem düzeyinde geliştirme projelerinin gerçekleştirilmesinde de destek vermeye başlamıştır.

ETA Tümdevre Tasarım Merkezi:
ETA Tümdevre Tasarım Merkezi İTÜ-ETA Vakfının bir kuruluşudur. Merkezi kuran ve destekleyen kuruluşlar; Arçelik, Beko Elektronik, Inter, İTÜ, NETAŞ, Alcatel-Teletaş ve Vestel dir.

a. Sunulan Hizmetler:

i. ASIC tasarımı (analog, sayısal, karışık(hibrit) mod, örneklenmiş analog, standart hücre tabanlı ve tam özel)
ii. Prototip ve seri üretim aracılığı,
iii. Üretim öncesi ve sonrası testler,
iv. Yapılabilirlik (fizibilite) etüdleri,
v. Danışmanlık ve endüstriyel eğitim,
vi. Sistem düzeyinde geliştirme projeleri.

b. Erişebildiği Teknolojiler:

i. Alcatel Microelectronics: 0.35-2 μm CMOS, 0.7 μm I2T CMOS, 2 μm HBIMOS, 1.2 μm HBIMOS-F,
ii. Austria Mikro Systeme: 0.35-1.2 μm CMOS, 0.6-1.2 μm BiCMOS,
iii. GEC-Marconi: f20 MESFET GaAs, H40 HEMT GaAs,
iv. Newport Wafer Fab: 0.5,
v. TEMIC Matra MHS: 0.8 μm BiCMOS SOI,
vi. STMicroelectronics: 0.25 μm HCMOS7,
vii. Philips: 0.2 μm GaAs HEMT. [38]

### 5.1.4 BÜ-BETA

VLSI Tasarım Laboratuarı 1993' de VLSI alanında araştırma yapmak ve endüstriyel şirketlerin ASIC taleplerine cevap vermek amacı ile kuruldu. Bu alandaki fakülte üyelerini yeni projeler ile üniversite ve endüstriyel desteklerle VLSI Tasarım Laboratuarı BETA' da bir araya toplamıştır. BETA Haziran 1996' da Boğaziçi Üniversitesi Elektronik Tasarım Araştırma Laboratuarı (BU-BETA) adını almıştır.

BETA VLSI Tasarım Olanakları:

Laboratuarda;
4 Sun Ultra5/270,
1 Sun Sparc Station 4

ile birlikte 'Mentor Graphics TM v. C.1. Electronic Design Automation' yazılımı için 20 GB kapasite ayrılmıştır. Bununla birlikte, Spice 2G.6, Switcap, HSPICE, Magic 6.5, Ocean Sea of Gates Designer ve Berkeley- SIS(lojik optimizasyon ve sentez için) yazılımları VLSI devrelerin CAD tasarımında kullanılmaktadır.

Laboratuarda analog sinir ağları simülasyonu ve gerçekleştirilmesi, otomatik yerleşim sentezleri, analog hücrelerin derlenmesi, analog hücre ve sayısal çarpıcılar için Si toplayıcılar ve DSP uygulamalarında gerekli VHDL kütüphanelerinin sentezleri için yerli yazılımlar geliştirilmektedir.

Bunlarla birlikte;
i. 1 Pentium MMX (LABView ve DAQ kart ile analog IC testi)
ii. 1 Macintosh Quadra 900
iii. 1 Performa 5400
iv. 2 G3 bilgisayarı

'Design WorksTM CAD, UNCLE, MATLAB v5.1, Code Warrior IDE3' yazılımları için kullanılmaktadır. Yüksek performanslı A0 boyutlu çizici (plotter) bilgisayarlara bağlanmıştır. Laboratuar Euro Practice üyesidir (Mietec (0.5μm, 0.7μm CMOS ve 2μm HBiMOS teknolojileri ve Tasarım Kitleri mevcuttur). Bu üyelik üniversite-sanayi işbirliğini ASIC tasarımında desteklemektedir.

Test Olanakları:
BETA laboratuar aşağıdaki test ve ölçüm cihazlarına sahiptir:
i. 1*4 kanal 1 GHz dijital hafizalı osilaskop ,
ii. 1*400MHz 96 kanal lojik analizör,
iii. 1*Data I/O model 2900 EPROM, PLD programlayıcı,
iv. 1*Ultra yüksek performanslı spektrum analizör ve izleme jeneratörü,
v. 1*Hassas sentezli RF sinyal jeneratörü,
vi. Çeşitli sinyal ve tarama jeneratörleri,
vii. Çeşitli pals jeneratörleri,
viii. Çeşitli çok yüksek performanslı osilaskoplar,
ix. Interference Contrast Mikroskop,
x. Çeşitli mikroişlemci tabanlı sistemler.

Araştırma Alanları:

VLSI tasarım grubu kurulduğundan beri aşağıdaki alanlarda araştırma yapmaktadır:

i. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD): Ticari CAD programları özel VLSI tasarım uygulamaları için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle aşağıdaki programlar geliştirilmiştir:
   a. Silicon Compiler for MultirateSystems,
   b. Analog Silicon Compiler
   c. Analog Layout Synthesizer
   d. Digital Test System Design
   e. Silicon Assembler for Booth Multipliers
   f. Wave Form Relaxation Based MOS VLSI Circuits Simulators

ii. DSP Mimarileri: VLSI uygulamalarından biri telekomünikasyondur. Video kodlama ve görüntü sıkıştırma algoritmalarını gerçekleştiren işlemci veya codec formundaki ASIC en iyi çözüm olmaktadır. Aşağıdaki işlemciler karışık aşağı-yukarı ve yukarı-aşağı yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemcilerin bir kaçı son işlem aşamasında olup Wavelet transformunu gerçekleyenler fabrikasyona hazır hale gelecektir:
   a. Morphological Filters for Image Processing
   b. 2- Band Wavelet Decomposition and Synthesis Architectures
   c. M- Band Wavelet Decomposition and Synthesis Architectures
   d. Shuffled block Transform Processor

iii. Sayısal Oluşum Blokları: Dijital sistemlerde kendi oluşum bloklarınızı tasarlamanız gerekmektedir. İşlemcilere ek olarak önemli veri yollarının optimum tasarımı VLSI da önemli alanlardan biridir. Aşağıdaki bloklar Si işleminde tanımlanmıştır ve tasarlanmıştır. Bu bloklardan birkaçı iki hafta içinde prototip üretimine gönderilebilir:
   a. Bit level pipelined parallel multiplier
   b. Digit serial multiplier
   c. Radix 2n multiplier
   d. Radix-2 booth encaded multiplier

iv. Sinir Ağları: VLSI tasarım grubu kalite araştırması, akıllı kontrol ve model tanıma gibi endüstriyel uygulamalarda bir seçenek olabilecek sinir ağlarına etkili bir tasarım getirmektedir. Sinir ağlarının geleneksel kullanımı bilgisayarda programı çalıştırmak veya belirli donanımları çalıştırmaktır. Bununla birlikte, tek kırmık implementasyonu ideal çözüm olmamaktadır. Endüstriyel uygulamalarda uygulama zorluklarını ortadan kaldırmak için tercihen analog domainlerde geliştirilecek doğal stratejilere ihtiyaç vardır. Aşağıdaki yazılımlar analog sinir ağlarının tasarım otomasyonu için geliştirilmektedir:
   a. ANNSiS (Analog Neural Network Simülasyon System): Analog modüle dayalı sinir ağı IClerinin uygun karakteristiğinde kullanılır.
   b. ANNSyS (Analog Neural Network Synthesis System): Çalıştırma sistemine sahip olup ANNSiS kullanarak otomatik yerleşim sentezini gerçekleştirir.

Aşağıdaki çalışmalar tüm bir tasarım için gerçekleştirilmektedir:

Design and İmplementation of Building Blocks for Multiplayer Perceptions: MIETEC 2 μm çift poli CMOS teknolojisi kullanılarak üretilen test IC. Hedef yüksek kapasiteli depolamada kayan kapı transistorları (floating gate transistor) karakterize etmektir. IC dağıtılmaktadır ve karakterizasyon devam etmektedir. Ek olarak özel bir opamp karışık sinyal tasarımlı kırmık tasarlanmıştır. Opamp tamamen CMOS olup içinde öngerilimleme (bias) jeneratörü vardır. Test sonuçları beklenen sonuçlarla tamamen uyumludur. Yani bu çeşit opamp Analog Sinir Ağının oluşum bloklarını bir "nörön" olarak oluşturabilir.

v. Ticari Elektronik:
   a. I2C Bus Controlled Video Switch: Endüstriyel bir tasarım olup MIETEC HBiMOS teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. TV sistemlerinde optimizasyon ve gelişmelere sebep olacaktır. Tasarım fabrikasyona hazırdır.
   b. On Screen Display Unit: Diğer bir endüstriyel tasarım CMOS teknolojisinde üretilecektir.

vi. Diğer Projeler:
   a. ATM Switching Element
   b. Switched Cpacitor Filter For Wavelet Transform [39]

### 5.1.5 NETAŞ

Günümüzde ilerlemenin püf noktası bilim, teknoloji ve endüstri arasındaki bağlantı olmuştur. Bugünün küresel düzeni her alanda teknoloji ve araştırma ihtiyacını vurgulamaktadır. Tüm dünya bilgisayarlar, üretim ve iletişim araçları ile donatılırken, ileri alanlardaki araştırmalar insanlığı geleceğe giden yola bağlamaktadır.

Türkiye'deki en büyük özel Ar-Ge...

NETAŞ, bir teknoloji lideri olarak kaynaklarının büyük bir bölümünü 350 kişilik mühendis ve teknisyenden oluşan kadrosu ile Ar-Ge faaliyetlerine ayırmaktadır.

NETAŞ' ın vizyonunda yer alan '**Teknolojide Liderlik**' tüm çalışanlar tarafından benimsenmiştir. Temel hedefler şunlardır:

i. En üstün teknolojiyi verimli bir şekilde kullanarak yapılacak yatırımların müşteri başarısını sağlaması,
ii. Karlılık ile ürün ve hizmetlerin değerinin artırılması,
iii. Bilgi teknolojilerinden en üst düzeyde yarar sağlanması ve süreçlerin sürekli olarak geliştirilmesi.

Teknoloji ithalatından teknoloji ihracatına...

Yıllık cirosunun ortalama %6'sını Ar-Ge' ye ayıran NETAŞ, yılda 10 milyon Dolar(ABD) tutarında yazılım ihracatı gerçekleştirmektedir. NETAŞ, gelirlerinin çoğunu kendi geliştirdiği ürünlerden elde etmektedir. NETAŞ, Ar-Ge' nin 25 yıllık varlığının sonucu olan bu ürünlerin Türk ekonomisine katma değeri 1 milyar Doları(ABD) bulmaktadır.

Netaş, Rusya Federasyonu, Azerbaycan ve Kazakistan 'da kurduğu ortak yatırım şirketlerine DRX-4 santralleri, iletişim sistemleri ve terminal ekipmanlar teknolojilerini aktarmış ve Ar-Ge biriminin aralıksız çabaları, ülkemizi teknoloji ithal eden konumdan teknoloji ihraç eden konuma yükseltmiştir.

Yarının teknolojisini bugün yaratmak...

**ETSI:** Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunication Standart Institude : ETSI) ile telsiz sistemleri alanında işbirliği içinde olan NETAŞ Ar-Ge, buradaki etkin katılımcığıyla yarının telekomünikasyonunu tanımlayacak olan UMTS (Universal Mobil Telecommunication Systems : UMTS) konusunda çalışmalar yapmaktadır.

**ASIC:** Milyonlarca transistorun tek bir kırmık içine yerleştirilmesi sayesinde NETAŞ' ın bu alandaki tasarım olanakları büyük ölçüde artmıştır. 0.35 mikron ve HDL teknolojileri tüm ASIClerin tasarımında verimli bir şekilde kullanılabilmektedir. NETAŞ yenilikçi bir yaklaşımla tasarladığı sayısal konferans tümdevresinin otomatik kazanç kontrol mekanizmasını ve özgün sayısal iletim tasarımını birçok bilimsel konferansta sunmuştur.

**INTERNET:** Internet erişimini geliştirecek ve veri aktarımını hızlandıracak projelerle NETAŞ Ar-Ge'si geleceğin teknolojilerini geliştirmektedir.

Yarının teknolojisi için bilimsel işbirliği...

NETAŞ Ar-Ge, ulusal ve uluslar arası bilim kuruluşları ile sürekli olarak işbirliğinde bulunmaktadır. Radyo frekans, sayısal sinyal işleme, uygulamaya özgü tümdevreler ve savunma sistemleri gibi alanlarda, ileri teknoloji içeren projeler üzerinde çalışılmaktadır. Uygulamaya özgü tümdevre tasarımı gibi araştırma projeleri TÜBİTAK(Türkiye Bilimsel ve Araştırma Kurumu), İTÜ/ETA Vakfı (İstanbul Teknik Üniversitesi / İleri Elektronik Teknolojisi Geliştirme) ve üniversiteler ile ortak olarak yürütülmektedir.

Telekomünikasyon altyapısındaki hacim ve derinlik...

NETAŞ Ar-Ge tarafından tasarlanan ürünler Türk Telekom şebekesinin büyük bir bölümünde önemli bir yere sahiptir. Altyapıda Nortel lisansıyla üretilen yaklaşık 10 milyon hatlık NETAŞ ürününün yanı sıra, NETAŞ Ar-Ge'nin tasarımı 3 milyona yakın kırsal santral hattı, 1 milyonun üzerinde PBX hattı, yaklaşık 7.500 güç sistemi ve yüzlerce uzaktan kumanda yönetim sistemleri ve fiber optik çoklayıcı kullanılmıştır.

Dünya standartlarına uygun çözümler...

Çeyrek asırdır Türk Telekomünikasyon sektöründeki önemli yeniliklerin tümü Netaş Ar-Ge' nin yapmakta olduğu yoğun çalışmaların bir sonucudur:

i. Türkiye'de tasarlanan ilk yerel sayısal kırsal santral, DRX-4 artık Nortel tarafından NETAŞ lisansı altında tüm dünyada pazarlamaktadır.
ii. İlk yerel PBX tasarımı Türkiye'deki diğer üreticilere örnek oluşturmuştur.
iii. NETAŞ Ar-Ge, DMS teknolojisini Türkiye'nin özel koşullarına uygun hale getirmiş, ayrıca bu ürün yazılımının uluslar arası uygulamalarda ana yüklenicisi olmuştur.

NETAŞ yalnızca bir ürün sunucusu değil aynı zamanda telekomünikasyon alanında bir '**Toplam Çözüm Üreticisi**' dır. Güç ve transmisyon sistemleri ile savunma sistemlerinin de kullanıldığı toplam iletişim çözümleri NETAŞ Ar-Ge' nin çaba ve başarılarının yaşayan örnekleridir.

Bugün 20'den fazla ülkede faaliyet gösteren NETAŞ, ürün ve hizmetlerini sunduğu bu ülkelerin en az 5'inde tercih edilen firma statüsüne ulaşmayı ve Türkiye'nin ilk 15 firması arasında yer almayı hedeflemektedir. Mükemmel teknolojilerle kalıcı çözümler sağlayan araştırma ve geliştirme birimine duyulan güven NETAŞ' ı bu vizyona ulaştıran temel etkenlerden biridir.

Küresel amaçlar, küresel işbirliği...

Ar-Ge etkinliklerine verilen önem, '**İş Mükemmelliği**' ilkemiz için bir rol oynamaktadır. NETAŞ bugün ETSI, TÜBİTAK, TTGV(Türk Teknoloji Geliştirme Vakfı), AFCEA(Armed

Forces Commmunication Engineers Association: AFCEA) gibi platformlara katılarak Türkiye'nin evrensel iletişim alanında önemli bir rol üstlenmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

... ve yeni yüzyılın hedefleri için yeni bir bina

Türkiye'nin en büyük özel Ar-Ge birimi, 1994 yılından bu yana yeni binasında hizmet vermektedir. Ar-Ge etkinliklerine uygun olarak tasarlanıp inşa edilen 4.000 metre$^2$ bina, NETAŞ Ar-Ge' nin geleceği yaratma çabalarına ivme kazandırmaktadır.

Türkiye'nin ofisleri, özel laboratuarları ve bilgisayar terminal ağları sayesinde, NETAŞ Ar-Ge mühendisleri, müşterilerin beklentilerini aşan ürünler yaratarak Türkiye'nin 'Bilgi Çağı'na geçişini gerçekleştirmek için çalışmaktadır.

NETAŞ Ar-Ge kilometre taşları:

| | |
|---|---|
| 1973 | Kuruluş |
| 1974-1978 | Lisans ile üretilen elektromekanik santrallerin tasarım değişikliği yetkisi |
| | Şehirlerarası otomatik ücretlendirme devresi |
| | Uluslar arası otomatik arama |
| | VISA bilgisayarlı şehirlerarası bağlantı sistemi |
| 1979-1984 | EX200, Türkiye'de ilk mikroprosesör kontrollü PBX |
| | Side tuşlu telefon |
| | Özellikle telefon seti: Bodrum |
| 1985-1989 | EX30, EX50 PBX ailesi |
| | EX16 Şef Sekreter Sistemi |
| | İlk kırsal santral Elif 1 |
| | EX2000 büyük PBX ve 2000 aboneli kırsal santral Elif 2 |
| | İlk tam sayısal kırsal santral Dicle |
| | Küçük santral güç sistemi SOP |
| | Tam sayısal özel santral DX-4 |
| | DMS 100 yazılımının başlayarak CEPT özelliklerinin geliştirilmesi |
| 1990-1994 | ETSI' ye üyelik |
| | Yeni PBX ailesi DX-1, DX-2, DX-3 Diginet ve ICAPS |
| | DRX-4 ile ilk uluslar arası kırsal uygulama |
| | DRX-4'te fiberoptik arayüzler |
| | PS 2000 şehir santralleri ve radyolinkler için güç ünitesi |
| | Keban ETSI standardında güç sistemi |
| | İlk ASIC tasarımı |
| | BDT' de ilk DMS arama ve ilk DMS 100i ihracatı |
| | DMS 100i için Çin, CALA, BDT, Fas, Türkiye pazarlarının geliştirme sorumluluğunun üstlenilmesi |
| | DMS 100i santralleri arasında ilk N7 çağrı işaretleşmesi |
| | BDT şebekelerindeki DMSler için evrensel ton alıcı gönderici kartı (UTR) |
| 1995 | FLUX transmisyon ve erişim ailesi |
| 1998 | DRX-4'te yeni görünüm ve yedekli çalışma |
| | Özel set ve meşgul abone panosu |
| | DRX-4 dağıtılmış uz birim yapısı |
| | BDT, Romanya, Arjantin ve Makedonya'da DRX-4 sertifikasyonu |
| | DRX-4'ün Nortel ürün portföyüne alınışı |
| | DMS INODE ve BRISC gelişimi |
| | SRU 60 erişim ürünüyle ilk CE markası |
| | Telem askeri mesaj terminali |

İznik telefon seti ailesi
Ev enerji ünitesi RPB
Kırsal Alan Merkezi Bakım Sistemi
Kullanıcı sunucu operatör sistemi
DMS GSF platformunda yazılım tasarımı
Kredi kartlı telefon Millennium
Arayan numara gösterimi
GSM arabirim yazılımı
120A Switch Mode doğrultucu
Türkiye'de tasarlanan ilk DECT telsiz sistemi
TASMUS projesi [40]

### 5.1.6 ALCATEL-TELETAŞ

ALCATEL Mikroelektronik' in bir bölümü olan ALCATEL TELETAŞ Mikroelektronik Tasarım Merkezi 1997 yılı sonunda kuruldu.

ALCATEL Mikroelektronik:
Tüm dünyaya yayılan donanım ve uzmanlık ağı ALCATEL' in ileri telekomünikasyon sistemleri tasarımı konusundaki gücü ile ALCATEL Microelectronics' in tümdevre tasarımındaki öncü uzmanlığını birleştirerek ALCATEL TELETAŞ' a gerçek Kırmık-üstü-Sistemler (SOC) yaratma yeteneğini kazandırmaktadır.

ALCATEL TELETAŞ Mikroelektronik Tasarım Merkezinin Başlıca Hedefleri:
i. Tümdevre geliştirme yeteneği ile üretim teknolojilerini geliştirmek.
ii. Tümdevre geliştirme metodolojileri açısından endüstri ve pazar eğilimlerini öngörmek.
iii. ALCATEL bünyesinde sistem geliştirme etkinliğini artırmak.
iv. ALCATEL ürün ve hizmetlerinin kapsamını geliştirmek.

Uzmanlık Alanları:
i. Telekomünikasyon uygulamalarına yönelik tümdevre tasarımı
ii. VHDL tabanlı sayısal tümdevre tasarımı
iii. Devre sentez teknikleri
iv. Devre test teknikleri ve test edilebilirlik için tasarım
v. Tasarımların yeniden kullanabilirliği (Design Re-usability) ve Tasarımda Fikri Mülkiyet (Intellectual Property-IP)
vi. Hi-speed Analog blok devre tasarımı
vii. Blok devre serimi ve kütüphane oluşturulması. [41]

### 5.1.7 TÜBİTAK BİLTEN

TÜBİTAK ile ODTÜ arasında 30.10.1984 tarihinde bir protokol imzalanmış ve bu protokol ile TÜBİTAK'a bağlı ODTÜ kampus alanında yerleşik bir enstitünün kurulması kararlaştırılmıştır. Bu enstitünün kuruluşu ile ilgili çalışmalar 15 Şubat 1985'te Resmi Gazetede yayınlanan bir yönetmelikle sonuçlanmış ve TÜBİTAK'a bağlı Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü(TAEAGE) kurulmuştur. Enstitüye kuruluş aşamasında ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği binaları içinde yer verilmiştir. 14 Haziran 1991 tarihinden itibaren enstitüdeki bölüm yapısı yerini proje gruplarına bırakmıştır. 26 Mayıs

1995'te yapılan yeni yönetmelik değişikliği ile enstitü çalışma alanı genişletilmiş ve enstitü adı Bilgi Teknolojileri Elektronik Araştırma Enstitüsü (BİLTEN) olarak değiştirilmiştir.

Bilgi teknolojileri her türlü verinin oluşturulması, işlenmesi, düzenlenmesi, saklanması, iletilmesi ve bu verilere erişilmesini sağlayan teknolojileri kapsar. Enstitünün ilgi alanlarına elektrik, elektronik ve bilgisayar mühendisliği konuları girmektedir. Bu kapsamda, enstitüde bilgisayar donanımı ve yazılımı, elektronik, haberleşme, işaret işleme ve kodlama, iletişim ortamları ve bilgi teknolojileri ile ilişkili, kontrol, güç sistemleri vb. konularda çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla proje grupları oluşturulmuştur.

Enstitü, kuruluş amaçlarını gerçekleştirmeye yönelik çalışmalarını araştırma ve geliştirme projeleri bazında yapmaktadır. Projeler iç ve dış destekli projeler olmak üzere iki gruba ayrılır. Dış destekli projelerde proje giderlerinin projeyi öneren kuruluş veya kuruluşlarca karşılanması ve enstitüye royalti verme şartı aranmaktadır.

Enstitünün çalışma ilkeleri şunlardır:

i. Ulusal kalkınma hedefleri ile dünyadaki gelişmeler göz önünde bulundurularak enstitünün ilgi alanına giren konularda kısa ve uzun vadeli araştırma hedeflerini ve sorunlarını ortaya koymak, bunları çözmek yada çözülmesine yardımcı olmak,
ii. İlgi alanına giren konularda kamu veya özel kuruluşların ihtiyaç duyduğu araştırma, geliştirme ve hizmetleri sözleşmeli olarak sağlamak, ülkemizde araştırma yetkinliğinin gelişmesine katkıda bulunmak, araştırma kuruluşları ile proje verme veya verme yetkisi de dahil olmak üzere işbirliği yapmak, uluslar arası araştırma projelerine katılmak,
iii. Yurt içinde üretilecek komponent, cihaz, yazılım ve sistemlerin gerektiğinde diğer kuruluşlarla çalışarak üretim prototipi ve ilk üretim aşamasına kadar bütün araştırma ve geliştirme çalışmalarını yapmak, uygulama planlarını, seri üretim için gerekli teknik bilgiyi ve dokümanları hazırlamak,
iv. Yurt dışı teknolojileri takip etmek, uygulama alanlarını araştırmak, ülkemizde bir referans merkezi olarak çalışmak, teknoloji transferi yolu ile ülkemize ithal edilen teknolojilerin, yurdun şart ve imkanlarına uygun hale getirilmesini sağlamak ve gerektiğinde bu işleri sözleşmeli olarak yapmak ve yaptırmak,
v. Kamu ve özel sektör kuruluşlarının sistem tasarımı, seçimi, kullanımı, ürün geliştirme ve üretimi konularında çıkabilecek teknik sorunlarına çözüm yolu önermek,
vi. Seminer, sempozyum, kongre, konferans ve yaz okulu gibi bilimsel toplantılar düzenlemek ve yayınlar yapmak.

Transistorun geliştirilmesi ile lambalı cihazların yerini transistorlu cihazlar almaya başlamış ve küçük ve portatif cihazlar yapılmaya başlanmıştır. Daha sonra çok sayıda transistorun bir araya getirilmesi ile oluşturulan tümdevrelerle cihazlar yapılmaya başlanmış ve böylece cihazlar daha da küçültülmüş, daha güvenilir ve daha az güç harcar hale gelmiştir. Bir tümdevre içine sığdırılan transistorların sayısı bugün bir milyonu bulmuştur. Çok sayıda transistorun bir araya getirilmesi Çok Büyük Çapta Tümleştirme (ÇBÇT) veya VLSI olarak adlandırılır. ÇBÇT tümdevrelerin tasarım sürecinin kısalması, prototip ve seri üretim maliyetlerinin düşmesi sonucu her cihazın içindeki elektronik devrelerin bir tümdevre haline getirilmesi için çalışmalar başlanmış ve ortaya ASIC kavramı çıkmıştır. ASIC' ı barındıran cihazlar diğer normal tümdevreler ile yapılan cihazlara göre daha küçük, daha az güç harcayan, daha kolay üretilebilen ve daha güvenilir cihazlardır. Tasarımın karmaşıklığına ve üretilecek cihaz sayısına bağlı olarak üretim maliyetlerinde de önemli ölçüde indirim sağlanmaktadır. Ayrıca, ASIC kullanan cihazlarda tasarım gizliliği çok iyi biçimde korunmaktadır.

Tümdevre Tasarım Merkezi(TÜTAM):
1987'den beri Tümdevre Tasarım Merkezi (TÜTAM) çalışmalarını TÜBİTAK BİLTEN bünyesinde sürdürmektedir. Türk elektronik endüstrisini ASIC ile tanıştıran TÜTAM' da askeri ve endüstriyel ürünler için özel amaçlı tümdevre tasarımın yanı sıra araştırma amaçlı tasarımlar da yapılmaktadır.

a. Altyapı:
Tümdevre tasarımının diğer Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) süreçlerine oranla daha karmaşık oluşu, yüksek yetenekli donanım ve yazılımın kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu yüzden TÜTAM 'da aşağıda listelenen donanım alt yapısı tam kapasite kullanılmaktadır.

b. Donanım:
TÜTAM' da 8 adet SUN SPARC iş istasyonu bulunmaktadır. Sistem toplam 15 GB disk kapasitesi ve 400 MB bellek kapasitesine sahiptir. Ayrıca testler için TEKTRONIX LV 500 tester kullanılmaktadır.

c. Yazılım:
Tümdevre tasarımında Cadence, Mentor Graphics, Synopsys, HSPICE, PSPICE gibi yazılımlar kullanılmaktadır.

d. Tümdevre Tasarım Süreci:
Tümdevre tasarımının ilk aşaması devrenin bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Bu işlem devre şeması çizimi gibi alışılmış yöntemlerin yanı sıra Donanım Tanımlama Dilleri (Hardware Description Languages: HDL) kullanarak da yapılabilir. İkinci aşama, devrenin simülasyon yolu ile işlevselliğinin denenmesidir. Simülasyonlarda istenen performansa erişildikten sonra devrenin fiziksel serimine geçilir. Son aşama olarak, serimden elde edilen asıl devrenin simülasyonu gerçekleştirilir. Tasarımdan sonraki evre, tümdevrenin üretimidir.

Tümdevre üretimi genellikle Avrupa ve Amerika'da yapılmaktadır. Böylece en son teknoloji ile tasarım yapmak ve daha sonra bunu ürettirmek mümkündür. Çok yüksek sayılarda olmayan üretimler için ise TÜBİTAK MAM' a bağlı YİTAL laboratuarı kullanılabilir. Üretim sonrası testler için TÜTAM' da gerekli yazılım ve laboratuar donanımı da mevcuttur.

e. Tümdevre Tasarım Merkezi Projeleri:
Sayısal Tasarımlar;
i. 128 bitlik mikroişlemci kontrollü programlanabilir korelatör,
ii. Elektrokardiyogram tümdevreleri,
iii. CODEC için sayısal bant geçiren süzgeç,
iv. 4 bitlik mikrodenetleyici,
v. Mikroişlemci kontrollü DTMF üreteci,
vi. Korelatöre tümleşik senkron ve asenkron göndermeç/almaç,
vii. 128*3 bit sayısal uyumlu süzgeç.
Analog Tasarımlar;
i. Ayarlanabilir sığa anahtarlamalı süzgeç,
ii. Sigma/Delta tekniğini kullanan 14 bit analog/sayısal çevirici.

Karmaşık Yapılar;
i. DTMF üreteci, Ton üreteci ve zaman bölmesi ayarlayıcı ile tümleşik CODEC,
ii. 25 MHz sayısal frekans sentezörü,
iii. Mikroişlemci kontrollü 16*16 görüntü algılayıcı,
iv. Video anahtarlayıcı.

VHDL Kullanımı;
i. 8253 tümdevresinin VHDL ile tasarımı.

Deneyim edinilmiş başlıca uygulama alanları analog ve sayısal sinyal işleme, telekomünikasyon , kontrol ve optik algılayıcılardır. TÜTAM' da yüksek düzeyli bir tanımdan ya da gereksinim listesinden yola çıkarak karmaşık bir devrenin pazar koşullarının gerektirdiği ölçüde kısa bir zamanda tasarlanması mümkündür. [42]

### 5.1.8 ASELSAN

ASELSAN/MGEO Bölümü (Microelectronics, Guidance&Electro-Optics Department: MGEO) Akyurt binasında olup elektro-optik, kılavuz, navigasyon ve hibrid mikroelektronik konularında tasarım ve üretim yapmaktadır.

MGEO Bölümünün amacı ülkemize ve TSK' ya gelişmiş ürünler sunmaktır. Bu bölümde 144 mühendis ve 38 bilim adamı dahil olmak üzere toplam 550 personel görev yapmaktadır.

Ar-Ge çalışmaları öncülüğünde ileri teknolojili cihaz ve sistemler geliştirmek ve hızlı gelişen teknolojiyi yakından takip etmek ASELSAN'ın değişmez hedefidir. Bu hedefler doğrultusunda yapılan Ar-Ge çalışmaları ile ASELSAN gelişmiş ülkelerdeki şirketlerle yarışacak seviyeye ulaşmıştır.

Hibrid Mikroelektronik Devreler:
Amacımız kaliteli, ekonomik ve müşteri isteklerini karşılayan hibrid devreler tasarlamaktır. ASELSAN/MGEO, Akyurt mikroelektronik binasında üretime 1990ların sonunda başlamıştır. İleri teknoloji ve tam otomatik üretim cihazlarına sahiptir:

i. Al, AlN, $Be_2O_3$ kalın film hibridler
ii. Kalın film güç hibridler
iii. 'Kırmık&iletken' açık hibridler
iv. 'Kırmık&iletken' kapalı hibridler
v. 'Bord-üzeri-Kırmık' (FR4, Flex)ler

Müşteri tasarım hibridleri küçük boyutlarda yüksek güvenilirlik ve tasarım esnekliği sağlamaktadır. Müşteri isteklerine göre hızlı bipolar, düşük güçlü MOS ve yüksek empedanslı FET teknolojileri birbirine bağlanabilir. Çıplak kırmık ve çok tabakalı kalın film teknolojisi kullanımı çok yüksek devre yoğunluğu sağlayabilir. Kısaca, hibrid; küçültme, performans ve yüksek güvenirliğin gerektiği devrelerde ayrık eleman esnekliğine denir. MGEO çıplak kırmık ve SMD' in aynı gövdede olduğu karışık teknoloji hibrid (mixed technology hybrid) konusunda tecrübeye sahiptir.

Otomotiv, telekomünikasyon , uzay ve sağlık cihazı tasarımcılarının isteklerine cevap vermek için kalın film hibrid mikrodevrelerin üretim zinciri yüksek hacimli üretime doğru kaymaktadır. ASELSAN/MGEO hibrid mikrodevre üretiminde, üretim verimi ve ekonomikliği ile işlem desteği birleştirilerek prototip-üretim geçişi hızlandırılmaktadır.

Hibrid mikrodevre tasarımları aşağıda verilmiştir;
i. Analog/dijital devreler
ii. Mikrodalga devreler
iii. Güç devreleri
iv. Bilgisayar destekli serimi tasarımı

v. Bilgisayar destekli devre analizi
vi. Bilgisayar destekli ısı analizi

Üretime iki yolla başlanabilir: müşteri devresi veya serimi ile ve tasarım desteği ile. Kalın film üretim zinciri 10 iletken tabaka basabilir. Kalın film üretim zinciri genişliği ve zincir aralığı 5 mil dır.

Kalın film devreler güç devreleri, ekran basma direnci ve pasif elemanlarla birlikte çok tabakalı ara bağlantılı tümdevrelerde kullanılır. Direnç değeri aynı gövdede 10.5 Ω-1.5MΩ arasındadır. Fonksiyonel / aktif ve statik / pasif ayarlama bilgisayar kontrollü lazer cihazında yapılır. Dirençler fonksiyonel olarak aktifken her bir hibridden özel fonksiyonel çıkış elde etmek için ayarlanabilir. Basma&ateşleme direncinden sonra yapılan lazer ayarlama müşteri ve üreticinin yararınadır.

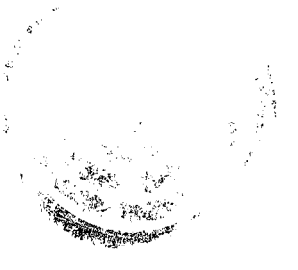
Direnç ayarlama;
i. Maliyeti azaltır, verimi artırır,
ii. Standart toleranslı yüzey montaj elemanlarını kullanarak maliyeti azaltır,
iii. Hassas değerli direnç elde eder,
iv. Üretilebilir devreler sağlar,
v. Aşındırıcı ayarlamadan daha kararlıdır.

'Kırmık&iletken' hibrid üretimi mikrorobotik zar bağlama sistemi, iletken bağlayıcı (model taramalı) ve yol arama sistemli iletken çekiciden oluşan tam otomatik zincire sahiptir. Kapalı paketleme ve çevre testi He ve radyoaktif sızıntı testine sahiptir: P.I.N.D., santrifüj test, sıcaklık, aktif/pasif yanma sistemi.

Kalın film hibrid mikrodevre üretim özellikleri şunlardır:

i. Kalın film gövde basma kabiliyeti
   Hat genişliği: 5 mil
   Hat aralığı: 5 mil
ii. Kalın film malzeme kaplama
   Hassas (fired) kalınlık
   İletken[3] : 8μm
   Dielektrik[3] :10μm
iii. Çeşitli yapılar
   Tek yanlı çok tabaka[2] : 10 iletim tabakası
   Çift yanlı çok tabaka[2] : 8 iletim tabakası, iki yanlı
   Delik arasından basma[3] : 5 mil delik çapı
iv. Gövde&Dielektrikte Yüksek hassas dirençler
   Aralık: 10.5- 1.5 MΩ
   Tolerans[3] : 0.1% (standart)- [3] : 0.01% (talep)
v. Lazer ayarlama kabiliyeti
   Aktif koruma ayarlama: fonksiyonel ayarlama
   Oran ayarlama: pasif ayarlama
vi. Paketleme
   Kaplama
   Kalıplama
vii. Test
   Otomatik izolasyon & devamlılık testi
   Direnç, kırmık, dizi ve ağ testi
   Fonksiyonel elektrik test





viii. Birleştirme & Kırmık paketleme & İletken Teknoloji
Zar bağlama;
Epoksi-eutectic-yumuşak lehim topu/ önform
Yerleştirme hassasiyeti : +/- 3 mil
Açısal hassasiyet: +/- 2 derece
İletken Bağlama;
0.7/1.0/2.0 mil altın iletken, 3*3 mil bağlama yuvası
Termosonik top bağlama
Termokompresyon top bağlama

ix. Yüzey montaj
Otomatik top&yerleştirme
Kızılötesi akış (infrared reflow)

x. Paketleme
Kapalı metal
Düşük sıcaklı ateşlenmiş seramik
Yüksek sıcaklıklı ateşlenmiş seramik
Cam kaplı seramik
Küre üst epoksi

Hibrid mikrodevre birleştirme üretim standartları aşağıda verilmiştir:

i. MIL-STD-883
ii. MIS-23666
iii. EIA-IPC-J-STD-001

Kalite:
Bölümün amacı sıfır kusurlu ve problemsiz hibrid dağıtmaktır. Bundan dolayı, kalite güvencesi üretimin ana parçasıdır. Kalite güvencesi üretim maliyetlerini azaltmak için kullanılır ve kalite geliştirme metotları kullanılarak organize edilir.

Üretim işlemi aşağıdaki QC/QA (Quality Control / Quality Assurance: QA/QA) kriterlerine sahiptir:

i. AQAP 110
ii. TS-EN- ISO-9001. [43]

### 5.1.9 Üniversite-Sanayi İlişkileri

İdeal olarak sanayinin işlevi, toplumun çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak üzere pazara ürün sunmaktır. Ürünün oluşturulmasında yetişmiş insangücü ve bilgi iki önemli girdidir. Üniversitenin işlevi ise gerek sanayi gerekse üniversite için yetişmiş insan ve bilgi üretmektir. Devlet bu işlevlerin gerçekleştirilmesinde ve kaynakların doğru yerlerde kullanılmasında değişik boyutlarda düzenleyici olarak rol alır.

Üniversite-sanayi ilişkileri yetişmiş insangücü açısından ele alındığında üniversitenin sanayinin teknolojik düzeyine intibak edebilecek ve geliştirebilecek insanları yetiştirdiği görülür. Bu insanlar, üniversitede edindikleri bilgilerle üretimde (tasarım, geliştirme, üretim, kalite denetimi) görev alırlar. Öğrenim seviyesi, edinilen bilgilerin yeterli ve bu bilgilerden maksimum şekilde yararlanmasını sağlamalıdır. Diğer bir deyişle, öğrenim seviyesinin iyi olmasına karşın sanayide bunu değerlendirme imkanı yoksa, yetişmiş insanlar ya başka ülkelere giderler ya da başka dallara kayarlar. Sanayiden talep geldiği, ancak öğrenimin yeterli bilgi sağlayamadığı durumlarda ise üniversite mezunu olarak çağrılan kişi, ara

adamların (teknisyenlerin) işini yapar duruma gelir, teknoloji gereken şekilde ilerleyemez veya yabancı uzmanlar denetiminde, muhtemelen de ülke çıkarlarının aleyhine gelişir.

Üniversite-sanayi ilişkisinin ikinci halkası ise sanayinin bir ürünün ortaya çıkarılmasında karşılaştığı sorunları üniversitenin yetiştirdiği kişilerin çözememesi ve daha üst düzeyde bilgiye ihtiyacı duymasıdır. Bu durum, çoğunlukla yeni bir konuya girildiğinde veya gelecekte pazara sunulacak bir ürün için gereken uzun vadeli teknoloji geliştirme çalışmalarında ortaya çıkar; kısa veya uzun vadeli araştırma projeleri ile çözülür. Bu halkanın işlerlik kazanması için üniversitede ihtiyaç duyulan konularda bilgi birikiminin oluşması veya öğretim üyelerinin istenen bilgiyi üretecek düzeyde olmalarının gerekliliği açıktır.

Geçmişte Durum:
Ülkemizde yaklaşık 30 yıllık bir geçmişi olan elektronik sanayi ithal ikamesi politikalarına uygun olarak gelişmiştir. Ülkemizde dışarıdan hazır cihaz almak yerine, düşük maliyetli iş gücünden de faydalanarak özellikle dayanıklı tüketim mallarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, üretime yönelik yetişmiş insan alt yapısının oluşmasında belirli bir rol oynamış, bir ölçüde de bilgi birikimi oluşturulmuştur. Ancak bu yaklaşımda, ürün ve teknolojiyi geliştirmek için üniversitenin üreteceği bilgilere ihtiyaç olmamıştır. Aslında yetişmiş işgücüne de fazla ihtiyaç olmamıştır. Bu nedenle üniversitelerden mezun olanlar edindikleri bilgileri gerektiğince uygulayamamışlar ve kısa zamanda teknolojiden uzaklaşmışlardır.

Bilgiye ihtiyaç olmaması nedeni ile üniversite-sanayi işbirliğine de gerek kalmamıştır. Bunun sonucu olarak üniversitede bilgi üretimi (diğer bir deyişle araştırma çalışmaları) öğretim üyelerinin ilgi duydukları konularla sınırlı kalmış, sonuçların ne kadar yararlı olacağı önceliğini kaybetmiştir. İlişkilerin zayıf olması, üniversitenin malzeme ve cihaz gereksinimi için sadece devlet kaynaklarına bağlı kalmasına yol açmıştır. Bunun sonucunda, öğretim üyelerinin çalışmaları daha çok teorik ve akademik olmuş, öğretim üyelerinin bilimsel gelişimlerinin bu yönde olması müfredat programlarının da akademik olmasına yol açmıştır. Böylelikle, o günlerde sanayi tarafından ihtiyaç duyulmayan, ancak günümüzde yararlanılabilen birikimler ortaya çıkmıştır.

Zaman içinde ithal ikamesi yaklaşımında olan kuruluşlarda maliyet ucuzlatıcı yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni modellerin ortaya konmasında belirli araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmış, ancak üniversiteler ile yakın bir işbirliği kurulamamıştır. Bunda, her iki tarafın yukarıda kısaca özetlenen işlevlerini göz ardı etmelerinin de payı olmuştur. Bazen üniversitelerin doğrudan pazara sunulacak ürün ortaya koyma talepleri bulunması, çoğunlukla olumsuz sonuçlanmış, ilişkilerin zayıf kalmasına yol açmıştır.

Sonuç olarak yakın zamanlara kadar üniversite-sanayi ilişkisi yok denecek kadar az olmuş; ancak gerek sanayide gerekse üniversitelerde bağımsız olarak bilgi birikimleri oluşmuş; bunları ortak bir konuda değerlendirmek yönündeki bazı girişimler ise başarıya ulaşamamıştır.

Bugünkü Durum:
Ülkemizde son yıllarda elektronik sanayi giderek önem kazanmış ve dünyadaki gelişmelere paralel olarak, 2000li yılların lokomotif sanayi adayı durumuna gelmiştir. Bu durumda gerek yetişmiş insangücünü sağlayacak olan; gerekse sanayinin teknoloji geliştirmesine yardımcı olacak araştırmaları yapıp bilgi üretecek olan üniversite büyük önem kazanmıştır. Ancak, yakın geçmişte üniversiteler ile ilgili olarak gerçekleştirilen düzenlemeler üniversitelerin kadrolarında önemli bir erozyona yol açmıştır. Bunu karşılayacak yeni kadroların yetişmesinin çok düşük düzeylerde kalması, yetişmiş insangücü niteliklerinin de giderek erozyona uğramasına neden olmuş ve gelecek bakımından büyük bir tehlike oluşturmuştur. Diğer taraftan, bu erozyon yeni konulara girilmesi ve teknolojilerin üretilmesine yönelik

araştırmaların gerçekleştirilmesini ve bilgi üretilmesini de son derece yavaşlatmıştır. Bütün bu sorunlara ek olarak üniversitelerin yetiştirdiği kaliteli elemanların yurt dışına gitmeleri ve orada kalmaları önlenememektedir. Elektronik alanında eleman yetiştiren kuruluşların bu sorunları gelecek için hayati önem taşımaktadır.

Günümüzde ise ülkemizin elektronik sanayiinde değişik yaklaşımlar gözlenmektedir. Türk elektronik sanayiinin başlangıcını teşkil eden elektronik dayanıklı tüketim cihazlarının üretimi bugün de önemli bir yer tutmakta, ancak genellikle lisans alma yoluna gidilmekte, yeni teknolojiler ve cihazlar geliştirmeye yönelik çalışmalar gözlenmemektedir.

Diğer bir yaklaşım, son yıllarda hemen her yerde kullanılmaya başlanılan kişisel bilgisayarların ve monitörlerin bazı büyük firmalarca yapılan SKD (Semi Knocked Down-SKD) şeklinde üretimleridir. Bu yaklaşım pazar ihtiyaçlarına çabuk cevap verebilmekte ve bu nedenle bazı profesyonel cihazların üretiminde kullanılma eğilimi gözlenmekte ise de kalıcı teknoloji ve bilgi birikimi yaratmaması, ayrıca yetişmiş insangücü talebinde de bulunmaması nedenleriyle gelecek açısından tehlike oluşturduğu gözlenmektedir.

Büyük şehirlerde yoğunlaşmış olan küçük kapasiteli firma yaklaşımı ile çeşitli bilgisayar sistemlerinde kullanılan bağlantı elemanları ile sarf malzemeleri, endüstride kullanılan elektronik sistemler (proses kontrolü, bilgisayar kontrollü alarm sistemleri, nümerik tezgah kontrolü sistemleri vb.) ile elektrik makinelerinin elektronik kontrolü alanında üretim yapılmaktadır. Bu tip bazı firmalarda teknolojik seviyenin hayli yüksek olduğu gözlenmektedir.

Gelecek vadeden yaklaşım ise teknoloji ve kapasite açısından ileri seviyede olan kuruluşların haberleşme cihazları ile askeri elektronik cihazları uygulamalarıdır. Lisans ve yabancı sermaye iştiraki alarak büyük sermaye ile çalışmaya başlayan ASELSAN, TELETAŞ, NETAŞ vb. firmalar batılı elektronik sanayi yapısına benzer bir şekilde mühendislik gücüne büyük önem vermekte, dolayısıyla aldıkları lisansları özümlendirdikleri gibi bunları geliştirebilmektedirler. Bu kuruluşlar üniversite-sanayi ilişkilerinde belirgin gelişmeler sağlamakta, kendi teknik birikimlerinden de yararlanarak araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ürünleri imal etmektedirler.

Bu yaklaşıma bir örnek olarak, ASELSAN ve ODTÜ ilişkileri ele alındığında ASELSAN' nın kuruluşunda öğretim üyelerinin görev aldığı görülür. Burada ilginç olan nokta ASELSAN' nın ilgi duyduğu alanlarda ODTÜ' nün bilgi birikimi ve yetişmiş kadrosu olmasıdır. Zaman içinde ASELSAN yeni bir grup kurmadan önce üniversite ile işbirliğine gitmiştir. Öğretim üyeleri yeni konuya uyum sağladıktan sonra somut adım atılmıştır. Üniversite daha sonra pazara yönelik ürün geliştirme aşamasında geliştirme çalışmalarını yürütecek insangücünün yetiştirilmesine katkıda bulunmuştur. Tüm bu çalışmalar şirket bünyesinde ürüne dönüştürülmüş ve elektronik harp için gerekli olan teknolojiler yabancı ortak ve lisansa gerek kalmadan geliştirilmiştir. Bu ilişki üniversitedeki kadroları bir ölçüde koruma ve yetişmiş insangücü kaynağının devamını sağlama açısından da yararlı olmuştur.

Bu aşamada devletin komünikasyon, bilgi işleme ve savunma elektroniği alanında önemli projeler başlatması ve bu projelerde yurt içi katkısını zorlaması, dışa açılmayı teşvik etmesi, diğer taraftan Avrupa Topluluğuna tam üyelik için başvurulması ve üyeliğin gerçekleşmesi durumunda daha iyi teknolojiye sahip yabancı firmaların pazara girmesinin getireceği zorluklar, sanayinin gerek yetişmiş işgücü gerekse ileriye yönelik bilgi üretimi açısından giderek üniversite ile ilişkilerin kuvvetlendirilmesine yardımcı olması gerekmektedir. Ancak, üniversitenin genel durumu, başarılı birkaç örnek dışında buna uygun değildir.

Neler Yapılmalı?

İleri ülke olma, sanayi ülkesi olma olgusu sadece teknoloji uygulaması olarak alınmamalı, aynı zamanda teknolojiye hakim olma ve üretme olarak değerlendirilmelidir. Üniversiteler ve sanayi kuruluşlarının elbirliği ile çalışmaları halinde bu hedefe yönelik olumlu sonuçlar alınabileceği bazı somut örneklerle kanıtlanmıştır. Bu işbirliğinin yaygınlaştırılması ve elektronik sanayinin her dalında gerçekleştirilmesi için aşağıdaki hususların dikkate alınmasında gerek ve yarar görülmektedir.

i. Öncelikle, üniversitelerin kadrolarını geliştirme ve koruma, teçhizat açısından eksikleri giderme yönünde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ülkemizin mevcut düzeni, bu konudaki düzenlemelerin devlet tarafından yapılmasını gerektirmektedir. Düzenlemeler uygun bir araştırma ortamı ve mali esneklileri sağlayacak şekilde olmalıdır.

ii. Gelişme hızı çok yüksek olan bu alanda gelişmişlere yetişebilmek için alınan teknolojileri uygulamakla yetinmeyip, özümlemek ve geliştirmek gerekmektedir. Bu ise güçlü ve planlı bir araştırma ve geliştirme politikasını gerekli kılmaktır. Üniversitenin kendi kadrolarını yetiştirirken oluşacak araştırma-geliştirme potansiyelinin sanayinin ihtiyaçlarına uygun olarak yönlendirilmesine özen gösterilmelidir. Bu konuda devletin pazarı etkileyecek yönde uzun vadede yapmayı öngördüğü düzenlemeleri sık sık değişikliğe gerek olamayacak şekilde belirlemesi ve açıklaması gerekecektir.

iii. Üniversitelerin mali kaynak ihtiyaçlarını karşılamak üzere kamu kuruluşlarının bütçelerinden ve bandrol vs. gibi uygulamalardan belirli bir miktarın fon olarak ayrılması ve üniversitelere aktarılması yararlı olabilecektir. Önemli konulardaki araştırma faaliyetlerinde üniversite-sanayi işbirliğinin teşviki için özel fonlar tahsisi çok yararlı olacaktır.

iv. Nitelikli yetişmiş insanlarımızın son yıllarda biraz ekonomik nedenler, biraz da moda haline gelmesi nedeni ile yurt dışına gitmelerinin önlenmesi için tedbirler alınmalıdır. Bu konuda gerek üniversiteler gerekse sanayinin fazla olanağı yoktur ve konuya devletin el atması gerekmektedir. Ancak önlemlerin yurt dışına gitmeyi engelleyici olmak yerine yurt içinde kalmayı özendirici olmasına dikkat edilmesinde yarar görülmektedir.

v. Yetişmiş insan gücünün sanayiye uyumunu kolaylaştırmak için müfredat programlarında geliştirmeler yapılmalıdır. Özellikle mühendislik bölümleri yetiştirdikleri insanların önemli bir bölümünün sanayide çalışacağını dikkate almalıdır. Bu konuda sanayide tecrübe kazanmış kişilerin de katkısı olabilir. Belli bir program çerçevesinde yapılacak seminer ve benzeri toplantılar ile ürün geliştirme, çalışma yöntemleri pazar kavramı ve bunun çalışmalara olan etkilerinin anlatılması üniversite mezunlarının sanayiye kolay intibak etmeleri açısından yararlı olacaktır.

vi. Üniversitede kaydedilecek gelişmelere paralel olarak, üniversite-sanayi diyalogu geliştirilmelidir. Her iki tarafın yöneticileri bu ilişkiyi uzun süreli olarak ele almalı, karşı tarafın da olanaklarını göz önüne alarak çalışmaları yönlendirmelidirler. Üniversitede yapılan bir çalışma sonunda doğrudan pazara verebilecek bir ürün elde edilemeyeceği unutulmamalı, bu nedenle son anı beklemeden ürünü hazırlamada gerekli olacak bilginin oluşturulması için üniversiteler ile işbirliğine başlanmalıdır.

vii. Yukarıda sıralanan önerilerin gerçekleştirilmesi sırasında halen başarılı şekilde çalışan ilişkilerin korunmasına özen gösterilmelidir. Ülkemize sınırlı olanaklar içinde teknolojiler kazandıran bu ilişkilerin daha da geliştirilip olgunlaştırılması; burada kazanılan tecrübenin yeni ilişkilerin geliştirilmesinde kullanılması yararlı olacaktır.

### 5.1.10 Teknik Üniversitelerimiz ve Endüstri-Üniversite İlişkileri

1950-1960'larda (ODTÜ' nün gelişme yılları) toplumun üniversiteden beklentisi nispeten daha sade idi: Endüstride çalışacak mühendisleri eğitmek, yani lisans, yüksek lisans düzeyinde eğitim. O sıralarda endüstrimiz henüz kuruluş aşamasındaydı ve lisans 'know-how' satın alınarak montaj türü ve genellikle yalnızca yurt içi pazarına yönelik olarak üretim yapıyordu.

Bu nedenle endüstriden üniversiteye herhangi bir Ar-Ge talebi gelmiyordu. Zaten o sıralarda üniversitenin de bu talebe cevap verecek durumu pek yoktu. O sıralarda üniversitenin temel sorunu, lisans eğitimi verecek kadroların yetişmesiydi. Doktora çalışmaları da genellikle yurt dışında yapılıyor, yurt içindeki çok az araştırma çalışmaları da daha çok '**bilim için bilim**' felsefesiyle tamamen akademik gereksinim ve amaçlarla yapılıyordu. Yapılan çalışmalar koordinasyonsuz ve birbirinden kopuk olduğu için elde edilen akademik birikimlerin endüstriye aktarılması pek mümkün olmuyordu. Ayrıca bu konu pek gündeme bile gelmiyordu, çünkü ne talep ne de teşvik vardı. Ülke bilim alanında bomboştu. Yurt dışına master ve doktoraya gidenler herhangi bir yönlendirme olmadığı için ne buluyorlarsa onu okuyup geliyorlar, yurt dışında başladıkları çalışmalarını burada devam ettirerek bilim aktarma ve yayma görevlerini yapıyorlardı.

Günümüzde ise hem Türkiye değişti hem de üniversitelerimiz gelişti. Artık ihracata yönelmiş endüstriyel kuruluşlarımız var. Dünya ile sürekli rekabet etmeleri gerekiyor. Öte yandan çok yetenekli mezunlar veriyoruz. Yurt içinde doktora çalışmaları yaptırmak artık '**olağanüstü bir olay**' gibi görülmüyor. Uluslar arası düzeyde bilimsel çalışmalar ve yayınlar yapılabiliyor. Üniversite ile endüstrinin işbirliğine gittiği alanlarda çok verimli ortak çalışmalar yapıldığı görülüyor. Kısaca; bilimsel ve teknolojik kıpırdanmalar, iyi seçilmiş bazı alanlarda '**helva yapılmasının**' mümkün olduğu işaretini veriyor. Ülkenin yurt dışına açılma girişimlerinin yapıldığı bu aşamada artık üniversite, Ar-Ge ve endüstriye bakış açılarımızın değişmesi gerekiyor. Hem üniversite bilim alanında hem de endüstri teknoloji alanında emekleme dönemi olan 1950-1970lerde oluşan bilim ve teknolojiye ilişkin görüşlerimizin ve felsefemizin değişmesi gerekiyor. Devletin de yaklaşımını değiştirmesi gerekiyor.

Bu konulardaki görüşlerimizi açıklamadan önce teknik üniversitelerimizdeki bazı önemli sorunları sıralayalım:

i. Öğrenci/öğretim üyesi oranı çok yüksektir. Bu da eğitimin kalitesini düşürdüğü gibi öğretim üyesinin araştırmaya vakit ayıramamasına yol açmaktadır. (Sayın Ahmet Dervişoğlu 60/1 oranını veriyor)
ii. Lisans laboratuarları ve diğer alt yapı imkanları yetersizdir ve eskidir. Araştırma amaçlı laboratuarlar ise daha içler acısı durumdadır.
iii. Öğretim üyeliğinin maddi ve manevi hiçbir çekiciliği kalmamıştır. Üstelik asistanlara çok düşük ücret verilmesi nedeni ile asistanlık kurumu da çökmüştür. Bu da hem nitelikli yüksek lisans ve doktora araştırmalarının azalmasına, hem de (daha da önemlisi) öğretim üyesi yetişme kaynağının kurumasına yol açmıştır. Bugün gelişmiş üniversiteler hala ayakta durabiliyorsa (ya da ayakta duruyor gibi görünüyorsa) bunun nedeni eskiden üniversiteye girmiş bazı öğretim üyelerinin ya duygusal nedenlerle ya da başka nedenlerle henüz üniversiteden ayrılmaya razı olmamalarıdır.
iv. Öğretim üyeleri kendi alanlarında dünyada olup bitenleri uzaktan (genellikle dergiler kanalı ile) izleyebilmekte, kendilerini yenileyememekte, endüstriyel tecrübe kazanamamaktadır.
v. Üniversite-endüstri bağları ya yok ya da çok zayıftır. Bu ilişkiler teşvik edilmediği ve yönlendirilmediği için araştırmalar akademik alana sıkışıp kalmakta, uygulamadan

geri besleme alınamadığı için ve üniversite laboratuarı da yetersiz olduğu için akademik çalışmalar çok kısır kalmaktadır.

vi. Yurt dışında yapılan doktora ve sonrası araştırma çalışmaları ülkemize yararlı olacak biçimlere sokulamamaktadır. Bu çalışmaların çoğuna yurdumuzda devam etme olanağı ya yok ya da çok azdır. Endüstri ile ilişkiler de olmayınca yurda dönen araştırmacı verimsiz kalmakta ve en kısa zamanda üniversiteden ayrılıp ya geldiği ülkeye ya da daha iyi para kazanacağı ilgisiz bir alana gitmektedir.

Bu liste uzayıp gidebilir. Görüldüğü gibi genel bir yönsüzlük, amaçsızlık, desteksizlik, dağınıklık söz konusudur. Bu durum ilk bakışta, ülkemizin geçirmekte olduğu sarsıntı ve değişimlerin üniversiteye yansıması gibi görünüyor. Yani, devletin, hükümetlerin izlediği politikaların sonucu gibi. Ama bu madalyonun devleti ilgilendiren yüzüdür. Diğer yüzünde ise üniversitelerin, bilim adamlarımızın tutumu var. Bu noktaları biraz açalım.

Devlet, hala üniversiteleri bir '**derslikler yığını**' öğretim üyelerini de '**kitaptan karatahtaya bir şeyler aktarıp ezberleten öğretmen**' olarak görmektedir. Yani 'üniversite' kavramı ile 'yüksekokul' kavramı ayırt edilememektedir. Devlet, üniversitelerin 'araştırma' görevini işe yaramaz bir lüks gibi görmekte veya bizim üniversitelerimizde teknolojiye yenilik getirecek araştırmalar yapılabileceğine inanmamaktadır (belki de bilmemektedir). Bu durumda, ülkenin genel ekonomik durumu içinde üniversite öğretim üyesine de sıradan öğretmen muamelesi yaparak ona göre maaş vermektedir. Üniversiteyi de liselerin uzantısı olarak genel eğitim veren okullar olarak görerek ona göre para ayırmaktadır.

Üniversiteleri bilim ve teknoloji üretilecek ve endüstrideki Ar-Ge çalışmalarına katkıda bulunabilecek kuruluşlar olarak görmemektedir. Bu durumda, üniversitenin destek çağrıları ülkemizde sıkıntıda olan tüm diğer kesimler gibi cevapsız kalmaktadır. İşçiye, '**ücretinin enflasyonun üzerinde artmasını istiyorsan daha verimli ol, daha çok üret**' denir. Köylüye '**tarladan daha fazla ürün al ki gelirin artsın**' denir. Bu yaklaşımın üniversiteye yansıması da '**daha çok ek ders ver, ücretin artsın**' biçiminde oluyor. Oysa büyük zahmet ve masraflarla yetişmiş, kullanılmaya elverişli büyük potansiyelleri olan bilim adamlarının yalnızca ders vermek gibi rutin ve yaratıcılığı olmayan bir işte kullanılması kadar sakat bir yaklaşım düşünülemez. Yalnızca ders vermek için onca zahmetlere girip doktora ve üstü çalışmalar yapmaya gerek yok ki! Oysa bu bilgi birikiminden ülke kalkınması için çok daha etkili bir biçimde yararlanılabilir.

Üniversitelerde tutum ve davranışların ciddi biçimde tartışılması gerekiyor. Bir zamanlar (60-70lerde) lisans eğitimi verebilecek eleman bulmak bile büyük sorundu, o dönemlerde öğretim üyesinin birinci görevi lisans eğitimi idi. Yüksek düzeyli araştırmalar ise daha çok dünyadaki gelişmeleri izleyebilmek, geri kalmamak, bilim üretme ve yayma kavramlarının hemen hiç bulunmadığı ortamlarda bir takım akademik odaklar oluşturup bu kavramların maya tutmasını sağlamak amacı ile yapılan 'idealistçe' davranışlardı. 19. yüzyılın '**bilim için bilim**' romantizmi ağır basıyordu. Araştırmalar düzeyinde önemli bir talep, teşvik ve yönlendirme yoktu. Türkiye'nin kalkınma hedef ve stratejilerinde üniversitenin yeri ancak lisans eğitimi veren kuruluşlar olarak vardı. Üniversitedeki araştırma çalışmalarının kalkınma planlarındaki yeri netlikten uzaktı. Akademisyenlerden beklenenler pek açık olmadığı için herkes kendi kafasında oluşan veya başka ülkelerde gördüğü 'biçim' ve 'doğrultularda' çalışıyordu. Çalışmalar daha çok akademik amaçlı ya da terfi için bir zorunluluk olarak algılanıyordu. Bu da akademisyenleri bir çıkmaza doğru sürüklüyor, insanları mutsuz ve verimsiz kılıyordu. Şöyle ki: Akademik alanda Türkiye'nin adını duyurabilmek bir amaç gibi konuyor ama bunun gerekleri ya hiç yapılmıyor, ya eksik yapılıyor ya da tümüyle yanlış işler yapılıyordu. Uluslar arası dergilerde makale yazabilmek, bu makalelere atıf almak hem akademisyenin başarısı,

hem de ülkenin uluslar arası akademik ortamda saygınlığı açısından en önemli gösterge olarak alınıyordu.

İleri ülkelerde (ABD, İngiltere, Japonya, Almanya vb.) yayınlanan ve uluslar arası gibi görünüp aslında o ülkelerdeki çalışmalara ağırlık veren periyodik dergilerin amaçları ise bilgi alışverişi yoluyla hızlı ve düzenli bilgi yayılımı sağlamak, sonuçların düzenli bir biçimde bir araya getirip belgelenmesini sağlamak, bilimsel çalışma yöntemlerinin ve sonuçların sunuş biçimlerini standardize etmek, vb. gibi özetlenebilir. Araştırmaların hükümetçe, yerel yönetimlerce ve firmalarca finanse edildiği o ülkelerde, yetenekli biri için araştırma konusu bulmak da kolaydır, araştırma yapmak da kolaydır, yayın yapmak da kolaydır. Oturmuş ve iyi çalışan mekanizmalar vardır. Araştırma konuları, o ülkedeki teknolojinin en ön cephesindeki sorunlardan çıkarılıp bilim alanlarına iletilir. Yeterli her türlü destek sağlanır. İşler doğal bir akış içinde yürür. Çeşitli yönetme, yöneltme, teşvik, denetleme ve değerlendirme mekanizmaları vardır. Dergilerde yapılan yayınlar da bir tür denetleme ve değerlendirme gibi düşünülür.

Şimdi böyle bir ortamda akademik çalışmalar yapmış, bir şeyler öğrenip yurdumuza dönmüş kişilerin aynı başarıyı ülkemizde göstermesinin imkanı var mıdır? Birinci amacı bu mu olmalıdır? Bu yöndeki çalışmalarını, desteksiz, geri beslemesiz, uygulamasız, ne kadar sürdürülebilir? Prof. da olduysa, kimse 'aferin' de demiyorsa teşvik etmiyorsa niye sürdürsün bu çalışmaları? Gerçekçi olursak bu soruların cevaplarında akademik yaklaşımımızın çıkmazları görülüyor. Çok az sayıda akademisyen desteksiz, teşviksiz akademik araştırma yapıyor, o da eğer çalıştığı alanda teorik veya pratik imkanlar varsa. Amaç bilim üretmekse kişiler bu işin çok daha kolay yapıldığı ileri ülkelere giderler. Niye burada zorlansınlar (ellerine geçinecek kadar para dahi geçmiyorsa)? Görüldüğü kadarıyla bilim üretmemek için gerekçelerimiz bol ve ikna edici. Uygulamada da öyle oluyor. Yurt dışında yılda beş makale yazabilen kişiler yurda döndüğünde beş yılda bir makale yazabiliyorlar. Terfiler için gerekmese belki o bile yazılmayacak. Öte yandan, sırf makale çıksın Türkiye' nin 'science index,' te sıralaması yükselsin diye amaçlar koymak, kıt kaynaklarımızı ve beyin gücümüzü bu yönde harcamak da doğru değil. Çok makale yazarak bilim ve teknolojideki geriliğimizi kamufle edemeyiz. Makaleler bilim-teknoloji işbirliği sürecinde doğal olarak ortaya çıkan bir 'yan üründür', amaç değildir. Esas olan seçilmiş alanlarda temel bilim uygulamalı bilim-endüstri zinciri halkalarının tamamlanması, bilimin endüstrinin hizmetine koşması ve endüstriden geri besleme alıp bilimsel çalışmaları yeniden ihtiyaca göre biçimlendirmesidir.

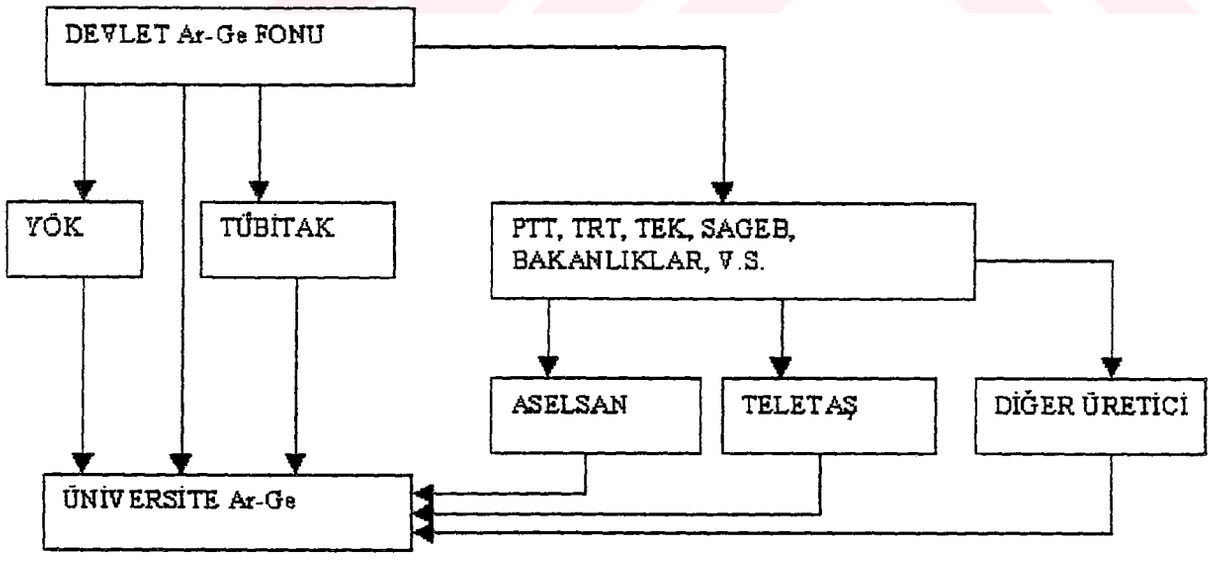
Bu tür çalışmaların sonuçları hem bilim adamlarımız, hem de endüstrimiz için ülke koşullarında daha gerçekçi bir başarı göstergesi olur. Bu yaklaşım '**makale için araştırma**' yaklaşımından daha kolay değil, bilakis daha zordur. Çünkü hem bilimdeki en son gelişmeler izlenecek hem de bu bilgilerin ülke teknolojisine adaptasyonu yapılacaktır. Bu yaklaşım daha zordur, ama mümkündür. Diğer yaklaşımdaki çıkmazlar, tıkanmalar, tükenmeler burada söz konusu değildir. Daha ekonomiktir, anlamlıdır, amaçları bellidir, başarılı olunduğunda önü açıktır.

Tekrar ana konuya dönelim. Ülkemizde hemen hemen tüm kesimler sıkıntılı. Her kesim hükümetten sübvansiyon, destek, teşvik bekliyor, pastadan daha büyük pay istiyor. İnsana ve insanın eğitimine yatırım yapmanın ne kadar önemli olduğunu bilmeyen bir hükümet düşünemiyorum. Sorun, pasta kavgasında kimlerden kesilip eğitime daha büyük pay aktarılacağından doğuyor. Bu kavgada üniversitelerin yalnız ve desteksiz kaldıkları, sıkıntılarını anlatamadıkları gerçek. Klasik yaklaşımlarla durumun vahametini anlatmaya çalışma yanında daha değişik bir yaklaşım da geliştirebiliriz. Ülkemizde önemli teknolojik gelişmeler oluyor. Gözümüzün önünde trilyonluk yatırımlar yapılıyor. TEK, PTT, TRT, ASELSAN, TELETAŞ, bankalar, çeşitli fabrikalar sürekli ileri teknoloji yatırımları

yapıyorlar. Bu para ve teknoloji trafiğinde üniversitelerde de bir kıpırdanma, canlanma beklenir değil mi? Öyle bir şey olmadığı gibi eleman kaybı bile oluyor. Üniversitelerimiz tümü ile devre dışı kalmıştır (Yerli sanayicilerimize sorarsanız onlar 'biz de devre dışı gibiyiz' diyorlar). Oysa, üniversitelerdeki akademik birikimle endüstriyel tecrübe bir araya geldiğinde bazı alanlarda hayal bile edilemeyecek sonuçlar alınabilir. Üniversitelerde kullanılmayan, atıl bekleyen bir potansiyel vardır. Bizim devlete bu potansiyelin değerlendirilmesi için baş vurmamız gerekiyor. Üniversite-endüstri işbirliği için destek ve teşvik yöntemlerinin oluşturulmasını istemeliyiz.

Şimdiye kadar gerek İTÜ' de, gerekse ODTÜ' de üniversite-endüstri işbirliğinin başarılı sonuçlar verebileceğini gösteren çok sayıda projeler yapıldı. Bu projeler değişik zamanlarda, değişik gruplarca gerçekleştirildi. Kimisi akademik niteliği ağır basan, kimisi ileri teknoloji içeren bu projeler, kişisel gayretlerle alındı ve gerçekleştirildi. Projelerin akademik yaşama etkileri küçümsenemeyecek boyutlarda olabilmektedir. Ama bu projelerin çoğu kendimizi tekrar tekrar kanıtlamadan öteye gitmedi. Olumlu (veya olumsuz) örnekler olarak kaldı. Çünkü bu tür projeler ve üniversite-endüstri işbirliği örnekleri bir devlet politikası olarak bilinçli ve sistemli biçimde desteklenmedikçe, teşvik edilmedikçe, ancak çok sınırlı ve dar kapsamlı başarılar olarak kalır.

Kaynakların az olduğu her alanda seçici davranmak doğaldır. Her alana teşvik sağlanırsa hiçbiri teşvik edilmemiş olur. Devletin üniversitelere Ar-Ge için ayıracağı bir fonun üniversitelere sanayi kanalıyla girmesi, bu kaynağın daha rasyonel ve verimli kullanmasını sağlayabilir. Üniversiteler daha ayakları yere basan alanlara yöneltilmiş olur. Bilim ve Teknoloji çok geniş bir alana yayılmış durumda. Bunların tümünde iddialı olmak imkansız. Ama bir yandan da tüm gelişmeleri izlemek gerekiyor. Hangi alana ne derece girilmesi gerektiği bu yaklaşımla kendiliğinden ortaya çıkar. İlk bakışta bu yaklaşımla temel araştırmalar ikinci plana itilmiş gibi görünüyorsa da gerçek bir uygulamalı araştırmanın temel bilimlere ne kadar bağlı olduğu hemen her projede gözlenmiştir. Ayrıca, bu konularda TÜBİTAK devreye girerek seçilen alanlarda temel araştırmalara destek verebilir. Önerimiz, (örneğin; elektrik mühendisliği alanında) aşağıdaki şemadaki gibi özetlenebilir:




**Şekil 5. 2 Ar-Ge fonu dağılımı [44]**

Tecrübelerimize göre müşteri kuruluşlarının doğrudan üniversiteye başvurmaları yerine, üretici firmalar kanalıyla gelmeleri Türkiye koşullarında daha gerçekçi bir yaklaşım oluyor. Üretimden sorumlu firmanın tecrübe düzeyi, üniversitedeki akademik birikimi sonuç almaya yöneltmekte en önemli etken olarak gözükmektedir.

Yine tecrübelerimize göre, endüstri-üniversite ilişkilerinin verimli ve başarılı olabilmesi için gerekli koşullar şöyle özetlenebilir:

i. Modern bir sanayi kuruluşu
ii. Sanayi kuruluşunda Ar-Ge zihniyeti ve imkanları
iii. Üniversitede ilgili dallarda takım oluşturabilecek sayıda ve nitelikte öğretim üyesi bulunması
iv. Sanayide üniversitenin neyi nereye kadar yapabileceğini bilen, eğitimi ve bilgisi üniversitelerdekilerle işbirliği yapabilecek, ortak bir dil konuşabilecek, akademik sonuçları uygulamaya aktarabilecek düzeyde ekip bulunması
v. Tabii hepsinden önce sanayinin plan, program yapmasına imkan sağlayacak düzeyde istikrarlı bir pazar, yani müşteri gerekiyor, teşvik gerekiyor.

Bu koşulların hiçbirisi tam olarak sağlanmış değil. Bazen üniversitede bir dalda önemli birikim varken o dalda sanayi yoktur veya vardır ama bizim üniversitelerimizle ilgisi yoktur. Bazen sanayinin canlı olduğu bir dalda üniversitede hayat yoktur. Her ikisinin de canlı olduğu durumda üniversite-sanayi ilişkilerini sağlayacak mekanizmalar felçtir, vb. Yani bir türlü planlı, programlı, olaya bir bütün olarak bakabilen bir yaklaşım geliştirilemiyor. AT' a girmeye çalışıyoruz. Üniversite-sanayi işbirliğinin birinci derece önemde olması gereken bir aşamadayız. Bu kritik aşamada sanayimiz için bir şey diyebilecek düzeyde değilim ama üniversitelerimizin bir çöküntü içinde olduğu söylenebilir.

Türkiye' nin endüstrileşmesine damgasını vurmuş tarihi üniversitemiz İTÜ, dünya ölçeğinde saygın bir yer edinmiş ODTÜ gibi lokomotif görevi yapabilecek üniversitelerimiz sanki bilinçli olarak ustaca törpülenmiş, içi önemli oranda boşaltılmış, yeni akademisyen yetiştirme kaynakları nerede ise kurutulmuş durumdadır. Geniş kitlelere kaliteli eğitim veren, gerektiğinde ve imkan sağlandığında ileri düzeyde teknolojik ve bilimsel araştırma yapabilecek, bilimsel-teknolojik koçbaşı olarak kullanılabilecek bu üniversitelerimizi çökertmeye çalışanların hayırla anılmayacakları kesindir.

Sonuç olarak, eğer Türkiye, endüstrileşme alanında havlu atmamışsa, özellikle elektrik-elektronik alanında hala söz sahibi olma niyetimiz varsa, hem hükümetin hem de üniversite ve endüstrimizin bir zihniyet reformundan geçmesi gerekiyor. Bugün yalnız ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü olarak her yıl yurt dışına 15-20 '**patlamaya hazır bomba gibi**' yetişmiş mezunumuzu gönderiyoruz. Bunların çoğunluğu ya dönmüyor ya da kısa bir süre için dönüyor ve bilimsel-teknik çalışma ortamı bulamadığından üniversiteyi bırakıyor, tekrar yurt dışına gidiyor. Oysa bu beyinlerle Türkiye'de çok büyük işler yapılabileceği defalarca kanıtlanmıştır. Sorun helva yapacak kişilerin ve makamların bunu görebilmesinde yatıyor sanıyorum. [44]

## 5.2 Dünyadaki Çalışmalar

Dünyadaki üniversite ve Ar-Ge merkezlerinin tümdevre üretim ve tasarım çalışmaları özellikle ABD'de yoğunlaşmıştır. Bu bölümde ABD çalışmaları ile birlikte Kanada, İngiltere ve diğer Avrupa ülkeleri ve Asya ülkelerinin çalışmaları özetlenmiştir.

### 5.2.1 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletlerinde Ar-Ge:
1996' da bilim ve mühendislik (Science and Engineering: S&E) araştırmaları, 565 kolej ve üniversitede 136 milyon $ft^2$ (Net Assignable Square Feet : NASF) alanda gerçekleştirilmiştir. İlk 100 üniversite 1996' da S&E çalışmalarının %72' sine, 1994' de bütün Ar-Ge çalışmalarının %80' ine sahiptir.

Bilim ve mühendislik 1988' den beri %2,4 artış ile 112 milyon NASF' den 136 milyon NASF' ye yükselmiştir. Akademik Ar-Ge harcamaları 1988' den 1994' de %4 yıllık artış göstermiştir.

1994-1995 mali yılında kolej ve üniversiteler S&E araştırma yapı projelerine 2,8 milyar Dolar(ABD) harcamıştır. Bu harcama 1992-1993' de 3 milyar Dolar(ABD) 1990-1991' de ise 3,4 milyar Dolar(ABD) idi.

Yapı harcamalarının ana kaynağı ulusal ve bölgesel idarelerdir (tüm yapı masraflarının %43' ü veya 1,2 milyar Doları(ABD)). Federal harcamalar (fon) 1990-1991' de 537 milyon Dolar(ABD) iken 1994-1995' de 207 milyon Dolara(ABD) düşmüştür.

Tamir/yenileme projeleri genellikle enstitü fonundan karşılanmaktadır (tüm tamir/yenilemenin 443 milyon Doları(ABD) veya %41' i). Federal tamir/yenileme fonu 1990-1991' de 55 milyon Dolar(ABD) iken 1994-1995' de 111 milyon Dolar(ABD) olmuştur.

Toplam S&E yapı ve tamir/yenileme projelerinin harcamaları 1996' da 9,3 milyar Dolar(ABD) dır. Proje masraflarının 3/4' ü enstitü planları içerisindedir.

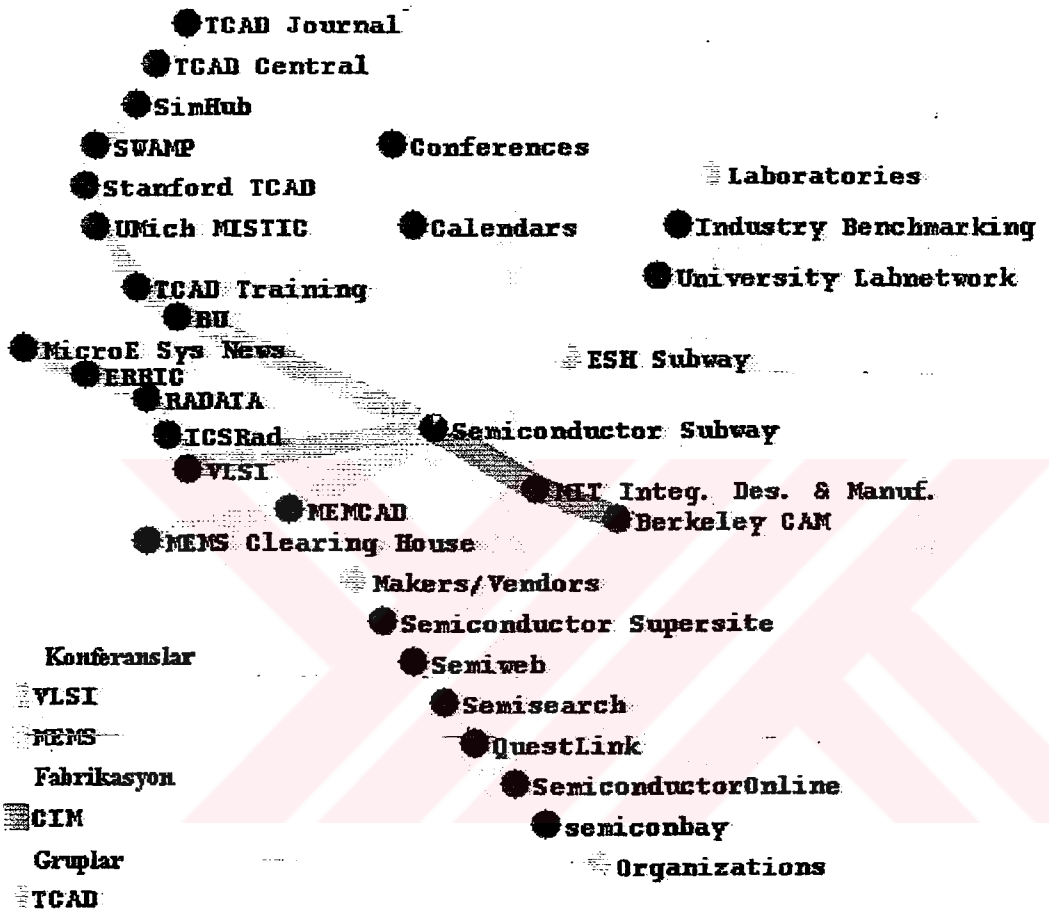
Ek olarak, kolej ve üniversitelerin tüm tamir ve yenileme harcamaları 2,5 milyar Dolar(ABD) dır. Bu miktarın 0,7 milyar Doları(ABD) S&E araştırmalarına ayrılabilir. Toplam yapı ve tamir/yenileme proje harcamaları 0,7 milyar Dolar(ABD) ile 9,3 milyar Dolar(ABD) toplamı olan 10 milyar Dolar(ABD) olmaktadır.

Hükümet 2000 mali yılı bütçesinde Ar-Ge programına 1999 yılı mali bütçesinden (77 milyar Dolar(ABD)) %2 daha az yani 75 milyar Dolar(ABD) ayırmayı düşünmektedir. Enflasyon göz önüne alınırsa Ar-Ge bütçesi %4 düşebilir.

Hükümet 2000 mali yılında genel bilim araştırma fonuna %4,5 artış ile (200 milyon Dolar(ABD) artırarak) 5 milyar Dolar(ABD) ayırmayı düşünmektedir. NSF (National Science Foundation: NSF) bu miktarın %54,5' ine sahip olacaktır. Geriye kalan kısmı Enerji Bölümüne (Department of Energy: DOE) ayrılmıştır. NSF matematik, fizik, jeoloji, biyoloji, mühendislik, bilgisayar, bilgi teknolojileri, sosyal, davranış ve ekonomi bilimlerine destek vermektedir. DOE ise enerji, yüksek enerji fiziği, biyolojik, çevresel araştırma ve nükleer fiziğe destek vermektedir. Genel bilim tüm Federal Ar-Ge bütçesinin %6' sına sahiptir. [45]

Semiconductor Subway:
Semiconductor Subway (Yarıiletken Alt yolu) yarıiletken ve mikro-sistemlerle ilgili fabrikasyon olanakları, araştırmalar, standartlar vb. bütün bilgilere bağlantı sağlamaktadır.

**Grafik 5. 1 Semiconductor Subway haritası [46]**




a. Fabrikasyon

Laboratuar Alt yolu (Laboratories Subway) üniversite ve ilgili araştırma fabrikaları ile bağlantı kuran bir alt yoldur.

Üretici/Satıcı Alt yolu (Maker/Vendor Subway) endüstriyel fabrika ve kuruluşlarla bağlantı kurmaktadır.

CSM (Competitive Semiconductor Manufacturing: CSM) programı (UC Berkeley) dünyanın en iyi yönetim, organizasyon, teknik ve insan kaynağını oluşturmak için dünyanın en iyi yarıiletken üretim çalışmalarını birleştirmektedir.

b. Teknoloji Bilgisayar Destekli Tasarım(TCAD)

Teknoloji Bilgisayar Destekli Tasarım (Technology CAD: TCAD) dergisi IEEE sponsorlu TCAD araştırmalarını elektronik ortamda yayınlamaktadır. Teknik makalelerle birlikte, son

bilgi ve kitapları içeren bir takvim de bulunmaktadır. Stanford sitesinde bu dergi görülebilir. TCAD Merkezi ise TCAD haber ve bilgilerinin bağımsız kaynağıdır.

Yarıiletken Simülasyon Merkezi (Semiconductor Simulation Hub) yarıiletken malzeme, işlem, eleman ve devreleri simüle eden programları sağlayan simülasyon laboratuar ağıdır.

"Silicon Integration Initiative" altındaki "TCAD Standarts" SPR (Semiconductor Process Representation: SPR) ve SWR (Semiconductor Wafer Representation: SWR) çalışmalarından oluşmaktadır.

Michigan Üniversitesi 2-boyutlu geometrik eleman tanımlayan ve otomatik olarak fabrikasyon işlemine başlayan MISTIC adında bir TCAD programı geliştirmiştir.

Boston Üniversitesi Process Modelling Lab' ta daha iyi model ve simülatörler geliştirmek için tümdevre fabrikasyon işlemi üzerine odaklanmış çalışmalar yapmaktadır.

Louisiana Tech Üniversitesi TCAD Training and Research Laboratory' de yarıiletken endüstrisi TCAD araştırma ve öğretimine yardımcı olmak için çalışmaktadır.

c. VLSI Devreler

Tennessee Üniversitesinde MOSIS User's Group (MUG) gazetesi olan Mikroelektronik Sistem Gazetesi (Microelectronics Systems Newsletter) Don Bouldin tarafından çıkarılmıştır. Bununla birlikte Mikroelektronik Sistem Takvimi (Microelectronics System Calendar) de bulunmaktadır.

Idaho Üniversitesi VLSI ile ilgili geniş oranda bilgi birikimine sahiptir.

ICS Radiation Technologies Inc. yarıiletken elemanların radyasyon etkilerini inceleyen test, mühendislik ve danışmanlık hizmeti veren bir firmadır.

JPL/NASA toplam iyonize dozlu (Total Ionizing Dose:TID) ve tek olay etkilerini (Single Event Effects: SEE) test eden radyasyon bilgilerini sağlayan RADATA' a sahiptir. Bu bilgilere yazılı izin olmadan ulaşılamamaktadır.

Electronic Radiation Response Information Center elektronik parçaların nükleer radyasyon bilgilerini (100.000' den fazla) içeren bir veri tabanıdır.

d. MEMS

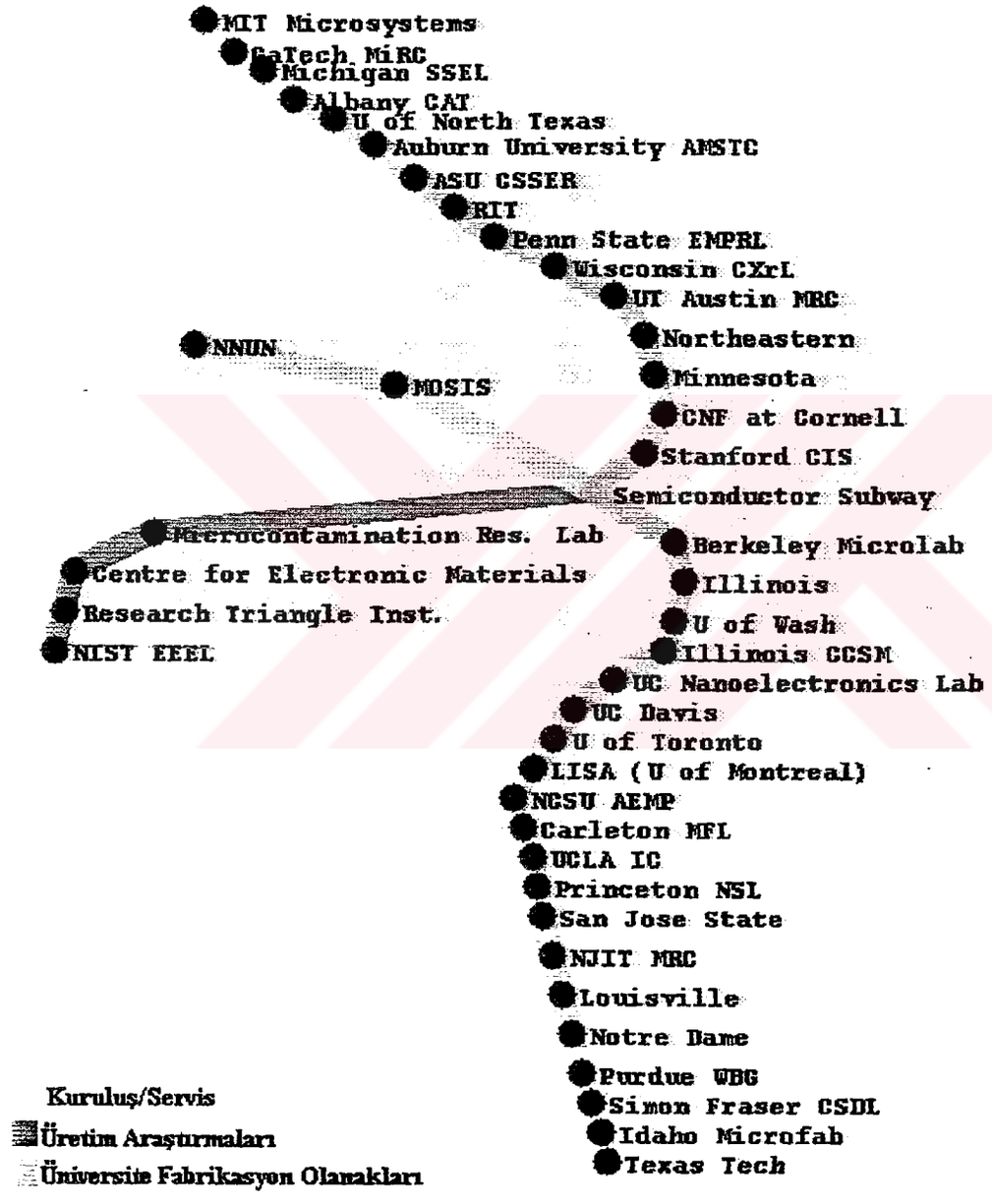
USC Information Sciences Institute MEMS konusunda hizmet vermek üzere MEMS Information Clearing House' i kurmuştur.

Semiconductor SuperSite ticari yarıiletken satıcıları ve yarıiletken işleme konusunda hizmet veren bir web adresidir.
Semiweb yarıiletken ile ilgili satıcı, organizasyon, üniversite ve diğer grupların bağlantılarını içerir.
Semisearch satıcı bilgi, ürün ve bağlantı bilgilerini içeren Yarıiletken Üretim Endüstrisi "satın alma rehberi" dır.
QuestLink Technology' in EE Design Center' i yarıiletken, elektronik eleman ve ürünlerle ilgili satın alma, referans tasarımlar, destek aletler, sık sorulan sorular, uygulama notları ve teknik bilgileri içeren ücretsiz bilgi servisidir.

Semiconductor Subway MIT MTL tarafından mikro-sistem ve yarıiletken teknolojileri konularında hızlı eğitim ve haberleşme amacı ile sürdürülmektedir.

The Laboratories Subway:
Olanaklar Alt yolu(Facilities Subway) fabrika ve fabrikasyon olanaklarına bağlantı sağlamaktadır.

**Grafik 5. 2 Yarıiletken fabrikasyon alt yolu haritası [46]**




a. Üretim Araştırma Olanakları

Elektronik Malzeme Merkezi (Centre for Electronic Materials :CEM) elektronik malzemelerle ilgili lisans üstü öğretim ve araştırma bilgilerini sağlamaktadır.

Clarkson Üniversitesi Mikro-kirlilik Araştırma Laboratuarı (Microcontamination Research Laboratory) yarıiletken işlem cihazlarında parçacık oluşumu, oluşturulması ve geçişi alanında araştırmalar yapmaktadır.

Research Triangle Center for Semiconductor Research çeşitli elektronik ve optoelektronik uygulamalarında kullanılacak GaAs ve InP tabanlı HBT elemanları üzerine odaklanmıştır.

NIST Electronics and Electrical Engineering Laboratory ABD ekonomisinin büyümesine ABD elektronik ve elektrik endüstrisi ile birlikte müşteri ve bayilerin ihtiyaçlarını karşılayacak ölçü aletlerini sağlayarak katkıda bulunmaktadır.

b. Üniversite Olanakları

University Fabrication Facilities veri tabanı mikro-fabrikasyon gücünün yerini belirlemeye yardımcı olabilir.

MIT Microsystems Technology Laboratories eğitim, araştırma ve servisle ilgili çok geniş bir programa sahiptir.

Stanford Center for Integrated Systems Stanford' daki servis ve araştırma bilgilerine sahiptir.

Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Microlab' da kullanışlı bilgiler mevcuttur.

National Nanofabrication User Network (NNUN) ileri nanofabrikasyon teknolojisi ile ilgili bilgiler sağlamaktadır.

"Cornell Nanofabrication Facility" NNUN' daki anahtar üyedir.

Wisconsin Center for X-Ray Lithography olanak ve yazılımları hakkında bilgiler sağlamaktadır.

İllinois Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde www ekranı ile Integrated Circuit Fabrication kursu vermektedir.

Texas Üniversitesi Austin MRC disiplinler arası bir Microelectronics Research Center olup araştırma grupları ve araştırmaları hakkında bilgi sağlamaktadır.

Northeastern University Electron Devices Group fakülte ve lisans öğrencilerine hizmet veren yaygın bir ağıdır. Laboratuarda mikro-fabrikasyon, mikro-dalgâ malzeme fabrikasyonu ve tanımlanması, plazma ölçme ve işleme,gürültü ölçümü, mikro-dalga eleman tanımlanması ve VLSI tasarım olanakları bulunmaktadır.

İllinois Üniversitesi Center for Compound Semiconductor Microelectronics (CCSM) bir "NSF Engineering Research Center" olup kendi optoelektronik araştırma bilgileri bulunmaktadır.

Cincinnati Üniversitesi Nanoelectronics Laboratory yarıiletken ve diğer elektronik malzemelerin nanometre ölçeğindeki araştırma bilgilerini sağlamaktadır.

Rochester Institute of Technology mikroelektronik araştırma bilgilerini sağlamaktadır.

Arizona State Üniversitesi Center for Solid State Electronic Research ULSI modelleme ve tasarımı, Si teknolojisi, nanoyapılar ve bileşik yarıiletken araştırmalarını sağlayan bir merkezdir.

Michigan Üniversitesi Solid State Electronics Laboratory III-V Tümdevre ve Eleman Grubunun çalışmaları hakkında bilgi sağlamaktadır.

Auburn Üniversitesi Alabama Microelectronics Science and Technology Center (AMSTC) ileri mikroelektronik eğitimi ve teknoloji hakkında bilgi sağlar.

UC Davis Microfabrication Facility mikroelektronik, MEMS, optoelektronik ve bu teknolojilerin uygulama alanlarını araştırır.

Toronto Üniversitesi Electronic Materials Group elektronik malzeme araştırma projeleri ile işlem, tanımlama ve hesaplama olanaklarına sahiptir.

Montreal Üniversitesi Laboratory for the Integration of Sensors and Actuators (LISA) entegre gaz sensörleri, Nasicon iyon zarları, optoelektronik, III-V faklı yapılı yüksek hızlı elemanlar ve MEMS üzerine araştırmalar yapmaktadır.

Washington Üniversitesi Electronic Materials Research Group Si ile Ga Nitrat elektronik malzemelerin sentezi ve tanımlanması araştırması yapmaktadır.

Penn State Electronic Materials and Processing Research Laboratory (EMPRL) olanakları, personel ve programları hakkında www bilgileri sunmaktadır.

Minnesota Microtechnology Laboratory (MTL) eğitim, araştırma ve endüstriyel iş birliğini sağlamak amacı ile "Institute of Technology" içinde fakülte araştırmalarına destek vermektedir.

North Caroline Center for Advanced Electronic Materials Processing tek pul işleme teknolojisini geliştirmektedir. Program otomasyon ve her bir işlemin kontrolünü tek pul işleme modüllerine entegre etmektedir.

Princeton NanoStructures Laboratory (NSL) amacı farklı disiplinlerden elde edilen bilgiler ile nanoteknoloji kesim kenarını birleştirerek manyetik, optoelektronik, nano-ölçekli elektronik geliştirmek ve bugünkü teknolojilerden daha küçük, daha ucuz ve daha iyi yeni nano-teknolojiler geliştirmektir.

Carleton Üniversitesi Microelectronics Fabrication Laboratory (MFL) işlem teknolojisi, eleman fiziği ve modellenmesi, yenilikçi devre teknikleri, fotonik, biyomedikal elemanlar ve MEMS araştırmalarına destek vermek amacı ile Si tümdevre ve eleman üretimine esnek bir olanak sağlamaktadır.

Industry /University Cooperative Research Center for Nanostructural Materials (I/UCRC for NMR) North Texas Üniversitesinin disiplinler arası bir araştırma birimidir. Merkez atom seviyesi yapıların veya nano yapıların uzay, elektronik, ulaşım, metalürji ve diğer endüstrilerde kullanılmasını araştırmaktadır.

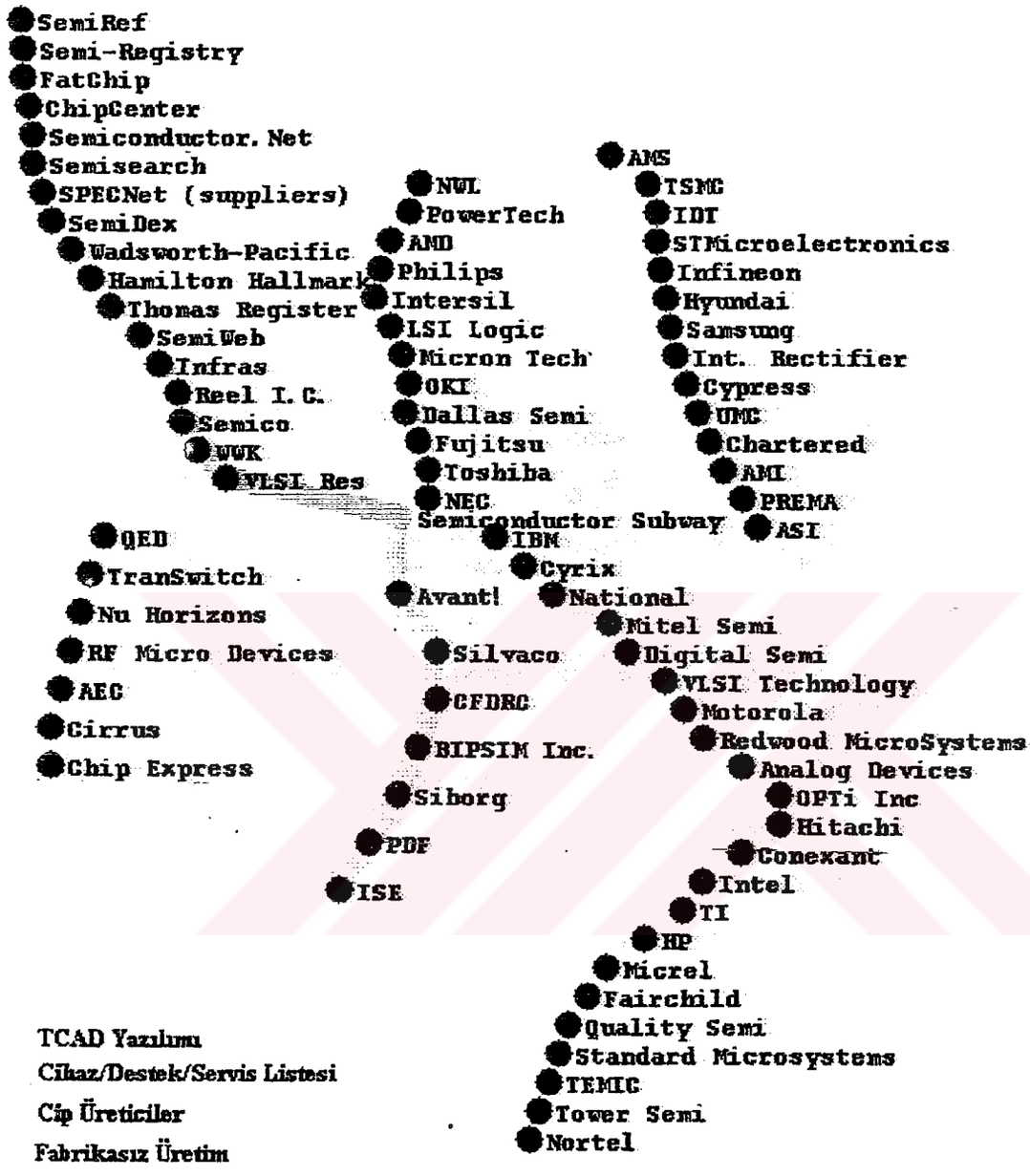
UCLA Asad Abidi Research Group (AA Group) analog IC araştırma ve tasarımı hakkında bilgi vermektedir.





San Jose State Üniversitesi Center for Electronic Materials and Devices elektronik malzeme ve eleman alanındaki bir araştırma ve eğitim merkezidir.

**Grafik 5. 3 Üretici/Satıcı Alt yolu haritası [46]**




New Jersey Institute of Technology (NJIT) Microelectronics Research Center entegre MEMS ve CMOS elamanları test, paketleme, üretim ve tasarım Ar-Ge birimidir.

Louisvelle Üniversitesi Lutz Microfabrication Facility öğretim ve araştırma amacı ile kullanılmakla beraber çeşitli elektro-optik eleman, MEMS, ayrık mikroelektronik eleman ve IC üretiminde kullanılan temel ve modern fabrikasyon tekniklerini sunmaktadır.

Notre Dame Üniversitesi Microelectronics Laboratory nanometre ölçeğinde ve 10 mK sıcaklık ortamında elektronik malzemelerin test ve fabrikasyon olanaklarını desteklemektedir. Purdue Üniversitesi Wide Band Gap araştırmaları SiC ve GaN geniş band boşluklu yarıiletken elektronik malzemeleri (optik olmayan) üzerinedir.

Simon Fraser Üniversitesi Fizik ve Mühendislik Bilimi Bölümündeki Compound Semiconductor Laboratory(CSDL) ileri III-V yarıiletken elemanların geliştirilmesi çalışmalarını yapmaktadır.

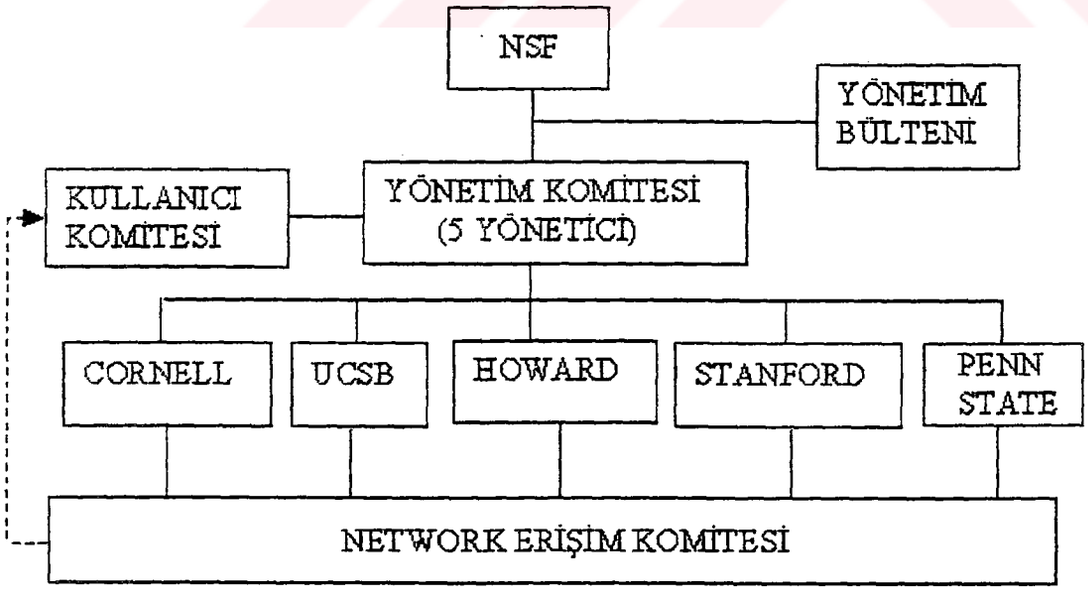
Albany Üniversitesi Center for Advanced Thin Film Technology mikroelektronik, elektronik, optoelektronik ve fotonik eleman ve parçaların üretilmesi ve kullanımına destek veren endüstriler için araştırma, geliştirme ve eğitim merkezidir.

Georgia Institute of Technology Microelectronics Research Center (MiRC) mikroelektronik, entegre optoelektronik, mikro-sensör ve ateşleyici araştırmalarına alt yapı, olanak ve destek veren disiplinler arası bir merkezdir.

Boise State Üniversitesi Idaho Microfabrication Lab Mühendislik Koleji ile Uygulamalı Teknoloji Koleji ortak projesidir. Merkez mühendislik ve teknoloji öğrencileri ile birlikte diğer bölüm ve fakültelerin araştırma öğrencilerine açıktır.

The Maker/Vendor Subway:
Üretici/Satıcı Alt yolu (Maker/Vendor Subway) yarıiletken endüstrisi satıcılarına bağlantı sağlar. [46]

Ulusal Nanofabrikasyon Kullanıcı Ağı (National Nanofabrication Users Network :NNUN):
CNF (Cornell Üniversitesi Nanofabrikasyon Merkezi) User Programının başarısı üzerine NSF (National Science Foundation) 1993'te Nanofabrikasyon Kullanıcı İmkanlarını bir ağ üzerinde birleştirmeye karar verdi. 1 Mayıs 1994 'de NNUN, CNF- Cornell, Stanford Üniversitesi, Howard Üniversitesi, Penn State Üniversitesi ve Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara 'dan oluşan bir ağ olarak kuruldu. Ağ nanofabrikasyon konusunda destek veren ve nanofabrikasyon servislerine ulaşmada etkili bir birim olarak çalışmaktadır. Stanford ve Cornell kullanıcı projelerinin birinci kaynağıdır. Diğer ağ ortakları destek birimleri olarak çalışmaktadır. Howard Üniversitesi ve Penn State özel yeni malzemeler üzerine çalışmakta ve UCSB (University of California at Santa Barbara: UCSB) malzemelerin kuru aşındırılması işlemi üzerinde çalışmaktadır.




**Şekil 5. 3 NNUN Organizasyon şeması [47]**

a. Network Olanakları

Cornell Üniversitesi "CNF User Program" ile ağa destek vermektedir. "CNF User Program" mikroelektronik ve elektronikle ilgisi olmayan nanofabrikasyon uygulaması ve kullanıcı erişiminden oluşur.

Stanford Üniversitesi Nanofabrikasyon Olanağı, Entegre Sistemler Merkezinde olup Si mikroelektronikten nanofabrikasyona ulaşılmıştır. Elektroniğin nanofabrikasyon uygulamaları konusunda uzmanlaşmaktadır. Standart CMOS işlemi ile kompleks ticari tümdevrelerin ve diğer uygulamaların alt sistemlerinde kullanılır. Elektron huzme ve fotolitografi olanakları 100nm' den daha küçük fabrikasyona kadar ulaşmaktadır.

SNF (Stanford Nanofabrication Facility: SNF) fabrikasyon işlemi simülasyonunda uzmanlaşmaktadır. SNF uzaktan kumandalı fabrikasyon konusunda önemli çalışmalar yapmaktadır. NNUN' da yarı iletken ve yarı iletken olmayan sistemlerin işlenmesi, genişletilmesi ve geliştirilmesi konularında çalışılmaktadır.

Howard Üniversitesi Mükemmel Malzeme Bilimi Araştırma Merkezinde (Materials Science Research Center of Excellence: MSRCE) çalışmalar yapmaktadır. Howard Üniversitesinde uzmanlık konuları SiC ve AIN gibi yeni yüksek band boşluklu yarı iletken malzemelerin oluşturulması ve işlenmesidir. Aynı zamanda GaAs sistemlerde MBE oluşum konusunda çalışılmaktadır.

Penn State Elektronik Malzemeler ve İşlem Araştırma Laboratuarında (Electronic Materials and Processing Research Laboratory : EMPRL ) elmas ferroeektrik gibi yeni elektronik malzemelerin oluşturulması ve işlenmesi konularında çalışmalar yapılmaktadır. Fotolitografi, elektron huzme litografi ve ince film işleme cihazları çeşitli ince film malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara özellikle III-V malzemeler olmak üzere kuru aşındırma konusunda uzmanlaşmaktadır. Elektronik ve optik uygulamalar için kuantum gövde yapılarının fabrikasyonunda önemli çalışmalar vardır. Litografi ve ince film işleme cihazları da mevcuttur. Bu cihazlar ve tecrübeler ağ kullanıcılarına kendi projelerinde yardımcı olmak üzere sunulmuştur.

### 5.2.1.1 Cornell Üniversitesi

Cornell Nanofabrikasyon Olanağı (Cornell Nanofabrication Facility :CNF):
Misyon:CNF 1977' de kurulmuştur ve mikroyapılar bilimi, özellikle ileri litografi, elektron huzme litografi, nano yapı fiziği, iyon huzme teknolojisi, fabrikasyonu ve analiz için tarama tünel mikroskobu (Scanning Tunnel Microscope: STM), optoelektronik ve elektronik uygulamalar ve biyolojide mikrofabrikasyon uygulamalar konusunda uzmanlaşmaktadır. Olanaklar mümkün olduğu kadar sınırsız hale getirilmiştir ve diğer akademi ve federal laboratuarlardan ve endüstriyel şirketlerden gelen kaliteli araştırıcıları bir araya getirmektedir. Mikro ve nano fabrikasyon tekniklerinde yeni araştırma uygulamalarına hız verilmiştir.

Ortak Çalışılan Laboratuarlar:Kimya Bölümü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Fizik, Tekstil ve Giyim, Uygulamalı ve Fizik Mühendisliği Okulu, Kimya Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği ve Mekanik ve Uzay Mühendisliği.

Sponsorlar: Endüstriyel İlişki Programı (Industrial Affiliates Program : IAP), NSF ve diğer özel firmalar.

Cihazlar: CNF 20nm boyutlara kadar nanoyapıların fabrikasyonu için gerekli ince film ve yarı iletken işleme cihazlarına sahiptir. İki elektron huzme litografi cihazı, iyon huzme sistemi, fotolitografi cihazları dizisi, altı aşındırma sistemi, yedi ince film oluşturma sistemi, test, ölçüm ve destek cihazları. Cihazlar Knight laboratuarında olup tüm kullanıcılara açıktır. Yerli olmayan kullanıcılara araştırma projelerinde öncelik sırası verilebilir.

Knight Laboratuarı Cihaz Listesi:
İleri Si işleme;
İleri Si işleme Alanı
Analiz&Test Cihazları;

- Digital Instruments 3100 Atomic Force Microscope
- Keithley Automated I-V and C-V Measurement Systems
- Leitz MV-SP Spectrophotometer
- Leitz Optical Microscopes
- PHI 670 Auger Nanoprobe
- Prometrix Automated Resistivity Mapping System
- Rudolph Research Ellipsometers
- Tektronix High-Speed Device Characterization Equipment
- Tencor AlphaStep 200 Surface Profilometers

Thin Film Stress Measurement
Bilgisayar;
CNF Computer Cluster
Elektron Huzme Litografi;

- Leica VB-6: Vectorbeam E-Beam System

Leica/Cambridge EBMF 10.5/CS Electron Beam Lithography System
Elektron Mikroskop;

- Amray 1830TC Scanning Electron Microscope

Leo (Zeiss) 982 Scanning Electron Microscopes
Paketleme;

- Karl Suss RA 120M Scriber

Westbond 7400A Ultrasonic Wire Bonder
Fotolitografi;

- Nikon EX7 DUV 248 nm Eximer Laser Steppers
- GCA-6300 10X i-Line Stepper
- GCA-6300 5X g-Line Stepper
- Mann PG-3600F Optical Pattern Generator
- HTG Deep-UV Contact Aligner
- Suss MA6 Contact Aligner
- Yield Engineering Systems Vapor Prime Oven

CEG GOBO Resist Coater
İnce Film Oluşturma;

- Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition System
- CVC AST-601 Sputter Deposition System
- CHA Thermal Evaporator
- CVC SC-4500 Evaporator

TRC Dual E-Gun Evaporator
İnce Film Aşındırma;

- PlasmaTherm SLR-770 Chlorine Etcher

- PlasmaTherm SLR-770 IcP Bosch Etcher
- PlasmaTherm SSL-720 Reactive Ion Etcher
- PlasmaTherm PK-1250 Reactive Ion Etcher
- PlasmaTherm 72 Reactive Ion Etcher
- Custom Reactive Ion Etcher
- Materials Research Corp. Model 720 Magnetron Ion Etcher
- IPE/Technics Plasma GmbH RIB Etch 160 Chemically Assisted Ion Beam Etching System
- Branson/IPC P2000 Barrel Etcher
- PlasmaQuest ECR
  CNF Custom Ion Mill
- AG Associates Model 610 Rapid Thermal Annealer
  Varian Ion Implanter [47]

### 5.2.1.2 Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara

Nanotech:
UCSB Nanotech olanağı bileşik yarı iletken tabanlı cihaz fabrikasyonu sağlayarak bilimsel ve araştırma merkezlerine destek vermektedir. Nanotech malzeme bilimi, optoelektronik, elektronik cihaz araştırma ve nanofabrikasyonda dünya lideridir.

Nanotech bileşik yarı iletken tabanlı cihaz fabrikasyonu ile litografi, ince film oluşturma ve aşındırma konularında tam bir gelişme sağlamaktadır. Optoelektronik yüksek hızlı elektronik elemanlar ve nanoyapılar üzerine güçlü programları ile Nanotech bu alanda araştırmacı ve yabancı kullanıcılara işlem ve fabrikasyon teknikleri konusunda öncülük etmektedir. Malzeme Bölümü sayesinde Nanotech kullanıcıları AFM (Atomic Force Microscope: AFM) ve diğer mikroskop geliştirme teknikleri de dahil olmak üzere çeşitli malzeme özelliklerine erişebilmektedir.

Nanotech Uzmanlık Alanları: Nanotech çeşitli yarı iletken, dielektrik, metal, polimer ve diğer malzemelerin kuru aşındırılmasında uzmanlaşmaktadır. Kuru aşındırmada kullanılacak uygun maskeleme malzemesi ve maskeleme modellenmesinde danışmanlık hizmeti vermekte ve yardımcı olmaktadır. Bu son işlem modelin optik litografi tanımı ile çeşitli dielektrik ve metalik malzemelerin oluşturulmasını içerir. Son olarak gövde üzerine yüksek çözünürlüklü direk yazma modelleri ve elektron huzme litografili maske fabrikasyonu da yapılmaktadır.

a. Nanotech Cihaz Listesi

Kuru Aşındırma;
- RIE #1 Custom, Loadlocked Chlorine-Based System
- RIE #2 Methane /Hydrogen-Based System
- RIE #3 Fluorine-Based System MRC 51
- RIE #5 Programmable, Loadlocked Chlorine-Based System

E-Huzme Litografi;
- JEOL JBX-5D11 (U) Electron Beam Litography System

Paketleme;
- M-8A flip Chip Aligner Bonder

Fotolitografi;
- Deep UV Flood Exposer / Light source and HA-1KC2 power supply
- Mask Aligner / MJB 3 UV400 IR

- Mask Aligner /MJB 3 UV400

Test ve Ölçüm;

- Hitachi Scanning Electron Microscope (SEM)

Vakum Oluşturma;

- Four Pocket Electron Beam Evaporator
- Solder Evaporator, Veeco VE-300
- Three-Target DC/RF Sputtering System
- NRC 3117 Three Source Thermal Evaporator

Kuantum Elektronik Yapılar Merkezi (The Center For QUantized Electronics STructures: QUEST):

QUEST, NSF tarafından kurulan 24 Bilim ve Teknoloji Merkezinden biridir. Bu merkezler bilim adamlarının ve mühendislerin çalışma alanlarını genişletmekle beraber ABD'nin 21. yy a teknoloji lideri olarak girmesini sağlamak için kurulmuşlardır.

QUEST' in misyonu bir, iki ve üç boyutlu kuantum etkisi gösteren ve Kuantum Gövde, Kuantum İletken ve Kuantum Nokta olarak adlandırılan mikroskopla görülebilen küçük yapılı yeni fiziksel fenomenler üzerinde çalışmaktır. QUEST yüzey kimyası, malzeme araştırma, elektrik mühendisliği, uygulamalı fizik ve yoğunlaştırılmış madde teorilerini bir araya getirmektedir.

QUEST' in amacı bileşik yarıiletkende kuantum yapıları oluşturmaktır. Birkaç yıl içinde laboratuarda bu yapıların üretimi kontrol edilebilecektir. Yeni fiziksel fenomenlerde nelerin keşfedileceği ise merak konusudur. QUEST bilim adamları ve mühendisleri bu düşük boyutlu kuantum yapılardan kaynaklanan problemleri çözmeye çalışmaktadır:

i. Kuantum yapıların oluşum ve fabrikasyon problemleri
ii. Bu yapıların fizik ve kimyası: elektronik, manyetik ve optik özellikleri
iii. Mümkün olabilecek uygulamalar

Kuantum Yapıların Fabrikasyonu: Oluşum ve İşleme

Kuantum elektronik yapıların çok iyi ve küçük yapılar olmasını zorlaştıran neden 10-100 atom boyutudur. Uygun malzeme yapılarının oluşumundaki geleneksel strateji MBE veya Metal Organik CVD (MOCVD) gibi kristal oluşum metotlarıdır. Mikron altı ölçekte kuantum yapılar elektron huzme litografi gibi cihazlarla çekiç ve kalem keski ile oyularak elde edilir.

Kuantum noktaların fabrikasyonundaki son adım "öz-birleştirme" oluşumunun kullanılmasıdır. Kuantum noktaların çapı 60 atom genişliğinde olup dağılım boyunca 4 atomluk bir sapma olmaktadır. STM tekniği oluşum ve nükleer işlemleri anlamada yardımcı olabilir. QUEST adapte edilip fabrikasyon ve analitik tekniklerde öncülük ederek kontrolsüz yüzey oluşumunun kuantum yapılar üzerindeki zararlı etkilerini azaltmaya çalışmaktadır .

QUEST, aynı zamanda "Kuantum Geçiş Projesi" adlı projede JRDC (Research Development Corporation of Japan: JRDC) ile birlikte çalışarak yarıiletken nanoteknolojilerdeki araştırmalara katkıda bulunmaktadır. [48]

### 5.2.1.3 Howard Üniversitesi

MSRCE (Materials Science Research Center of Excellence :MSRCE):
NNUN' un Howard Üniversitesindeki bağlantısı MSRCE dır. MSRCE geniş bant boşluklu malzemelerin (Nitrat ve Karpit bileşik yarıiletkenler) epitaksiyel oluşumu alanında çalışmalar yapmaktadır. MOCVD cihazların bakımı ve eğitimi 24 saat sürdürülmektedir. Servis ve cihaz sağlama dışında MSRCE öğrenci ve fakülteye yararlı olacak eğitim seminerlerine de katılmaktadır.

Malzeme bilimi araştırmaları yüksek güçlü, yüksek frekanslı ve yüksek sıcaklıklı uygulamalarda kullanılacak yeni elektronik ve elektro-mekanik malzeme ve elemanların oluşum, tanımlama ve üretimini kapsamaktadır. Elektrik, kimya, mekanik, fizik ve matematik mühendis ve bilim adamları elektronik eleman ve sistemlerin "**yeni oluşumunu**" sağlayacak çözümler bulmak için birlikte çalışmaktadırlar. Endüstri talebini karşılamak için yüksek eğitimli insan kaynağı ve teknoloji transferi sağlanarak global ekonomide ABD'nin rekabet gücü artırılmaktadır.

1987' de NSF Howard Üniversitesi MSRCE' ye beş yıl için 5 milyon Dolar (ABD) bağış yapmıştır. MSRCE' in ana amacı elektronik, elektro-optik malzeme ve eleman araştırmaları ile öncü bilgileri ilerletmektir.

a. Dış Projeler

i. SiC üzerinde AIN oluşumlu MOS elemanlar
ii. SiC gaz sensörler
iii. SiC üzerindeAIN oluşumu

b. İç Projeler

i. Düşük dirençli AIN:C oluşumu
ii. MOCVD ile Ga Nitrat oluşumu
iii. 3C-SiC örneği üzerinde foto-anahtar tasarım ve üretimi
iv. CVD uyumlu gövde üzerinde β-SiC epitaksiyel oluşumu
v. $(AIN)_x(SiC)_{1-x}$ katı çözelti oluşumu
vi. MOCVD ile SiC gövde üzerinde yüksek optik ve elektrik kaliteli GaN-$Al_xGa_{1-x}N$ yarıiletken sistem geliştirme
vii. $Al_xGa_{1-x}N$ karışımının elektriksel ve optik özellikleri
viii. Çeşitli metal ve karışımların GaN direnci ve gerilmesine etkisi

c. Laboratuar Kaynakları

Oluşum ve Epitaksiyel oluşum ;

- Metal-Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)
- Molecular Beam Epitaxy (MBE)
- Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD)
- Beta SiC Bulk Crystal Growth System

Tanımlama;

- Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS)
- Auger Spectroscopy

- Deep Level Transient Spectroscopy
- Photoluminescence
- Scanning Electron Microscope (SEM)
- Ion Milling

Üretim;
- Kal Suss mask aligner
- 300 kV Ion Implantor
- E-Beam and Thermal Evaporation
- Barrel Plasma Etcher
- Heatpulses 410 Rapid Thermal Processor
- Plasma Therm In-Line Wafer Plasma Etcher

Test;
- Hall Measurement
- Polaron Electrochemical Profiler
- AI REL-2000 probe station
- HP4145B Semiconductor Parameter Analyzer
- HP4192A LF Impedance Analyzer

Lazer Laboratuarı;
- Mode Locked Nd:YAG Laser and two dye lasers
- Spectrophotometer
- Cavity Dumpers
- Cathodoluminescence
- Excimer Lasers
- Tunable IR Diode Laser Spectrometer

CAD;
- Magic
- LASI pro 5.0
- Spice3
- Design Center 6.0 [49]

### 5.2.1.4 Pennsylvania State Üniversitesi

EMPRL (The Electronic Materials and Processing Research Laboratory :EMPRL):
NNUN' un Pennsylvania State Üniversitesindeki bağlantısı EMPRL dır. EMPRL kullanıcıya cihaz desteği ile birlikte, mikro-işleme ve ilgili alanlarda eğitim ve öğretim imkanı sunmaktadır.

a. EMPRL Mikrofabrikasyon Olanağı

Mikrofabrikasyon Olanağının amacı üniversite içi ve dışı lisans ve ön lisans eğitimine ve akademik araştırmalara servis verecek yarıiletken işleme ve tanımlama araçlarını sağlamaktır.

EMPRL Mikrofabrikasyon Olanağı (MicroFab) sınıf 10.000 temiz odadan oluşur. Bu alan öğrencilerin öğretiminde kullanılır. Kurslarda oksidasyon, oluşturma, fotolitografi gibi mikro-işleme temelleri ile birlikte temiz oda gereklilikleri de verilmektedir. Kursun amacı

öğrencilerin Şotki diyod, p-n jonksiyon diyod ve MOS transistor gibi elemanları üretmek ve test etmektir.

b. EMPRL MicroFab Araştırma Projeleri

i. Si malzeme ve elemanlar
ii. III-V malzeme ve elemanlar
iii. Diğer malzeme ve elemanlar

c. EMPRL MicroFab Cihazları

Ön lisans Öğrenme Laboratuarı;

- Diffusion furnaces
- Cobilt and Kasper mask aligners
- GCA Mann 300 Pattern Generator
- Optical inspection microscopes
- Denton Vacuum aluminum evaporator
- Plasma-Therm AMNS-3000E RIE

İşleme Laboratuarı #1;

- Plasma Technology RIE/PECVD
- Wet processing hood
- UVP, Inc. PR-100 UVozone photoreactor (Ruzyllo)
- AG Associates Heatpulse 210

MBE Laboratuarı;

- Hall system
- BioRad Electrolytic Profiler (Miller)
- Perturbed Angular Correlation Spectroscopy system(Miller/Catchen)
- Varian Modular GenII MBE system (Miller)
- MBE substrate preparation (Miller)

Oluşturma Laboratuarı;

- Rudolph Research AutoEL ellipsometer
- Tencor Instruments Alpha Step 200
- Wet processing hoods
- Vactronic thermal evaporator
- QC Solutions Surface Charge Profiler(Ruzyllo)
- Sputtering system (DentonVacuum)
- Cryopumped thermal evaporator

Plazma İşleme Laboratuarı;

- Vactronics multichamber PECVD system(Wronski)
- Cluster Clean SP200 (Ruzyllo)
- Remote plasma system (Ruzyllo)
- ECR plasma system (Fonash)
- Technics MicroPD Series 900 PECVD

d. EMPRL Nanofabrikasyon Olanağı

Nanofabrikasyon Olanağı (NanoFab) 1994' de "Materials Research Institute" Binasında açılmıştır. 1400 $ft^2$ sınıf 10 temiz alan, sınıf 100.000 kontrol alanı ve tanımlama alanına sahiptir.

e. EMPRL NanoFab Cihazları

Litografi cihazları;
Leica EBPG-5HR
Karl Suss MA6 Optical Contact Aligner
Karl Suss MA-3 Contact Aligner
Kasper Instruments 2001 contact aligner
GCA 3600 optical pattern generator

Oluşturma cihazları;
Kurt Lesker E-gun/Thermal Evaporator
MRL LPCVD Polysilicon
MRL LPCVD Silicon Nitride
MRL LPCVD Low Temp. SiO2
Plasma Therm ECR-PECVD
Varian 112-12 cryopumped thermal evaporator
Veeco 7700 diffusion pumped evaporator
Vactronics diffusion pumped evaporator
Denton 502 diffusion pumped evaporator
Varian GenII MBE
Technics MicroPD Series 900 PE-CVD/plasma system

Kuru Aşındırma;
Applied Materials 5000
Plasma Therm RIE 720
DPS Cluster Tool
Astex Electron Cylotron Resonance Unit
Commonwealth Scientific Millatron IV
Texas Instruments Advanced Vacuum Processor

Olanaklar;
Class 10 temiz oda
Wet Benches

Malzeme İşleme;
AET Rapid Thermal Processor
MRL Oxidation Furnace -
Varian 350 Ion Implanter
A.G. Associates Heatpulse 210 Rapid Thermal Annealer

Mikroskop;
Leitz Ergolux 200 Optical Microscope Leica/LEO 440 Scanning Electron Microscope
Leo 1530 Gemini Column FE-SEM

Tanımlama;
DL-TS 8000 (BIO-RAD)

FT-IR (BIO-RAD)
FT-PL 9000 (BIO-RAD)
Tencor 500 Profilometer
Gaertner Ellipsometer -
Tencor 200 Profilometer
Spectro Magnetic Hall measurement system
Veeco FPP-100 ve Probex

Temiz oda cihaz listesi;

- Bruce Furnace (Oxidation. Diffusion. and Annealing)
- Drytek 100/102 RIE Etcher
- Tokuda HIRRIE200 RIE Etcher
- RTP Annealer
- Mini Furnace
- Tegal 701 Plasma Etcher
- LFE Plasma Barrel-Etcher (Resist Ashing)
- 4410 Sputterer (Metal Deposition)
- Evaporators (Metal Deposition)
- Wire Bonder
- Probe Stations
- Microscopes
- Nanometric (Film Thickness Measurement)
- Alphastep (Step Height/Profile)
- Resistivity Meters
- Quaestor (Linewidth Measurement)
- GCA Spintrack (Photoresist Deposition)
- Hamamatsu Surface Particle Counter
- Perkin-Elmer 240 Aligners
- Canon Aligner
- Wet Benches (Acid and Solvent Handling)
- Bake Ovens
- LPCVD Furnace (not yet installed)
- Drytek 100 and 102 RIE Etchers
- Thermco Rapid Thermal Processor
- Glovebox

Bilgisayar Olanakları;

i. Donanım
IBM RS/6000 Model 43P
HP Packard Apollo 735
8 iş istasyonu

ii. Yazılım
Analysis of Microelectronics and Photonic Structures (AMPS)
Silvaco International
ATHENA/ATLAS (Process/Device Simulation -SİLVACO)
L-EDIT (mask design)
CATS (E-beam mask fracture software) [50]

### 5.2.1.5 Southern California Üniversitesi

MOSIS:

a. MOSIS Tümdevre Fabrikasyonu

MOSIS fabrikasyon programına göre çeşitli pul fabrikasyonu gerçekleştirilir. MOSIS'de tasarım kuralları desteği ile uyumlu tasarım aletleri hakkında bilgi verilmektedir. MOSIS npn transistor, ikinci poli, lineer kondansatör ve mikro-elektro-mekanik elemanlar ile uyumlu CMOS işlemelerini gerçekleştirmektedir.

b. MOSIS Fabrikasyon İşlemleri

**Tablo 5. 1 MOSIS fabrikasyon işlemleri [51]**

| Firma | Büyüklük (mikrometre) | İşlem | Metal Tabakası | Poli tabaka | Voltaj | Silisit | Diğer Notlar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AMI | 0,50 | C5N | 3 | 2 | 5,0 | Hayır | Direnç |
| AMI | 1,50 | ABN | 2 | 2 | 5,0 | Hayır | NPN |
| HP | 0.35 | GMOS10QA | 4 | 1 | 3,3 | Evet | S.T.:Aralık 13, 1999 |
| HP | 0.50 | AMOS14TB | 3 | 1 | 3,3 | Evet, blokeli | Doğrusal kondansatör |
| Peregrine | 0.50 | DB | 3 | 2 | 3,3 | Polisid (P1de) | Çeşitli, SOS |
| TSMC | 0.18 | TSMC_018 | 6 | 1 | 1.8/3.3 | Evet, blokeli | Kısıtlı |
| TSMC | 0.25 | TSMC_025SPPM | 5 | 1 | 2.5/3.3 | Evet, blokeli | MiM kondansatör |
| | | | 5 | 1 | 2.5/3.3 | Evet, blokeli | Kısıtlı 25E (ileri) |
| TSMC | 0.35 | TSMC35_P2 | 4 | 2 | 3.3/5.0 | Polisid (P1de) | |
| | | TSMC35_SIL | 4 | 1 | 3.3/5.0 | Evet, blokeli | |

c. MOSIS Ücret Listesi (Yerli)

Listelerde verilen ücretler ABD ve Kanada şirketleri için geçerlidir.

i. Tümdevre fabrikasyon ücretleri

**Tablo 5. 2 AMI 1.50 mikron CMOS işlemi (düşük gürültülü analog) [51]**

| PARÇA# | Tanımlama | Adet | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|---|
| 10196 | 2.20 x 2.20 mm "TinyChip" | 5 lot | $910 | $870 |
| 10197 | 2.20 x 2.20 mm "TinyChip" | 5 lot | $910 | $870 |
| 10198 | 4.60 X 4.70 mm (ilk 15 parça) | 15 lot | $3,700 | $3,550 |
| 10199 | 4.60 X 4.70 mm (her ek 15 parça lot) | 15 lot | $2,780 | $2,660 |
| 10200 | 9.40 x 9.70 mm (ilk 20 parça) | 20 lot | $15,180 | $14,550 |
| 10201 | 9.40 x 9.70 mm (her ek 20 parça lot) | 20 lot | $11,390 | $10,910 |

Ücretler her bir tasarım için olup paketleme veya paketlemesiz olanlar için aynıdır ($: Dolar (ABD)).

**Tablo 5. 3 0.50 mikron işlem (AMI ve HP) [51]**

| Parça# | Tanımlama ($: ABD) | Birim | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|---|
| 10204 | 0.50 mikron CMOS AMI or HP (ilk 25 parça) | $mm^2$ | $860 | $750 |
| 10205 | 0.50 mikron CMOS AMI or HP (her ek 25 lot) | | $620 | $540 |

Ücretler $mm^2$ için olup paketleme dahil değildir. 0.50 mikron işleminde minimum alan 4.0 $mm^2$ dır. (Verilen tablolarda ABD Doları kullanılmıştır. )

**Tablo 5. 4 Peregrine (SOS) 0.50 mikron CMOS işlemi [51]**

| Parça | Tanımlama ($: ABD) | Birim | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|---|
| | 0.50 mikron CMOS (ilk 25 parça) | $mm^2$ | $1.250 | $1.250 |
| | 0.50 mikron CMOS (her ek 25 parça lot) | | $ 950 | $ 950 |

Ücretler $mm^2$ için olup paketleme dahil değildir. 0.50 mikron işleminde minimum alan 4.0 $mm^2$ dır.

**Tablo 5. 5 TSMC 0.35 mikron işlem [51]**

| İlk 25 parça lot ($: ABD) | | | |
|---|---|---|---|
| Proje Büyüklüğü ($mm^2$) | Parça # | Standart ücret | İndirimli ücret |
| 0 - 25 | 10264 | $1.000 * büy. (min. 4$mm^2$) | $ 900 * büy. (min. 4$mm^2$) |
| 25 - 50 | 10266 | $2.500 + ($900 * büyüklük) | $2.000 + ($820 * büy.) |
| 50 - 75 | 10268 | $7.500 + ($800 * büyüklük) | $6.500 + ($730 * büy.) |
| 75 - 100 | 10270 | $15.000 + ($700 *büyük.) | $13.250 + ($640 * büy.) |
| 100 - 150 | 10272 | $25.000 + ($600 * büyük.) | $22.250 + ($550 * büy.) |
| Her ek 25 parça lot | | | |
| 0 - 25 | 10265 | $ 690 * büy. (min. 4,0$mm^2$) | $ 620*büy.(min.4,0 $mm^2$) |
| 25 - 50 | 10267 | $1.750 + ($620 * büyüklük) | $1.500 + ($560 * büy. |
| 50 - 75 | 10269 | $5.750 + ($540 * büyüklük) | $5.000 + ($490 * büy.) |
| 75 - 100 | 10271 | $11.000 + ($470 * büy.) | $10.250 + ($420 * büy.) |
| 100 - 150 | 10273 | $19.000 + ($390 * büy.) | $16.250 + ($360 * büy.) |

Ücretler $mm^2$ için olup paketleme dahil değildir.

**Tablo 5. 6 TSMC 0.25 mikron işlem [51]**

| İlk 25 parça lot ($: ABD) | | | |
|---|---|---|---|
| Proje Büy. ($mm^2$) | Parça # | Standart ücret | İndirimli ücret |
| 0 - 25 | 10280 | $1.380 * Büy. (min. 4$mm^2$) | $1.250 * büy. (min. 4$mm^2$) |
| 25 - 50 | 10282 | $6.250 + ($1.130 * büyüklük) | $6.250 + ($1.000 * büyüklük) |
| 50 - 75 | 10284 | $16.250 + ($900 * büyüklük) | $16.250 + ($800 * büyüklük) |
| 75 - 100 | 10286 | $31.250 + ($700 * büyüklük) | $31.250 + ($600 * büyüklük) |
| 100 - 150 | 10288 | $41.250 + ($600 * büyüklük) | $41.250 + ($500 * büyüklük) |
| Her ek 25 parça lot | | | |
| 0 - 25 | 10281 | $ 950 * büyüklük (min. 4$mm^2$) | $900 * büy.(min. 4$mm^2$) |
| 25 - 50 | 10283 | $4.750 + ($760 * büyüklük) | $4.500 + ($720 * büyüklük) |
| 50 - 75 | 10285 | $12.250 + ($610 * büyüklük) | $11.500 + ($580 * büyüklük) |
| 75 - 100 | 10287 | $23.500 + ($460 * büyüklük) | $22.000 + ($440 * büyüklük) |
| 100 - 150 | 10289 | $31.500 + ($380 * büyüklük) | $30.000 + ($360 * büyüklük) |

ii. Paketleme ücretleri

**Tablo 5. 7 MOSIS destekli seramik paketleme [51]**

| MOSIS Parça | Tanımlama | Boşluk (mil) | Adet | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|---|---|
| DIP28 | 28-ayak DIP | 300 | Her bir | $ 20 | $ 19 |
| DIP40 | 40-ayak DIP | 300 | Her bir | $ 20 | $ 19 |
| LCC28 | 28-ayak LCC | 200 | Her bir | $ 20 | $ 19 |
| LCC52 | 52-ayak LCC | 300 | Her bir | $ 25 | $ 24 |
| LCC84M | 84-ayak LCC | 310 | Her bir | $ 36 | $ 34 |
| LCC84L | 84-ayak LCC | 470 | Her bir | $ 36 | $ 34 |
| PGA65 | 65-ayak PGA | 400 | Her bir | $ 40 | $ 37 |
| PGA84M | 84-ayak PGA | 350 | Her bir | $ 40 | $ 37 |
| PGA84L | 84-ayak PGA | 470 | Her bir | $ 40 | $ 37 |
| PGA108M | 108-ayak PGA | 350 | Her bir | $ 45 | $ 41 |
| PGA108L | 108-ayak PGA | 450 | Her bir | $ 45 | $ 41 |
| PGA132M | 132-ayak PGA | 350 | Her bir | $ 45 | $ 41 |
| PGA132L | 132-ayak PGA | 450 | Her bir | $ 45 | $ 41 |
| PGA181 | 181-ayak PGA | 472 | Her bir | $ 90 | $ 85 |
| PGA257 | 257-ayak PGA | 630 | Her bir | $103 | $ 98 |
| PGA391 | 391-ayak PGA | 740 | Her bir | $217 | $206 |

Ücretler bir paket içindir.

**Tablo 5. 8 ASAT plastik paketleme [51]**

| Tanımlama | Adet | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|
| EDQUAD (SOP, PLCC, QFP, TQFP) | 100 lot | $ 1,300 | Yok |
| EDQUAD olmayan (BGA, PDIP, PLCC, QFP, SOP, TQFP) | 100 lot | $ 750 | Yok |

Ücretler bir lot içindir. 100 parçadan az paketlemede yine aynı ücret alınmaktadır.

**Tablo 5. 9 Müşteri destekli paketleme [51]**

| Tanımlama | Adet | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|
| Müşteri-destekli DIP | Her bir | $ 20 | $ 17 |
| Müşteri-destekli PGA | Her bir | $ 45 | $ 39 |
| Müşteri-destekli LCC | Her bir | $ 20 | $ 18 |
| Müşteri-destekli QFP | Her bir | $ 35 | $ 31 |

Ücretler bir paket içindir.

iii. Diğer Servis ücretleri

**Tablo 5. 10 DRC (Design Rule Check: DRC) servisi [51]**

| Parça# | Tanımlama | Adet | Standart ücret | İndirimli ücret |
|---|---|---|---|---|
| 1,50 mikron işlem | | | | |
| | 2.20 mm x 2.20 mm | Her bir | $ 200 | Tercihen |
| | 4.60 mm x 4.70 mm | Her bir | $ 500 | Tercihen |
| | 9.40 mm x 9.70 mm | Her bir | $ 1.000 | Tercihen |
| 0,50 mikron ve daha küçük işlem | | | | |
| 6804 | up to 50 $mm^2$ | Her bir | $ 500 | Tercihen |
| 6805 | 51-100 $mm^2$ | Her bir | $ 1.000 | Tercihen |
| 6806 | 101-150 $mm^2$ | Her bir | $ 1.500 | Tercihen |
| 6807 | 151-200 $mm^2$ | Her bir | $ 2.000 | Tercihen |
| 6815 | 201-250 $mm^2$ | Her bir | $ 2.500 | Tercihen |
| 6816 | 251-300 $mm^2$ | Her bir | $ 3.000 | Tercihen |

($: ABD)

Ücretler bir DRC içindir. [51]

### 5.2.1.6 Massachusetts Üniversitesi

MIT (Massachusetts Institute of Technology):

a. Mikrosistem Teknoloji Laboratuarı (MTL)

MTL, fabrikasyon teknolojisi eleman fiziği ve tümdevre tasarımı alanlarında araştırma yaparak teknoloji ağırlıklı projeler yürütmektedir. MTL mikrosistem araştırma modeli sensörler, analog ve dijital sinyal işleme, tetikleyiciler ve iletişimdir. MTL malzeme, CAD, fabrikasyon teknolojisi ve uygulamalarından oluşan MEMS (Micro-Electro Mechnical Systems) alanında da çalışmalar yapmaktadır.

MTL' de işlem araştırma ve devre fabrikasyonu iki laboratuarda yapılmaktadır: ICL (Integrated Circuit Laboratory) ve TRL (Technology Research Laboratory). ICL Si tümdevre, eleman, yapı ve işlem araştırmalarını yürütmektedir. Laboratuarda 4 inchlik Si IC fabrikasyon zinciri bulunmaktadır.

TRL' in ise iki görevi vardır: Yeni yarıiletken işlem teknolojileri geliştirmek ve yeni devre ve mikroyapıların fabrikasyonunu sağlamak.

TRL ve ICL birbirlerini tamamlayan laboratuardır. ICL fabrikasyonu Si eleman ve devre araştırmalarını beraberinde getirmektedir. TRL bu disiplinin gerektirdiği esnekliği sağlar. Aynı şekilde ICL devre fabrikasyonunda TRL' de geliştirilen yeni teknolojiler kullanılır.

b. MTL Olanakları

MTL, Gordon Stanley Brown Binası (Bina 39) ve Bina 38' de olup MIT' de mikroelektronik/mikrofabrikasyon araştırmalarında kullanılmak üzere dört ana olanağa sahiptir: MTL 1,5μm CMOS işlemini yürütmekte olup nanometre ölçeğinde teknik donanıma sahiptir.

i. MTL olanakları

ICL , 7.910 $ft^2$ tümdevre fabrikasyon olanakları:
- 2.800 $ft^2$ sınıf 10 temiz alan
- 4.000 $ft^2$ destek alanı
- 460 $ft^2$ mask fabrikasyon alanı
- 650 $ft^2$ elektrik test ve parametre karakterizasyon alanı (IC ve eleman)

TRL, 3.600 $ft^2$ laboratuar;
- 2.600 $ft^2$ sınıf 100 temiz alan
- 1.400 $ft^2$ destek alan

ICL, ileri Si tümdevre, eleman, yapı ve işlem araştırmaları için kurulmuştur. Kasetten-kasete transfer tekniği kullanılmakla beraber VLSI disiplini sürdürülmektedir.

ii. ICL Cihaz Listesi

Litografi;
- High Resolution Aligner
- Karl Suss Model MA4
- IR Aligner
- Karl Suss Model MA 4
- Standard Aligner
- Karl Suss Model MJB3
- Manual Photoresist Coater
- Solitec Inc. Model 5110
- Bake Ovens
- Blue M Model DDC-146C
- Wet Processing Station
- Semifab Inc. Model WPS 800
- Inspection Microscope
- Nikon Nomarski Microscope
- Surface Profilometer
- Sloan Technology Corporation Dektak II
- Plasma Resist Stripper
- Branson IPC
- Wafer Aligner/Bonder
- Electronic Visions
- Deep UV Stepper
- GCA

Difüzyon ve Oksidasyon;
- Furnaces
- MRL Industries Model 718 System (7 atmospheric tubes, 1 LPCVD tube)
- Wet Chemical Process Station
- Semifab Inc. Model WPS-400Rapid Thermal Annealer
- AG Associates Heatpulse 210T-02

CVD/Aşındırma;
- PECVD/RIE

- Plasma Technology Plasmalab mP
- PECVD/RIE
- Plasma Quest

Metal Oluşturma
- Electron-Beam Evaporator
- Temescal Semiconductor Products
- Sputtering SystemPerkin Elmer Model 4450

Test Cihazları;
- UHV Chemical Vapor Deposition of Silicon-Germanium Alloys(R. Reif)
- Reactor for Low Pressure Epitaxial Growth of Erbium Doped Silicon and Silicon Germanium Alloys(L. C. Kimerling [52]

### 5.2.1.7 Michigan Üniversitesi

III-V Tümdevre ve Eleman Grubu:
III-V Tümdevre ve Eleman Grubu (III-V Integrated Devices and Circuits Group : Solid State Electronics Laboratory: SSEL) 1986' da çalışmalarına başlamıştır. SSEL yüksek hızlı eleman ve eleman teknolojisi, yüksek performanslı katı hal sensörler, optoelektronik ve otomatik yarıiletken üretim alanlarında mükemmel bir merkez olmak üzere tasarlanmıştır. SSEL' in 30 milyon Dolar (ABD) hükümet fonlu yeni binası 130000 $ft^2$ alana sahiptir. SSEL 12000 $ft^2$ laboratuar alanı, 4000 $ft^2$ sınıf 100 ve 3000 $ft^2$ sınıf 1000 işlem alanı ve 1000 $ft^2$ sınıf 10 mikron-altı litografi alanına sahiptir.

SSSEL aşağıdaki olanaklara sahiptir:
- InP ve GaAs eleman ve devre işlem zinciri
- Mikron-altı direk pul yazma ve maske fabrikasyonu
- Film oluşturma
- Plazma işleme
- Malzeme oluşum
- Si devre ve sensör işleme
- Otomatik yarıiletken işleme test seti
- Ayrık komut imkanı

SSEL' deki bütün olanaklar yarıiletken eleman ve devre üretimine aittir. Bununla birlikte, III-V yarıiletken malzeme tanımlama, Si-kapılı NMOS devre, mikron-altı kapılı HEMT ve MESFET yapılar için olanaklar da bulunmaktadır. Laboratuarda 350 GHz' e kadar eleman tanımlama cihazı bulunmaktadır.

Araştırma Programları;
- Yüksek güçlü ve yüksek frekanslı RF uygulamaları için GaN elemanlar
- GaN malzemelerin MOCVD oluşumu
- GaAs, InP, GaN HEMT
- InP, ve GaAs HBT
- InP ve GaAs HBT MMIC
- InP HEMT MMIC
- InP tabanlı InGaAs PIN diyot milimetre dalga MMIC

Araştırma Programı Sponsorları;

- HBT: Office of Naval Research (ONR)
- GaN: NASA Fellowship
- FET: Vitesse Semiconductor
- Litografi: National Science Foundation
- Mikroskop: National Science Foundation
- III-V Diyot: Office of Naval Research
- Nitrat HBT: Japan Technology Management Center
- Düşük güçlü,düşük gürültülü elektronik: MURI
- Optik test: U.S. A.R.O
- Gövde-film ara-faz nitrat kontrolü: ONR
- HBT-HPA MMIC: Northrop Grumman / DARPA-MAFET
- GaInP OEIC: Thomson-CSF
- Farklı yapılı MMIC: Daimler Benz
- Milimetre dalga eleman ve IC: NASA Fellowship
- Milimetre dalga devre mikro-işleme: Honeywell
- Yüksek hızlı devre tasarımı: Advanced Research Projects Agency (ARPA)
- Optoelektronik Bilim ve Teknoloji Merkezi: Research Projects Agency (ARPA)
- HBT MMIC: NEC-Japan
- InP farklı yapılı işlem kusurları: National Science Foundation/CNRS-France
- III-V nitrat oluşumu: Office of Naval Research
- Güç uygulamaları HBT: Alcatel Espace
- Düşük frekans gürültülü mikrodalga HBT: Texas Instruments
- Uzay Terahertz Teknoloji Merkezi: Space Engineering Research Program
- İleri TEGFET teknolojisi: Alcatel Espace
- MMIC tanımlama: ARO
- Farklı yapılı eleman ve IC: Alcatel Espace
- Yüksek Frekanslı Mikroelektronik Merkezi: ARO
- HBT: Bell Northern Research
- Farklı yapılı MMIC: Honeywell, Inc.
- Yeni yarıiletken elemanlar: Air Force Wright Patterson Laboratories

Gerçekleştirilen Teknik Gelişmeler;

- HBT büyük sinyal modelleme ve optimizasyonu
- GaInP/GaAs HBT
- HBT gürültü karakteristiği
- HBT güç ve akım kazancı frekans bağımlılığının yeni analitiği
- GaAs ve InP HBT öz oluşum teknolojisi
- Latis uyumlu veya sıkıştırılmış kanallı farklı yapılı FET
- Farklı yapılı MMIC
- GaAs ve InP HBT
- InP MOCVD
- MOCVD mikser ve varaktör
- MOCVD III-V nitrat oluşumu
- Eleman ve devre tasarım kabiliyetinin geliştirilmesi
- Tanımlama kabiliyetinin geliştirilmesi

SSEL Cihazları;

i. Malzeme oluşum cihazları
   - RIBER 2300 MBE

- Varian Gen. II MBE
- Varian MO-MBE
- EMCORE GS3200 MOCVD
- Extrion 400 KeV Ion Implanter
- Thermo Diffusion Furnaces with DDC
- Thermo LPCVD &APCVD System
- Plasma Therm Deposition System
- Enerjet Sputtering System
- Liquid Phase Epitaxy

ii. İşlem cihazları
- JEOL JBX-5D11(F) Electron Beam Lithography System
- JEOL JXM-840 Scanning Electron Microscope
- SEMI Reactive Ion Etching System (2 chamber)
- SEMI Plasm-CVD and RIE/PPE Dual Chamber System
- Commonwealth CA-RIBE System
- Millatron Ion Beam Etching System
- CVC Filament Evaporation System (2)
- COOK E-Beam Evaporator for P-material Processing
- KJL Electron Beam Evaporator
- Kasper 3001 Contact/Proximity Aligner
- Karl Suss MJB-3 Infrared Aligner (2-sided)
- Karl Suss MAG (3)
- Rapid Thermal Annealing Station
- Technics Plasma Etching/Deposition
- Micro Automation Dicing Saw, Logitech Wafer Polishing & Thinning
- K & S Wedge Bonding
- Spectra Mass Spectrometer

iii. Tanımlama cihazları
- Olympus Interference Contrast Microscope
- DEKTAK Profiler
- Gaertner Ellipsometer
- Rudolf Spectroscopic Ellipsometer
- Automatic Test Equipment for Device Characterization up to 100 GHz
- Hot and cold probe station

iv. Ölçüm cihazları
- C-V, C-t, DLTS and Optical DLTS
- Photocapacitance and Photoionization
- Low-temperature and Time Resolved Photoluminescence (Streak Camera)
- Low-and High-Field Transport Impact Ionization Coefficients
- High Magnetic Field Meas. (Sd-H, PL. absorption)
- High-Pressure diamond-anvil)
- Photothermal Ionization Spectroscopy (BOMEM)
- VHS/HF Device and Circuit Characterization
- Picosecond and Femtosecond Optical Spectroscopy
- Raman Scattering, X-Ray Diffractometer

v. Elektronik Test Enstrümanları

**Tablo 5. 11 Elektronik Test Enstrümanları [53]**

| Fonksiyon | Enstrüman | Firma |
|---|---|---|
| Network Analyzer | 8510B | HP |
| Network Analyzer Multiplier | | HP |
| Mixer, Bridge Components | | |
| Noise Figure System | 8970B, 8971 | HP |
| Synthesizer | 8672A &83650A (50GHz) | HP |
| Noise/Load Pull Tuners | | Focus |
| Impedance-Gain Phase | 4194A | HP |
| Dynamic Signal Analyzer | 3561A | HP |
| Spectrum Analyzer (320GHz) | 2755P | Tektronix |
| Microwave Probe Station | 42D Manual, 10551 summit | CASCADE |
| Automatic Station | 1032 | Rucker & |
| Cryostate for Cooling (13K) | Model 22 | CTI- |
| Test Vector Generation | Hardware Verification System | Mentor |
| Logic Analyzers | 1630As, 1615As | HP |
| Pattern Generator | 8016A | HP |
| Digitizing Oscilloscopes | 54110D (1GHz BW), 11801 (90 GHz BW) | HP, |
| Submicron Probe Station (2x) | 3200A | Alessi |
| Parameter Extractor (2x) | 4145B | HP |
| Picoammeter/DC Voltage | 4140B | HP |
| Digital Voltage Source | 6131C | HP |
| Digital Current/Voltage | HP 3478, HP E3631A, HP E5031A, HP | HP |
| Multifrequency LCR Meter | 4275C | HP |
| Pulse Generator | 8112A | HP |
| Multimeter | 3278A | HP |
| Switching Controller | 4083A | HP |
| Device Test Control | 9836 | HP |
| Scanner | 706 | Keithley |
| System Digital Multimeter | 193 | Keithley |
| Programmable Current | 220 | Keithley |
| Programmable Voltage | 230 | Keithley |
| Power meters | 438B, 432A, 431 | HP |
| Microwave test set (W-band, | 85105A | HP |
| W-band Microwave Probes | | GGB |
| Error detector | MP1702A | Anritsu |
| Pattern generator | MP1701B | Anritsu |
| Lightwave test set(optical | 83420A | HP |

vi. CAD Olanakları [53]

**Tablo 5. 12 CAD olanakları[53]**

| Fonksiyon | Alet | Firma |
|---|---|---|
| Process Simulations | Suprem, T-Suprem | TMA |
| Device Simulations | Medici | TMA |
| | HSpice | Meta-Software Inc. |
| | Senior module in Libra | HP/EEsof |
| Microwave Circuit Analysis | Communications Suite (Libra ve Academy) | HP/EEsof |
| | HSpice | Meta-Software Inc. |
| | HFSS | HP/EEsof |
| | Empire3D | OSA |
| Schematic Capture | Design Architect | Mentor Graphics |
| Digital Simulation | QuicksimII | Mentor Graphics |
| | Verilog | Cadence |
| | Hspice | Meta-Software Inc. |
| Fault Analysis | QuickgradeII | Mentor Graphics |
| Fault Simulation | Quickfault | Mentor Graphics |
| Timing Analysis | QuickpathII | Mentor Graphics |
| | Veritime | Cadence |
| Analog Simulation | Accusim | Mentor Graphics |
| | HSpice | Meta-Software Inc. |
| | Spice | UCB |
| Architectural Modeling | Verilog | Cadence |
| | VHDL (System-1076) | Mentor Graphics |
| IC Layout (Custom/Semi-Custom) | ICgraph | Mentor Graphics |
| | Academy | HP/EEsof |
| FloorPlanning, Compaction &Routing | Epoch | Cascade Microtech |
| | Dracula | Cadence |
| Design Rule Checking | ICRules | Mentor Graphics |
| | Dracula | Cadence |
| Layout vs. Schematic Checking | ICtrace | Mentor Graphics |
| | Dracula | Cadence |
| Layout Parameter Extraction | ICExtract | Mentor Graphics |
| | Dracula | Cadence |
| IC Data Conversion | ICLink | Mentor Graphics |
| Silicon Compilers | Epoch | Cadence |
| Printer & Plotter Drivers | Postscript, HPGL | Mentor Graphics, HP Eesof |
| PCB Design & Layout | Board Station | Mentor Graphics |

### 5.2.1.8 Auburn Üniversitesi

AMSTC (Alabama Microelectronics Science and Technology Center: AMSTC):
Auburn Üniversitesi Mikroelektronik Laboratuarı 1974' de Elektrik&Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde kuruldu. 1984' de Alabama Mikroelektronik Bilim ve Teknoloji Merkezi (Alabama Microelectronics Science and Technology Center: AMSTC) oluşturuldu ve Auburn Üniversitesi Mikroelektronik Mühendislik Araştırmalarına 250.000/yıl Dolar (ABD) katkıda bulunmaktadır. Bu fon öğrencilere, laboratuarlara, işletim ve yenileme çalışmalarına ayrılmıştır. Merkezin amacı "**Mikroelektronik eğitim ve teknolojisini ilerletmek**" tir. Merkez 23 fakülteden oluşan dört bölümden oluşmaktadır.

i. Elektrik&Bilgisayar Mühendisliği (12 fakülte)
ii. Mekanik Mühendisliği (6 fakülte)
iii. Fizik (4 fakülte)
iv. Kimya (1 fakülte)
v. Destek yönetim (4)

Mikroelektronik programında değişik fakültelerden 50 öğrenci bulunmaktadır.

a. Laboratuar Olanakları

Elektrik Mühendisliği binasında yarıiletken ve ince film işleme için 4000 feet$^2$ Sınıf-100 oda, kalın film işleme için 100 feet$^2$ ve 3000 feet$^2$ destek laboratuarı bulunmaktadır. Monolitik tümdevre, kalın ve ince film multi-kırmık modül ve baskı devre tasarım, analiz, fabrikasyon ve test cihazlarına bulunmaktadır. Bununla birlikte, Fizik Bölümünde 3200 feet$^2$ lik temiz alan Katı Hal Bilim Laboratuarı olarak kullanılmaktadır.

b. Monolitik Fabrikasyon ve İleri Paketleme Laboratuarı

SUN iş istasyonundaki tümdevre tasarım araçları aşağıda özetlenmiştir:
- Mentor Graphics tasarım sistemi: Idea Station (dijital tasarım)
- IC Layout Ex Station (fiziksel IC tasarımı)
- Hybrid Station (hibrit devre tasarımı)
- MCM Station (muti-kırmık-modül tasarımı)
- Board Station (baskı devre tasarımı)
- GDT Designer( standart hücre derleme ve tasarımı)
- MAGIC IC tasarım sistemi
- EEsof tasarım araçları
- SPICE, SUPREM, MINIMOS, PISCES, SEDAN, MOSCAP ve RNL devre, eleman ve işlem simülasyon programları
- TLM ( arabağlantı elektriksel performansı)
- ABAQUS, ANSYS ve NASTRAN (mekanik ve ısı analizi)

Mikroelektronik laboratuarı daima mükemmel maske tasarımı ve fabrikasyonu olanaklarına sahiptir. Tasarım sisteminden elde edilen bilgiler Gyrex Model 1005 model jeneratörüne uygulanır. David-Mann 3095 adım ve tekrarlama kamerası son maske indirgeme için kullanılır. Bu imkanlarla maske tasarımı ve kontrolü bir veya iki günde gerçekleştirilir.

Litografi alanında yarı otomatik cihazlar kullanılır. Litografi işlemleri sınıf-100 temiz odada gerçekleştirilir. Karl Sus aligner bu temiz odaya ve Katı Hal Bilim Laboratuarına eklenmiştir.

Bipolar ve MOS işlemleri aynı anda yürütülmektedir. Katkılama altı aktif tüplü Thermo Ranger Diffusion System i ile gerçekleştirilir. Laboratuar da aynı zamanda Extrion 200 iyon implantörü de bulunmaktadır.

Hibrit ve monolitik fabrikasyon ince film oluşturma işlemi CVC 601 rf ve dc saçılma sistemi, elektron huzme sistemi, $Si_3N_4$ LPCVD sistemi ve plazma CVD sistemi ile gerçekleştirilir.

Kalın film gövde üretiminde bir MPM -100 ekran yazıcı, bir IR kurulayıcı, bir Watkins Johnson 8-kuşak ateşleme fırını kullanılır.

Technics PE-IIA plazma sistemi kuru aşındırma işleminde kullanılır. İşlem cihazları Tencor Alpha-Step 200 surface profiler, Sabastian multipurpose tester, C-V plotter, dört uçlu prob ve ellipsometer dir. Hibritlerin aktif ve pasif ayarlanması Quantrad YAG lazer sistemi ile gerçekleştirilir. İletken bağlamada K&S thermosonik altın iletken bağlayıcı, Unitek küçük çaplı alüminyum iletken bağlayıcı ve Orthodyne büyük çaplı alüminyum iletken bağlayıcı kullanılır. MCT-Browne belt solder reflow unit (IR cap ve AAT hot-air repair station) birleştirme ve paketlemede kullanılır.

Devre veya elemanlar HP-4145 yarıiletken parametre analizörü veya PC tabanlı Keithley sistemi ile test edilir. Tektronics LV-511 otomatik test sistemi kompleks dijital tümdevrelerin testinde kullanılmaktadır. SEM (XPS) karakterizasyon ve hata analizlerinde kullanılmaktadır.

c. Si-Ge Araştırmaları

- SiGe HBT Simülasyonu
- SiGe HBTlerin sıcaklık etkileri
- SiGe HBTlerin mikrodalga uygulamaları
- SiGe HBTlerin güvenilirlikleri
- SiGe HBTlerin gürültü özellikleri
- Sirojenik uygulamalar için SiGe BiCMOS
- SiGe HBT band boşluklu devrelerde Ge-rampa etkisi

d. Si-Ge Araştırma Olanakları

i. Devre ve Eleman Karakterizasyonu
- Signatone probe station
- Teledyne automatic wafer prober
- Cerprobe 1GHz high-speed probes + dc Signatone probes
- Tek 7904 high-speed oscilloscope (ring osilatör)
- HP 4155 + 2 HP 4145 semiconductor parameter analyzers (dc)
- HP 3561A Signal Analyzer (gürültü)
- HP 8510 Vector Network Analyzer + wafer probing capability (ac)

ii. Sıcaklık Ölçümü
- Lakeshore custom-designed cryostat system (4K - 359K; dc + ac)
- Delta-Design temperature ovens (77K - 500K)
- Blanz 101 77K-300K Wafer Prober (dc + ac)
- Signatone 500 C high-temperature prober

iii. Simülasyon ve Modelleme
- SUN workstation network + PCs

- Tüm ana simülasyon paketleri (SPICE, EEsof, MEDICI, SUPREM, vd.)

iv. Diğer Destek İmkanları

- Si fabrikasyon (2.0 mikron temel işleme)
- Paketleme (iletken bağlama + hibritler + MCM)

e. Diğer Araştırma Konuları

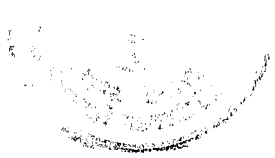
1998-1999' da tahmin edilen araştırma gideri: 1.5 milyon Dolar (ABD) dır.

- Si-Ge eleman ve teknolojisi
- Si-C eleman ve teknolojisi
- Nanolitografide elektron huzme litografi yakınlık doğrulama: PYRAMID
- MCM&muti-kırmık paketleme-Si üzeri Si, AIN, SiC, İzole metal , MCM-L, MCM-D, MCM-C paketleri
- Elektronik paketleme piezo-direnç basınç sensörü
- Düşük sıcaklıklı yarıiletken elektronik (77K&aşağı)
- RF elemanları ve devreler
- Elektronik paketlemede lehimleme hataları
- Polikristal elmas film oluşturma ve kinetiği
- Yüksek sıcaklıklı elektronik
- Elektronik paketlemede ısı transferi
- Yüksek ısı akılı mikroelektronikte sıvı jet çarpma ve batırma soğutma
- Monolitik&Hibrid eleman basınç, ısı transferi, ivme, gaz akışı, kirlilik ve iyon hassasiyeti
- Derin seviye geçici spektroskopi
- Organik yarıiletken
- Metal-yarıiletken arafazı
- GaAs ve InP malzemelerde VPE ve LPE
- Analog&dijital tümdevre tasarımı (MOSIS)
- VLSI tasarım verim ve testi
- MMIC
- Milimetre dalga dedektör
- Yarı iletken elemanların nümerik simülasyonu
- Hatasız VLSI sistemleri
- Sinir (Neural) network
- Plazma fizik
- Yarı iletkenlerin yüzey fiziği
- Yüksek frekans testi
- Alan etkili sensörler

f. Devlet Sponsorları

- Office of Naval Research (ONR)
- Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA)
- Naval Research Laboratory (NRL)
- U.S. Army Space and Strategic Defense Command (SSDC)
- National Science Foundation (NSF)
- Federal Aviation Administration (FAA)
- U.S. Department of Agriculture (USDA)
- Sandia National Laboratories





g. Endüstriyel sponsorlar

- IBM
- Hughes
- Texas Instruments
- Litton
- Silvaco (Atlas, Athena, and SmartSPICE)
- Avant! (MEDICI)
- ISE

Diğer;
- Semiconductor Research Corporation (SRC) [54]

### 5.2.1.9 Minnesota Üniversitesi

MTL (MicroTechnology Laboratory :MTL):
Mikroteknoloji Laboratuarı (Microtechnology Laboratory :MTL) mikroelektronik ve mikrofabrifasyon ile ilgili araştırma, eğitim ve endüstriyel işbirliğini gerçekleştirmek amacı ile "Institute of Technology" binasında kurulmuştur.

Gerçekleştirilen mikrofabrikasyon işlemler;

i. İşlem servisi
- MEMS eleman ve işlem tasarımı
- CMOS 2 mikron işlem, çift metal, çift poli Si
- Ticari fabrikasyon

ii. Malzemeler
- Farklı gövde çeşitleri
- Metal ve seramik ince filmler
- Piezo-direnç ve piezo-elektrik filmler
- Oluşturma teknikleri
- LPCVD filmler

iii. Fotolitografi ve mikro-işleme
- 1.25 mikron maske
- 1 mikron foto-direnç
- LPCVD yüzey işleme
- Bosch yüzey işleme
- Anizotropik işleme
- Arka yüz pul yerleştirme
- Pul bağlama teknikleri
- Entegre CMOS yapılar
- RIE sistemleri
- Kimyasal iyon huzme teknikleri

iv. Olanaklar
- Temiz oda:3000 $ft^2$ sınıf 10 temiz oda, 2700 $ft^2$ sınıf 100 ve 3000 $ft^2$ teknik destek alanı
- Güvenlik: Tam güvenlik öğretim programı ve ayrıntılı işlem prosedürleri
- Test/Tanımlama: Hat genişliği, film kalınlığı ve film basıncı ölçüm cihazları

MTL Cihaz Listesi;

- Amray SEM
- CAIBE
- CV / IV
- Cambridge SEM
- Deep Trench Etcher
- Dektak 3030 Surface Profiler
- Dektak IIA Surface Profiler
- E-Beam 1 (Bay 3)
- E-Beam 2
- Electrochemical Profiling
- Ellipsometer
- Four Point Probe
- Hall Measurement
- Ion Mill
- LPCVD
- M-Gage Sheet Resistivity
- MA6 Contact Aligner
- MA6/BA6 Contact Aligner
- MJB3 Contact Aligner
- Mask Design
- Nanoline
- Nanospec
- Nanospec 1
- Nanospec 2
- Optical Microscopes
- Oxidation / Diffusion Tubes
- PECVD
- PZT Hood
- Photolithography
- Rapid Thermal Annealer
- Rapid Thermal Annealer #1
- Rapid Thermal Annealer #2
- SB6 Substrate Bonder
- STS Etcher
- SVG COAT/DEV TRACK
- Sputte rer #1 (DC)
- Sputterer #2 (RF)
- TRE Stepper
- Thermal Evaporator #1
- Thermal Evaporator #2
- Thermal Evaporators
- Trion 1
- Trion 2
- Trion RIE
- Tube 11 - GateOx/new wafer oxidation ONLY!
- Tube 12 - HiTemp Oxidation
- Tube 13 - Anneal/Oxidation
- Tube 14 - Metal Alloy/Metal Anneal

- Tube 32 - Poly-Silicon
- Tube 33 - Nitride
- Tube 34 - Low Temperature Oxide
- Wafer Saw
- Wet Benches
- Wirebonder [55]

### 5.2.1.9 İllinois Üniversitesi Urbana

Mikroelektronik Laboratuarı:
Mikroelektronik Laboratuarı Mühendislik Kolejinde multi-disiplin araştırma olanağı olup CCSM(Center for Compound Semiconductor Microelectronics: CCSM) programlarını desteklemektedir. CCSM programı dört araştırma alanından oluşur:

i. Optoelektronik ve Fotonik Sistem Alanı: Mikroelektronik ve optoelektronikte ışık ile iletişim ve paralel optik bağlantıda kullanılan eleman, devre, cihaz ve sistemlerin tasarım, fabrikasyon ve testi işlemlerini içerir.
ii. Kablosuz İletişim Mikroelektronik Alanı: Dijital radar sistemi, HDTV, düşük güçlü ve maliyetli RF, MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) ve GHz ADClerin tasarım ve fabrikasyonunu içerir.
iii. Yarıiletken Malzeme ve Kuantum Yapılar Alanı: III-V yarıiletken malzemeler, kuantum gövdeler, süperlatisler ve nanoyapıların oluşum, karakterizasyon ve işlem teknolojilerini içerir.
iv. Mikro-Elektro-Mekanik Sistem (MEMS) Alanı: küçük alanlı ve fazla büyük dizi özellikli, yığın üretim kabiliyetli ve tam elektronik entegrasyonlu mikromakine teknolojileridir.

Mikroelektronik Laboratuarı III-V yarıiletken araştırmalarında kullanılmak üzere 8000ft$^2$ sınıf 100 ve sınıf 1000 temiz laboratuara sahiptir.

a. Mikrofabrikasyon Olanağı

Mikrofabrikasyon Uygulama Laboratuarı (Microfabrication Application Laboratory : MAL) İllinois Üniversitesinin (Chicago) araştırma ve geliştirme laboratuarıdır. Amacı elektromekanik, mekanik, kimyasal, optik ve çok fonksiyonlu kırmık üretme cihazlarını geliştirmektedir. Laboratuar 3000 ft$^2$ temiz odadan oluşur. MAL, 2,5 milyon Dolarlık (ABD) cihaza sahiptir. Bu miktarın 1,5 milyon Doları (ABD) yeni cihazlar için harcanmaktadır. Temiz oda cihazları dikkatle seçilerek mikrosensör, mikroyapı, mikro pompa ve optoelektronik uygulamalarda gerekli hassasiyet sağlanmaktadır.

b. MAL Cihaz Listesi

Litografi;
- GCA MANN Model 3600 Pattern Generator
- GCA MANN Model 3696 Stepper
- Kasper Aligner
- Karl Suss MJB3 Infrared Aligner

Metalizasyon;
- CVC Sputtering Station

- Cryo-pumped S-gun Sputtering Station
- İon-pumped Ultra High Vacuum e-beam Evaporator

Oksidasyon, Difüzyon;
- ElectroTech 310 deposition station
- Four-stack furnaces, Process Technology

Sıvı Kimyasal Aşındırma;
- ElectroTech 340

Test ve Ölçüm;
- Olympus Optical Microscopes
- Biorad FTIR Microscope
- Tencer PI Surface Profiler
- Gaertner Ellipsometer
- Topmetrix Scanning Tunelling ve Atomic Force Microscope
- Matricon Prism Coupler

Bilgisayar İmkanları;
- 4 PC
- windows NT Server, Unix Servers
- 8 Unix workstation (HP, Sun, SGI) [56]

### 5.2.1.11 Princeton Üniversitesi

NSL (NanoStructures Laboratory :NSL):
Nano-Yapılar Laboratuarı (NanoStructures Laboratory :NSL) Princeton Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümündedir. NSL misyonu daha ucuz, daha iyi ve daha küçük nano-teknoloji yapıları üretmek ve farklı disiplinler aracılığı ile yeni nano-ölçekli elektronik, optoelektronik ve manyetik elemanlar bulmaktır.

a. NSL Araştırma Projeleri

i. Nano-fabrikasyon
ii. Nano-elektronik
iii. Nano-optoelektronik
iv. Nano-manyetik
v. Diğer alanlarda nano-yapıların uygulanması

b. NSL Cihazları

Fabrikasyon Cihazları;
- SEM/E-beam Lithography system, JEOL-840
- Nanoimprint lithography system
- Reactive Ion Etching, PlasmaTherm-2486
- Sputtering System, Perkin Elmer-4400
- Ion Beam Etching System (custom built)
- E-Beam Evaporator
- Plasma Metal Coater for SEM samples, Hummer

Mikroskop ve Optik Tanımlama Cihazları;

- AFM/SEM/MFM system, Digital Instruments
- AFM/nanolithography system, Park Sci. Inst.
- Nikon Optical Microscope (1,000x), with camera
- Zeiss Microscope (800x), with camera
- Nikon Stereo Microscope
- Microzoom microscope (500x), 2 units

Elektronik Test Cihazları;

- Wafer probe station, Sigmatone-6000
- HP4145B Semiconductor Parameter Analyzer
- HP8569B Spectrum Analyzer, 22 GHz
- HP 4140B Picoammeter/DC Volt Source
- HP Signal Generator, 5 units
- HP Power Supply, 24 units
- Digital Multimeters 5 units
- Keithley-240, Voltage Source, 4 units
- Keithley-261 Picoammeter Souce, 3 units
- Keithley-485 Picoammeter, 4 units
- Keithley-619 Electrometer, 2 units
- Tektronix Curve Tracer, 576
- Tektronix Oscilloscope, 7704
- Tektronix Oscilloscope, 2235
- Other Signal Generator, 3 units
- Lock-in Amplifier, 6 units
- SR Signal Generators, 3 units

Düşük Sıcaklıklı Tanımlama Cihazları;

- 15 - 17 T Supercomputer Magnet System with a 1.2 - 300 K Temperature Insert, Oxford
- Inst. $He^3$ Refrigerators (0.3 - 300 K), Oxford Inst., Heliox

Nano-manyetik Cihazlar;

- Magnetic Force Microscopes (Atmosphere and Vacuum) with Custom Built Magnets
- Vibrating Sample Magnetometer
- Magnetooptic Kerr-Effect Microscopes

Optoelektronik Tanımlama Cihazları;

- Wavelength (700 - 10,000 nm) Tunable Femtosecond Ti-Sapphire Laser, Coherent Mira
- 900F Pumped by an Argon Ion Laser, Coherent-308
- BBO Frequency Doubler
- Spectra Physics Series 3000 YAG Laser (100 ps Pulse)
- Spectra Physics Series 3690 Pulse Compressor (5 ps Pulse)
- Autocorrelator, 50 fs, Femtochrome Coherent-103
- Terahertz Electrooptical Sampling System
- Optical Tables, 4 units
- Various Optical Mounts, Precision Positioners, Lenses, Polarizers, Waveplates and Beam Splitters

- Optical Powermeters, 3 units
- Spectrometer, SPEX-0.75M
- LN Cooled Ge Photodetectors
- Photomultipliers with Electrothermal Coolers
- High Voltage Power Supplies
- Optical Modulators and Isolators

Bilgisayar ve Aksesuarlar;
- SUN Workstations, 2 units
- Mac's, 5 units
- PC's, 6 units
- Laser Printers, 4 units
- Textronics Color Printer, Phaser 440, 1 unit

Diğer;
- Wire Bonders
- Vacuum Stations
- Electroplating System (Computer Automated for Multilayers)
- Lap machines, 3 units [57]

#### 5.2.1.12 San Jose Üniversitesi

IC Laboratuarı:
IC Laboratuarı Elektrik Mühendisliği Bölümündedir. IC Laboratuarı Elektrik mühendisliği, Malzeme mühendisliği, Genel mühendislik, Kimya mühendisliği, Mekanik mühendisliği ve Teknoloji Bölümü ile işbirliği içerisindedir. IC Laboratuarı diğer üniversite, kolej ve yüksek okullar tarafından kullanılmaktadır.

IC Laboratuarında eski ve yeni teknolojiler bulunmaktadır. Eski teknolojili cihazlar eğitim amaçlı kullanılmaktadır. Yeni cihazlarla öğrenci projeleri ve tezleri gerçekleştirilmektedir. IC Laboratuarını yılda bin öğrenci kullanmaktadır. Bu büyük eğitimde modern temiz odalar kullanılmaktadır. Kirlik deneyleri sınıf 10 temiz odalarda gerçekleştirilir.

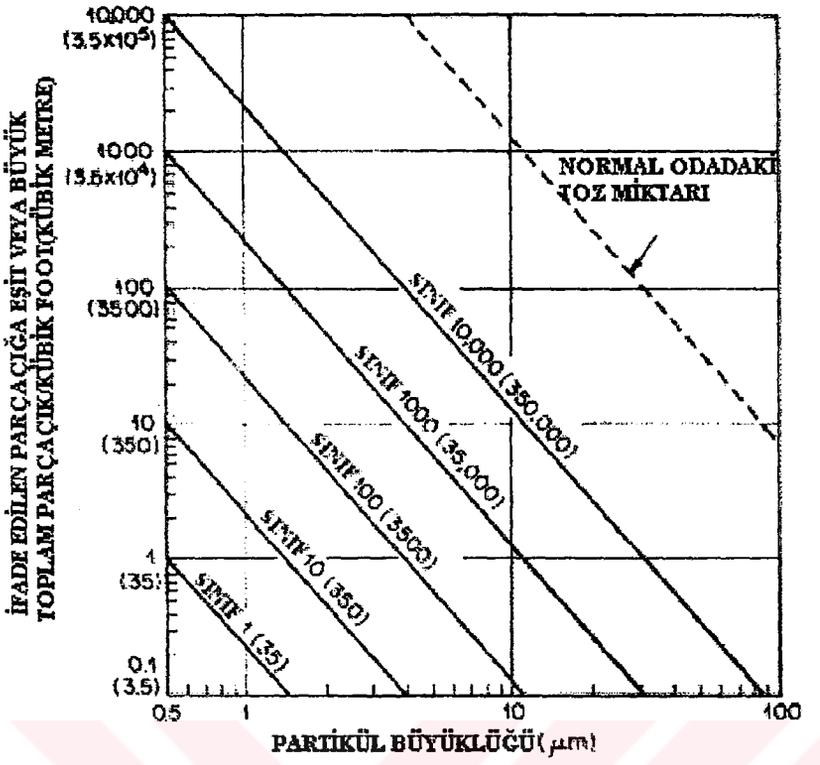
IC Laboratuarına ait bir bütçe yoktur. Bütün projelerin giderleri kurslar ve projeyi yapanlar tarafından karşılanmaktadır. Bütün cihazlar endüstri tarafından karşılanmıştır. IC Laboratuarında tümdevre çalışmaları yapılmakla birlikte diğer elektronik malzeme ve eleman araştırmaları da sürdürülmektedir.

IC Laboratuarı 3000 $ft^2$ alana sahiptir. Cihaz olarak; Thermo 3-stack furnace, Class 10 Corner, 8110 Applied Materials etcher, Nanometrics micropectrophotometer, 4- probe V/I ve Tencor 200 surface profiler bulunmaktadır. [58]

#### 5.2.1.13 Louisville Üniversitesi

LML (Lutz Microfabrication Laboratory: LML):
Lutz Mikrofabrikasyon Laboratuarı (Lutz Microfabrication Laboratory: LML) Louisville Üniversitesi "Speed Scientific School of Engineering" 'in mikrofabrikasyon araştırmalarına destek vermek amacı ile kurulmuştur. 1997' de yeni 1500 $ft^2$ temiz alan açılmıştır.

**Grafik 5. 4 Temiz oda özellikleri [59]**




Yeni LML alanı araştırma ve öğretim amacı ile kullanılmaktadır. Laboratuarda IC, ayrık mikroelektronik eleman, MEMS ve elektro-optik elemanların üretilmesinde kullanılan temel ve fabrikasyon teknikleri öğretilmektedir.

LML mikroelektronik eleman ve devre, elektro-optik, eleman, sensör, MEMS eleman ve yapıların test, paketleme ve fabrikasyon amacı ile kullanılmaktadır. İşlem gerekliliklerinden dolayı, Laboratuar sınıf 1000 ve sınıf 100 temiz oda özellikleni taşımalıdır. LML' de fotolitografi, oksidasyon, difüzyon, buharlaştırma, metalizasyon, CVD, RIE, Si-Si bağlama, elektro-statik bağlama, dilimleme, paketleme, test ve ölçüm işlemleri yapılmaktadır.

Temiz odadaki hava parçacıkları parçacıkların ürettiği hareketleri en aza indirerek hava değişimini sağlayan yüksek verimli parçacık hava(High Efficiency Particulate Air: HEPA) filtre sistemi ile kontrol edilir.

Sınıf 100 temiz oda; her $ft^3$ 'de 0.5 mikronluk 100' den az parçacık ve sınıf 1000 temiz oda ise her $ft^3$ 'de 1000' den az parçacık bulunduran odadır. Parçacık kontrolü ile birlikte temiz oda sıcaklık ve nemi 70F, %45 RH seviyesinde tutulur. Havalandırma sisteminden kaynaklanan her hangi bir sorun protokoller ile giderilir.

Kentucky' deki tek üniversite temiz odası LML' de bulunmaktadır. Lisans ve ön lisans öğrencileri yeni mikrofabrikasyon teknoloji ve uygulama deneylerini bu laboratuarda gerçekleştirebilmektedirler.

Laboratuar Cihazları;

- Kasper Mask Aligner Solitec Spinner
- Leitz Microscope
- Blue-M Vaccum Ovens

- Denton Thermal Evaporator
- Technics RF/DC Sputterer
- Chiller
- March Instruments RIE
- Lindberg Three Zone Furnaces
- Lindberg Furnace Controllers
- Hot Plates
- Gowning Cabinets
- TUI VLF Wet Processing Stations
- Fume Hoods
- SEMI Group RIE
- Computer
- Tencor Profilometer
- 4-Point Probe Resistivity/Conductivity Type Unit
- Probe Station
- Zeiss Axioskop Microscope
- Storage Cabinets
- Eye Wash and Safety Shower
- K&S Wedge Wirebonder
- JEOL SEM
- Zeiss Axiotron Microscope
- Glove Box
- Diamond Saw
- OHAUS Balance
- Mounting Station
- SEM Sputter/Coater
- Lindberg Single Zone Furnace [59]

#### 5.2.1.14 Notre Dame Üniversitesi

Mikroelektronik Laboratuarı:
Notre Dame Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü nanometre ölçekli 10 mK sıcaklıklı elektronik malzeme ve elemanların test ve fabrikasyonunu gerçekleştirmektedir.

Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektronik Malzeme ve Eleman Laboratuarı 20 ayrı odadan oluşan toplam 8000 $ft^2$lik alana sahiptir. Bu alanda IC ve kuantum eleman fabrikasyonu, elektrik ve optik ölçme, elektron mikroskop ve malzeme tanımlama olanakları bulunmaktadır. Çok sayıda araştırma projesi dünyadaki diğer araştırma gruplarının işbirliği ile bu olanaklarla gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma grupları arasında Sandia National Laboratory, University of İllinois, Purdue University, University of California (Santa Barbara), Michigan Technological University, University of Pisa, Motorola, Metricon, Navy SPAWARS System Center, Emcore ve Hughes Research Laboratories sayılabilir. Bunlarla birlikte, Notre Dame Üniversitesi Fizik ve Kimya Bölümü ve Bilgisayar ve Kimya Mühendisliği ile işbirliği yapılmıştır.

Yürütülen Araştırma Projeleri;
- Kuantum Elektronik (DARPA ve NSF fonlu)
- Mikrodalga frekanslı rezonans tünel diyod tabanlı lojik (Hughes, NSF, DARPA ve ONR fonlu)
- Ultra-dar ara-bağlantılarda elektron-migrasyonu (AFSOR fonlu)

- Yüksek hızlı optoelektronik
- Uzak-infrared radyasyonu ile tek ve çift kuantum nokta tanımlama (NSF fonlu)

Mikro ve Nano-elektronik Fabrikasyon Olanakları ;
Mikroelektronik Laboratuarı 0.01 mikron (10nm) geometrili Si ve bileşik yarıiletken eleman ve tümdevrelerin fabrikasyon cihazları ile donatılmıştır. 5 mikron CMOS kapı dizisi (2500 transistor ) ileri ön lisans kursunun bir parçası olarak üretilip test edilmektedir. Bununla birlikte, öğrenciler 3 mikron, poli-kapılı ve LOCOS teknolojili 8-bit mikro-işlemci tasarlayıp üretmektedirler.

Laboratuar cihazları;

- GCA Mann 3000 photomask generator
- GCA 3696 step-and-repeat camera
- NEOS Technologies laser pattern generator
- Tamarack mask dublicating system
- Nikon mask comparitor
- GCA 6300 stepper
- Karl Suss MJB-3
- Cobilt contact mask aligners
- Cryo-pumped, seven-source Airco FC-1800 e-beam system
- Thermco tubes for diffusion
- AG Associates model 2101 RTP
- Plasmatherm reactive ion etcher
- Varian DF-5 ion implanter
- Zeiss Axiotron optical microscope
- JEOL IC-25 scanning electron microscope
- Leitz MPV-SP system
- Gaertner ellipsometer
- Alphastep 200 surface profilometer
- Rudolph resist thickness analyzer
- Veeco FPP-5000 automated 4-point probe
- Amray 1400
- Hitachi S-4500 field emission scanning electron microscope
- Heliox-He cryostat
- Leiden dilution refrigerator
- HP 4145B
- Tektronix 803A
- Kulicke and Soffa bonding station and four probe stations
- Accel Technologies EDA layout software [60]

### 5.2.1.15 Purdue Üniversitesi

WBG (Wide Band Gap : WBG) Yarı iletken Grubu:
WBG geniş band boşluklu yarıiletken araştırmalarını Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirmektedir. Enerji band boşluğu 2 eV' dan büyük olan yarıiletkenlere geniş band boşluklu (Wide Band Gap : WBG) yarıiletken denir. WBG yarıiletkenlere örnek olarak GaN ($E_G$=3.4 eV), AlN ($E_G$=6.2 eV) ve SiC ($E_G$ =(2.2-3.25)eV) verilebilir.

WBG grubu SiC çalışmalarına 1990 yılında Cree Research of Durham ve NC (dünyanın en büyük SiC pul ve mavi LED üreticisi) işbirliği ile başlamıştır. Çalışmalar ONR, BMDO (Ballistic Missile Defense Organization : BMDO) ve SRC (Semiconductor Research Corporation :SRC) tarafından desteklenmektedir.

$SiO_2$ ve SiC MOS ara-fazının tanımlanması ve geliştirilmesinde dünya lideri olan WBG grubu ilk SiC elemanlarını geliştirmiştir. WBG SiC MOS transistor üretiminde ikinci ve SiC bipolar transistor üretiminde birinci üniversite grubudur. Cree Research ile yapılan çalışmalar sonucu beslemesiz depolama süresi 100 yıldan büyük SiC SRAM kavramı geliştirilmiştir. Grup ilk SiC monolitik dijital tümdevreyi 1993' de, ilk SiC CCD' yi (Charge-Coupled Devices: CCD) 1995' de, ilk SiC çift implantasyonlu MOS (DMOS) güç transistorunu 1996' da, ilk SiC p-gövde CMOS tümdevreyi 1996' de ve ilk yatay DMOS güç transistorunu 1997' de üretmiştir.

WBG grubu Cree Research, Delco Electronics, Motorola PCRL, General Electric CR&D, Teksas Üniversitesi (Austin), Howard Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi (Santa Barbara) Rensselaer Polytechnic Enstitüsü ile işbirliği içerisindedir. Bununla birlikte, diğer endüstriyel araştırma grupları, ulusal laboratuarlar ve üniversiteler ile bilgi alışverişi yapılmaktadır.

Yüksek kaliteli tek-kristal pul SiC 1990larda bulunan yeni bir yarıiletkendir. Bu nedenle eleman işleme ve malzeme parametreleri ölçüm çalışmaları gelişme aşamasındadır. Grubun yaptığı temel ölçümler; yüksek alan geçişi, iyon implantasyon hareketi, MOS ara-faz araştırmaları, MOS güvenilirliği, MOS ters tabaka elektron mobilitesidir.

SiC elemanlar yüksek performansa sahiptir: yüksek kesim alanı, daha geniş band boşluğu, düşük sıcaklık oluşum oranı ve düşük taşıyıcı yoğunluğu. SiC araştırma elemanları; güç MOSFET, yatay güç MOSFET, Şotki diyod, mikro-dalga eleman, CMOS tümdevre, kalıcı bellek, CCD ve NMOS tümdevrelerdir.

a. WBG Olanakları

Katı Hal Eleman ve Malzeme Laboratuarı 8000 $ft^2$ fabrikasyon alanına sahiptir.

Oksidasyon, difüzyon ve CVD Cihazları;

- Sixteen Tempress research tubes:
  Wet/Dry Oxidation, HCL Oxidation, $H_2$ Burn Oxidation, Boron Deposition, Boron Drive, Phosphorus Deposition, Phosphorus Drive, Metallization Anneal, LPCVD Polysilicon Deposition (for Si), LPCVD Nitride Deposition, SiC Wet/Dry Oxidation, LPCVD Polysilicon Deposition (for SiC), plus four spares.
- Two Thermco "Mini-Brute" furnaces for pyrogenic oxidation of SiC.

Epitaksiyel Oluşum;

- Two Varian GEN-II MBE systems devoted to III-V material growth.
- Aixtron AIX 200/4 MOCVD system for SiC and III-V nitride epilayer growth.
- Perkin-Elmer 430 MBE system
- Gemini-I LPCVD epitaxial reactor

Film Oluşturma;

- Varian E-beam evaporator (Au, Ge, Ni, Ti).
- Airco E-beam evaporator (Au, Ge, Ni, Ti, Mo, In).
- Two NRC filament evaporators (various metals).
- Perkin-Elmer 3140 sputtering system.
- Perkin-Elmer 240 magnetron sputtering system.

- MRC 8620 sputtering system ($Si_3N_4$, Ni).
- Technics PD-II PECVD deposition system ($Si_3N_4$, $SiO_2$, a-Si).

Iyon implantasyonu;
- Accelerators, Inc. AM-210 (200 kV) ion implanter.
- Varian DF-3000 (200 kV) ion implanter.
- Two variable temperature thermal annealing furnaces.
- AG Associates Mini-Pulse rapid thermal processor.
- Lindberg 1700 °C tube furnace for SiC.
- Kurt Leskar custom-designed dual-chamber vacuum annealing system for SiC.

Litografi;
- Cambridge EBMF-2.5 direct-write-on-wafer electron beam exposure machine
- Electro-Mask 10:1 step and repeat system.
- Two Karl Suss MJB-3 optical mask aligners
- Kasper 17 A optical mask aligner.
- Two Cobilt CA800 optical mask aligners.

Kuru Aşındırma;
- Millitron ion milling machine.
- Technics PE-II plasma etching system.
- PC Model 2000 plasma etching system.
- Branson/IPC Model 3000 barrel-type plasma etching system.
- Dry-Tek plasma etching system.
- Dry-Tek RIE system.
- Plasma Technology Plasmalab modular RIE system.
- Two HP plasma ashers.

Mikroskop;
- Zeiss, Unitron, and Leitz optical microscopes.
- Olympus Nomarski microscope with color video capture.
- Cambridge Stereoscan 90B scanning electron microscope.
- Several scanning electron microscopes (SEMs) and transmission electron microscopes (TEMs) in Material Science laboratories.

Film geliştirme-fiziksel;
- Dektak surface profilometer.
- Tencor Alphastep surface profilometer.
- Sloan angstrometer.
- Rudolph Research 43603-200E ellipsometer.
- powder diffractometer (Material Science).
- X-ray double crystal monochrometer for X-ray rocking curves.

Film ve eleman geliştirme-optik;
- Complete photoluminescence facility.
- Oriel quantum efficiency measurement system.

Film ve eleman geliştirme-elektriksel;
- 77 K Hall-effect facility.
- 2 K Hall-effect system for S-dH measurements (Physics).



- Polaron DLTS measurement system.
- Unicorp 1900 semi-automatic four point probe.
- Two MSI Electronics 868 semi-automatic CV plotters.
- Keithley integrated Hi-Lo CV measurement system.
- HP 4274A LCR meter (100 Hz - 100 kHz).
- HP 4275A LCR meter (10 kHz - 10 MHz).
- HP 4284A precision LCR meter
- HP 4140B picoammeter.
- Two HP 4145A semiconductor parameter analyzers.
- Two HP 4156A semiconductor parameter analyzers.
- Tektronix 11401 digitizing oscilloscope.
- Tektronix 371A automated high-voltage, high-current curve tracer.
- Air Products closed-cycle environmental chamber capable of temperatures from 10 -- 300 K.
- Blue-M convection oven capable of temperatures from 300 -- 977 K.
- Two Micromanipulator probe stations with heated chucks capable of 300 -- 673 K.

Eleman geliştirme -RF ve μW;

- HP 851B spectrum analyzer.
- Tektronix 2755 spectrum analyzer (operation to 325 GHz).
- HP 8505A network analyzer.
- HP 8503A S-parameter test set.

Eleman ve işlem simülasyonu;

- Two Dedicated HP workstations for:
  TMA SUPREM-4 Fabrication Process Simulator
  TMA MEDICI Electrical Circuit Emulator
  Drawn Technologies PISCES

Mikro-yapı analiz olanakları;

- JEOL 200 CX
- JEOL 2000FX with parallel EELS and EDS detectors
- SEMs with EDS detectors; thin-window EDS port, image processing and analysis
- Physical Electronics model 590 Scanning Auger System
- Physical Electronics model 548 ESCA System [61]

#### 5.2.1.16 Teksas Üniversitesi, Austin

MRC (Microelectronics Research Center :MRC):
Son 10 yılda Austin (Teksas) şehri yarıiletken eleman ve yarıiletken tabanlı elektronik ürün araştırma ve geliştirme alanında teknoloji merkezi olmuştur. Austin' deki araştırma, üretim, tasarım ve bakım yapan yarıiletken ve bilgisayar şirketleri olarak Advanced Micro Devices (AMD), Apple Computer, Applied Materials Technologies, Austin Computer, Tandem, Dell Computer, IBM, Motorola, Radian Corporation, National Instruments ve Tracor sayılabilir. Bununla birlikte, iki ulusal elektronik endüstrisi konsorsiyumu konsorsiyum Teksas Üniversitesindedir (Austin): Microlectronics and Computer Technology Corporation (MCC) ve SEMATECH (SEmiconductor MAnufacturing TECHnology : SEMATECH).

Endüstriyel gelişmeler devam ederken Teksas üniversitesi yarıiletken araştırma ve eğitim programlarını yaygınlaştırmaktadır. Gerçekte, elektronik şirketlerin Austin' de yoğunlaşması

Teksas Üniversitesi sayesinde olmuştur. MRC, Mühendislik Kolejinde araştırma ünitesi olarak kurulmuştur. MRC' ye yarıiletken ve optoelektronik alanındaki 10 fakülte eklenmiştir.

Mikroelektronik, Malzeme Bilimi, Bilgisayar Mühendisliği ve Üretim Biliminden oluşan Mühendislik Koleji 1984' de kurulmuştur. MRC, Malzeme Bilimi, Mühendislik Programı, Üretim Sistemleri Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği, Kimya ve Fizik bölümleri ile sıkı iş birliği içindedir.

MRC araştırmaları, malzeme araştırmalarına yoğunlaşmıştır. Diğer önemli araştırma ise mikron-altı eleman ve küçük geometrili elemanlarda taşıyıcı elektron transferinin modellenmesidir. Bununla birlikte, mikrodalga ve milimetre dalga yarıiletken elemanlar ve tümdevreler için optik ara bağlantı tasarım ve üretim çalışmaları da sürdürülmektedir.

MRC öğrencileri yarıiletken malzeme ve eleman alanında bir çok kurs seçme olanağına sahiptir. Öğrenme Laboratuarlarında litografi ve eleman işleme işlemlerinin gerçekleştirildiği IC üretimi yapılmaktadır.

Bileşik yarıiletken araştırma programı malzeme ve eleman araştırmalarını içermektedir. Malzeme araştırmaları, MBE ve MOCVD kullanılan çok tabakalı ve farklı yapılı epitaksiyel oluşum üzerine odaklanmıştır. MBE araştırma malzemeleri AlGaAs, InGaAs, AlInAs ve GaAs MOCVD araştırma malzemeleri ise AlGaAs, GaAs, InGaAs, InGaAsP, InP ve InAlAs dır. MBE sistemi Varian Gen II ve MOCVD sistemi Emcore Model GS-3200 dır.

MRC MCC ve SEMATECH ile "SEMATECH Center of Excellence" Katı Hal Programının Teksas Üniversitesinde gerçekleştirilmesini sağlayan yakın ilişki içerisindedir. Bununla birlikte, SRC Merkezin bazı araştırma programlarını direk olarak desteklemektedir. Diğer yakın ilişkiler endüstri, hükümet laboratuarı ve üniversiteleri kapsamaktadır. Bu ilişkiler araştırma programlarının çeşitli ve esnek olmasını da beraberinde getirmektedir.

1991' de NSF "Science and Technology Center" i (STC) elektronik malzemelerin sentezi, oluşumu ve analizini gerçekleştirmek için Teksas Üniversitesinde kurmuştur. Merkezin amacı, yeni elektronik elemanların oluşumunda kullanılacak malzemelere çok disiplinli yaklaşımlar geliştirmektir. STC 4 Kimya, 2 Fizik, 1 Kimya Mühendisliği ve 6 MRC fakültesi olmak üzere toplam 13 fakülteden oluşmaktadır. NSF STC, Si ve bileşik yarıiletken ileri elektronik yapıların oluşumunda yeni yaklaşımlar sağlayacak kimyacı, fizikçi ve kimya ve elektronik mühendislerini bir araya getiren entegre ve iş birlikli araştırma programı olarak organize edilmiştir.

1992' de MRC yeni "Microelectronics and Engineering Research" binasına taşınmıştır (Balcones Research Center BRC). BRC 30 milyon Dolarlık (ABD) yaklaşık olarak 55000 $ft^2$ (%60) alandan oluşmaktadır. Bu alanın 15000 $ft^2$ 'si tanımlama laboratuarı, 12000 $ft^2$ 'si malzeme oluşum ve işlem cihazları alanı (8000 $ft^2$ 'si Sınıf 100 ve 4000 $ft^2$ 'si Sınıf 1000) ve geriye kalanı ise 15 fakülte 120 lisans öğrencisi ofisi, konferans salonu ve kütüphane alanı olarak kullanılmaktadır.

MRC Araştırma Fakülteleri;

- VLSI/ULSI malzeme ve işlem&elemanları
- Optoelektronik ve dedektörler
- Dalga kılavuzları ve optik ara-bağlantılar
- Yarıiletken lazer ve optoelektronik elemanlar
- MOCVD, bileşik yarıiletken malzeme&elemanlar
- MBE, çok-tabakalı farklı yapılar

- ULSI teknolojisi hızlı ısı işlemi
- Mikron-altı eleman&teknoloji/ince dielektrikler
- Mikroişleme kuantum etkili elemanlar, ara-bağlantılar, Mikro-elektro-Mekanik Elemanlar

MRC Araştırma Grupları;
- MEMS Grubu
- RPCVD (Remote Plasma CVD) Grubu
- MBE Grubu
- Optik ara-bağlantılar Grubu
- MOCVD Grubu
- LPCVD Grubu
- OptoelektronikGrubu
- Eleman&İşlem Simülasyonu Grubu

PSPE (Program for Semiconductor Product Engineering :PSPE):
Yarıiletken Ürün Mühendisliği Programı (Program for Semiconductor Product Engineering :PSPE) mühendislik ve bilim mezunu öğrencileri yarıiletken tasarım ve üretiminde profesyonel kariyere hazırlayan endüstri sponsorlu bir yüksek lisans programıdır. Elektrik Mühendisliği mezunu öğrencileri Elektrik Mühendisliği Bilimi yüksek lisansını kazanabilir. Bu programın en güzel tarafı Mühendislik koleji ile yarıiletken endüstrisi arasındaki işbirliğidir. Programın amacı yüksek seviyede eğitimli yarıiletken mühendisi talebini karşılamaya yardımcı olmaktır.

Müfredat programı yarıiletken tasarım ve üretimine göre düzenlenmiştir, Öğrenciler iki yıllık programın ilk yılını Tech kampusunda ikinci yılını ise endüstride tamamlamaktadırlar. Programdaki bütün öğrencilere kampustaki her bir dönem için 7500 Dolar (ABD) burs verilmektedir. PSPE dönem ücreti 1500 Dolar (ABD)dır. Sonuç olarak PSPE öğrencisi programdaki ilk yılın her dönemi için 6000 Dolar (ABD) burs almaktadır. PSPE programına katılmak için öğrencilerin sponsor şirketlerden birine kabul edilmesi gerekmektedir.

PSPE programını destekleyen endüstri şirketleri; Texas Instruments, Avant!/TMA, Applied Materials, Motorola ve Lucent Technologies dır. [62]

### 5.2.1.17 Arizona State Üniversitesi

CSSER (Center for Solid State Electronics Research:CSSER):
CSSER, Arizona State Üniversitesi Mühendislik Araştırma Merkezindedir. CSSER, 30 araştırma laboratuarına sahip olup sınıf 100 temiz oda dahil 30000 $ft^2$ alana sahiptir.

CSSER Araştırma Grupları;
- Eleman araştırma grubu
- Düşük güçlü elektronik araştırma grubu
- Üretim araştırma grubu
- Malzeme&İşlem temelleri araştırma grubu
- MBE&Optoelektronik araştırma grubu
- Nano-yapılar araştırma grubu [63]

### 5.2.1.18 Boise State Üniversitesi

IML (Idaho Microfabrication Laboratory: IML):
Elektrik Mühendisliği Bölümündeki Idaho Mikrofabrikasyon Laboratuarında (Idaho Microfabrication Laboratory: IML) düşük güçlü, SOI(Silicon-On-Insulator) RF-CMOS eleman ve tümdevre tasarım araştırmaları yapılmaktadır.

Laboratuarın amacı "Semiconductor Technology" programını lisans öğrencilerine yayarak mikroelektronik öğretim ve araştırmalarında uluslar arası bir merkez olmaktır.

1997' de iki mikroelektronik laboratuarı açılmıştır. Birincisi, yarıiletken işlem tasarım, eleman tasarım ve tümdevre CAD tasarım laboratuarıdır. Laboratuarda 6 HP UNIX sunucu ve iş istasyonları, Silvaco ve TMA simülasyon programları ile gerçek pul fabrikasyonu gerçekleştirilmektedir. İkincisi, Yarıiletken Eleman Tanımlama Laboratuarı (Semiconductor Device Characterization Laboratory: SDCL) dır. Laboratuarda 6 ve 8 inch Si pul tanımlama ve modelleme işlemleri, hassas test cihazları ve yazılımlar ile gerçekleştirilmektedir. Test cihazları Alessi manuel probe stations, HP 4155, HP 4284 ve HP 8510dur. [64]

### 5.2.1.19 NIST Elektronik ve Elektrik Mühendisliği Laboratuarı (NIST EEEL)

NIST(National Institute of Standarts and Technology: NIST)' in amacı Elektro-teknoloji fiziksel standardı ile temel ve endüstriyel referans ölçümünde dünyanın en iyisi olmaktır.

ABD Ticaret Bakanlığı NIST Standart Referans Malzeme Programı (Standart Reference Materials Program: SRMP), yarıiletken endüstrisinin Standart Referans Malzemelerini (Standart Reference Materials: SRM) ilan etmektedir.

SRM, NIST EEEL, NIST MEL (NIST Manufacturing Engineering Laboratory: NIST MEL), NIST MSEL (NIST Materials Science and Engineering Laboratory : NIST MSEL) ve NIST CSTL (NIST Chemical Science and Technology Laboratory : NIST CSTL) ile NIST SRMP' in yarıiletken teknolojisi gereksinimlerini karşılamak için geliştirilen ve üretilen referans malzemelerinden oluşur.

Elektronik ve Elektrik Mühendisliği Laboratuarı (EEEL) elektronik ve elektrik endüstrisinin ölçme gereksinimlerini karşılayarak ABD ekonomisine katkıda bulunmaktadır. EEEL beş bölümünden biri olan Yarıiletken Elektronik Bölümü (Semiconductor Electronics Division: SED) Si CMOS teknolojisinin ölçme alt yapısını oluşturmaktadır. Bölümde aynı zamanda bileşik yarıiletken, güç elemanları ve Si-üzeri-yalıtkan elemanlarının endüstri ölçme gereksinimleri de karşılanmaktadır.

Yarıiletken Elektronik Bölümü:
1955' den beri SED, yarıiletken teknolojisi uygulama, transfer, geliştirme ve üretiminde güçlü bir tarihe sahiptir. SED amacını gerçekleştirmek için endüstri, diğer hükümet ajandaları, standart organizasyonlar ve üniversitelerle sıkı ilişkiler içerisindedir.

Bölümün grup ve projeleri;

i. Malzeme Teknoloji Grubu
   a. Bileşik Yarıiletken Üretim Metrolojisi
   b. Tarama-prob Mikroskop Metrolojisi
   c. İnce-film İşlem Metrolojisi

ii. Eleman Teknoloji Grubu
   a. Simülasyon&CAD Metrolojisi
   b. MEMS
   c. Mikro-fabrikayon Olanakları
   d. Birleştirme&Paketleme
iii. IC Teknoloji Grubu.
   a. Nanometre Metrolojisi Hat genişliği ve Serim Standardı
   b. Dielektrik&Ara-bağlantı Güvenirlik Metrolojisi

Bu projelerin bazıları NIST EEEL OMP (NIST EEEL Office of Microelectronics Programs : NIST EEEL OMP) yönetimindeki NIST NSMP (NIST National Semiconductor Metrology Program : NIST NSMP) tarafından desteklenmektedir. OMP aynı zamanda NIST ile SIA ve SEMATECH ile SRC arasındaki ilişkileri de yönetmektedir. NIST üyelerinin yarısını oluşturan OMP üyeleri ASTM(American Society for Testing and Materials :ASTM), DIN(Deutsches Institut für Normung : DIN), EIA, ISO(International Organizations for Standardization : ISO) ve SEMI' in (Semiconductor Equipment and Materials International: SEMI) yarıiletken standardı geliştirme çalışmalarına katılmaktadır. Bölüm araştırma sonuçlarını yayın, patent, konferans ve yazılım ile açıklamaktadır. [65]

### 5.2.2 Kanada

#### 5.2.2.1 Toronto Üniversitesi

EMG (Electronic Materias Group: EMG):
Elektronik Malzeme Grubu (Electronic Materias Group: EMG) Toronto Üniversitesi Maden Binasındadır. EMG 'in amacı geleceğin elektronik elemanlarına uygun elektronik malzeme mühendisliği ve bilimini kaliteli personel ile ilerletmektir. Gruptaki araştırmalar üç alanda toplanmaktadır:(1) Elektronik malzemelerin işlenmesi ve hazırlanması, (2) farklı yapılar ve (3) bu etkilerin eleman performansına olan etkisi.

EMG, ECAN (The Energenius Centre for Advanced Nanotechnology: ECEAN) üyesidir.

a. Araştırma Projeleri

- Yüzey, ara-faz ve gövde araştırmaları,
- Si devrelerde malzeme gelişimi,
- Optoelektronik
- Tarama probu nano-fabrikasyon araştırmaları.

b. EMG Olanakları

Epitaksiyel oluşum;
- Molecular Beam Epitaxy (MBE) and Laser-Assisted MBE for GaInAlAsSbN[Si,Be] and Si:
- 8 Knudsen Cells; 1 e-beam Source; 1 ECR Source; 1 RF Plasma Source
- In-Situ Processing: Semiconductor, Metal and Dielectric
- In-Situ RHEED and Mass Spectroscopy
- SP2020 Ar+ with SP168 Dye
- In-Situ AES Spectroscopy
- In-Situ UPS Spectroscopy
- In-Situ XPS Spectroscopy
- In-Situ UHV STM: Omicron
- In-Situ UHV AFM: Omicron
- Liquid Phase Epitaxy (LPE) for GaInAlAsP system
- Metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) System for ZnSSe
- İşleme
- Sınıf 100 ve sınıf 1000 olanaklarına temiz oda olanakları ile birlikte
- Sample Preparation : Polishing and Nomarski Contrast Microscopy
- Rapid Thermal Annealing System
- Metalization Evaporator
- Anodic Oxidation (Light Activated)
- Laser Processing
- Ion Implantation*1
- UHV Based e-Beam Dielectric Deposition System: SiO2 and Si3N4
- 3 source Sputter Deposition System for Dielectric Deposition of BaSrTiO3 Films

Tanımlama;
- Cathodoluminescence (CL)
- Photoluminescence (PL), Photoluminescence Excitation (PLE) and Time Resolved PL

- Absorption Measurements
- IR Macro/Micro Camera and Digital Image Processing System
- Absorption/PL imaging/mapping of Defects and Deep Levels
- Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS): Conventional & Optical DLTS
- Hall Measurements
- Surface Photovoltage (SPV)
- Modulated Reflectivity (MR) Measurements; Electroreflectance and Photoreflectance
- Solar Cell Simulator
- Scanning Tunneling and Atomic Force Microscopy (STM/AFM); Omicron
- Auger Electron Spectroscopy (AES)
- CV Quasi Static and HF (10kHz to 10MHz), and IV
- Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (UPS)
- Double Crystal Xray Diffraction (DCXD)
- Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS)*1
- X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)*1
- Micro/Macro Raman Spectroscopy*2
- Fourier Transform Infrared Microscopy (FTIR)*2
- Transmission Electron Microscopy (TEM)*3
- Field Emission (FE) Scanning Electron Microscopy (SEM)*3
- Electron Beam Induced Current (EBIC)*3
- Energy Dispersive Xray Analysis (EDXA)*3
- Xray Topography (XRT)*4
- Laue Xray Diffraction*4

Bilgisayar;
- CRAY XMP/24 Supercomputer Facility*5
- SUN 3/360C Colour Workstation*6
- DEC Alpha-AXP 3000-300 Colour Workstation
- DEC Alpha-AXP 3000-600 Colour Workstation
- NDC 16r X-Terminal
- Scala Control System and Workstation for Omicron SPM
- VR Control Computer System: SGI Indiglo 2 Maximum Impact Color Workstation*6

Elektronik Araştırma Grubu:
Elektronik Grubunun araştırmaları temel malzemeler, tümdevre teknolojisi, tümdevre/yarıiletken eleman tasarımı, analog ve dijital devre tasarımı, devre teorisi, filtre tasarımı, VLSI tasarım ve uygulamaları, optik sinyal işleme, elektronik enstrüman ve biyomedikal elektronik üzerinedir.

Araştırma Alanları;
- Yarıiletken Malzeme ve Yapılar: Kuantum geçiş işlemleri ve uygulamaları, bileşik yarıiletken ve amorf Si elektrik ve optik özellikleri, nano-yapılar.
- Yarıiletken Elemanlar: Tasarım, fabrikasyon, modelleme ve ölçüm, yüksek voltajlı elemanlar, yüksek hızlı transistor, lazer, dedektör ve nano-elemanlar.
- Tümdevre Tasarımı: Adaptif filtreyi içeren analog ve dijital tasarım, kablolu ve kablosuz haberleşme için tümdevreler, bilgi çeviriciler, yüksek voltajlı tümdevreler, RF ve yüksek hızlı devreler.
- Sinyal İşleyiciler: Kişisel haberleşme VLSI devre ve sistemleri, dijital sinyal işleyen IC, optik sinyal işleyiciler ve mimariler.

- VLSI Sistemleri: Analog ve dijital alan-programlanabilir dizi mimarileri, bilgisayar destekli devre ve sistem tasarımı, yüksek performanslı işlemci ve bellek mimarileri.

Araştırma Olanakları;
- SPARC 10 ve UltraSPARC iş istasyonları,
- GHz frekansında analog ve dijital IC test olanakları,
- Devre, eleman ve sistem tasarımı ticari CAD yazılımı,
- Devre ve işlem teknolojisi gelişimi için Mikro-fabrikasyon Laboratuarı,
- Devre tasarımı, simülasyon ve ölçüm için optoelektronik laboratuar,
- Optik sinyal işleme laboratuarları,
- Amorf Si, III-V bileşikler ve nano-fabrikasyon çalışmaları için malzeme laboratuarı,
- Üretimdeki enstrüman testi ve gelişimi için sensör laboratuarı,
- 60 GHz 'e kadar yüksek hızlı/yüksek frekanslı devre tasarım ve simülasyonu için RF/MMIC laboratuarı.

a. Mikro-fabrikasyon Araştırma Laboratuarı

Laboratuarın amacı tümdevre ve Si elemanların fabrikasyonunda teknoloji alt yapısını ve bilgi kaynaklarını sağlamaktır.

Mikrofabrikasyon Araştırma Laboratuarı 450 $m^2$ temiz oda ve destek/servis alanından oluşur.

Laboratuar şu olanaklara sahiptir: Temiz oda, Eleman ve İşlem Tasarımı, Fabrikasyon cihazları ve Test cihazları. Olanaklar lisans öğrencilerinin eğitiminde kullanılır. Bu laboratuarda Si yeni işlem ve eleman tasarımı gerçekleştirilir.

Temiz Oda: Sınıf 100 113 $m^2$ temiz alan ve sınıf 10.000 237 $m^2$ temiz alandan oluşur.

Eleman ve İşlem Tasarımı: MRL içerisinde SPARC ve UltraSPARC iş istasyonlu, plotter, yazıcı olanakların bulunduğu 100 $m^2$ alana sahip VLSI Araştırma Grubu ile bağlantılıdır. Tasarım otomasyon aletleri ise TMA, Silvaco, HSPICE, CADENCE ve Anacad aletleridir.

Fabrikasyon Cihazları: MRL Si elemanlar (MOS ve bipolar) ve tümdevre üretimi yapmaktadır. Bu olanaklar; IC işlem teknolojisi, eleman fiziği ve eleman modelleme araştırmalarında kullanılır. Cihazlar ile tüm CMOS işlemleri gerçekleştirilmektedir.

i. Cihaz Listesi

Fotomask;
- David Mann 3000 pattern generator
- David Mann 1795 Step-and-Repeat camera

Film Oluşturma;
- LOTOX 150 LPCVD system
- Model uDP-80 Plasma Tech

Oksidasyon;
- AG Associatiates HatPulse 410

Fotolitografi;
- Karl Suss MA4

- Karl Suss MJB3

Plazma aşındırma;
- Technics Plasma 100-E

Metalizasyon;
- Varian 3140 sputterer

İşlem görüntüleme;
- Nanometrics Nanospec 4000
- Tencor profilometer AlphaStep 200

Paketleme;

HR-100 Karl Suss
Model 4129 Kulicke&Soffa

ii. Test Cihazları

Eleman ve Düşük Frekans Devre Tanımlama;
- HP4140 pA Meter/DC Voltage Source
- HP4280 1MHz C Meter/C-V Plotter
- HP4145 Semiconductor Parameter Analyzer
- HP4155 Semiconductor Parameter Analyzer
- Low Frequency CV probe station
- HP577 Curve Tracer
- Sony/Tektronix 371 High Power Curve Tracer
- HP8591E Spectrum Analyzer ( CMC' in Equipment Loan Program)
- Audio Precision System-Two
- Wentworth Probe Station
- Teledyne TAC PR-53 Semiautomatic Probe Station
- Keithley 7001 Switch System
- Keithley 616 Digital Electrometer
- Statham Temperature Controlled Chamber
- Tektronix and HP Oscilloscopes, power supplies, function generators, and frequency counters

Dijital ve karışık-sinyal testi (Düşük Frekans);
- IMS-XL/60 (60MHz) (CMC' in Equipment Loan Program)
- HP DICE system (50MHz);
- HP8180 Data Generator
- HP8181 Data Generator Extender
- HP8182 Data Analyzer
- HP15414 Tristate Unit
- TH1000 Mixed-signal IC Test Head (CMC' in Equipment Loan Program)

Yüksek Frekans Ölçümü;
- HP8720B Network Analyzer
- HP6626 System DC Power Supply
- HP8347 RF Amplifier
- HP437 Power Meter

- HP8563 Spectrum Analyzer
- Colby SG8000A Signal Generator
- Colby PG3000A Pulse Generator
- Tektronix 11801 Digital Sampling Oscilloscope
- Wentworth Probe Station
- Cascade Microtech High-frequency Probes
- HP70000 system;
- HP70000 mainframe
- HP70004 display
- HP70322 Synthesized Signal Generator
- HP70841 Pattern Generator
- HP53131A 225MHz Universal Counter, with additional 3GHz RF Input Channel

VXI (VMEbus Extensions for Instrumentation) (CMC Equipment Loan Program);
- HP9000/745i Controller; HP VEEtest virtual-engineering environment software, ve HP75000 D20 Digital Test Software
- CMC Test Head
- HP E1401A C-Size Mainframe, with 12 slots
- HP E1406A HP75000 Series C Command Module
- HP E1450A HP75000 Series 160MHz Timing Module (quantity: 2)
- HP E1451A HP75000 Series Pattern I/O Module (quantity: 3)
- HP E1452A HP75000 Series Terminating Pattern I/O Module
- Analogic DBS8750 High Precision Arbitrary Waveform Synthesizer
- HP E1445A HP75000 Series Arbitrary Waveform Generator
- HP E1430A HP75000 Series C 10 MSa/s ADC+Filter+FIFO (A/D converter)

b. VLSI Araştırma Grubu

Grubun amacı, VLSI teknolojisi ile birlikte Si ve GaAs elektronik devrelerin tasarımını, tasarım otomasyonu, donanım ve yazılımını içeren modern elektronik devre, eleman ve sistemler üzerinde VLSI' in etkisini araştırmaktır.

VLSI Tasarım Olanakları;
VLSI tasarım olanakları 100 $m^2$ alandaki SPARC ve UltraSPARC iş istasyonları, çiziciler, yazıcılar ve diğer bilgisayar elemanlarından oluşur. Tasarım otomasyon aletleri olarak CADENCE, SYNOPSYS, HSPICE ve Analogy/Saber sayılabilir. Gerçekleştirilen Si tasarımlar Nortel, CMC, SGS Thomson, Wafer Scale Integration, Philips Research Labs tarafından GaAs tasarımlar ise Triquint ve Nortel tarafından kullanılmaktadır. [66]

### 5.2.2.2 Montreal Üniversitesi

LISA (Laboratory for the Integration of Sensors and Actuators : LISA):
LISA, Montreal Üniversitesi Montreal Poli-teknik Ekolü Fizik Mühendisliği Bölümünün bir laboratuarıdır.

LISA üyeleri EMMEE (Mikroelektronik , MEMS ve Elektro-optik Eleman Araştırma Takımı) ve GCM (Groupe des Couches Minces; Montreal Thin Film Centre: GCM) denilen üniversiteler arası FCAR (Fonds pour la Formation de chercheurs et aide à la recherche du Québec: FCAR) araştırma gruplarıdır.

LISA, tümdevre algılama, tetikleme ve mikroelektronik teknolojisi uyumlu düşük maliyetli ve yüksek verimli elektronik eleman tasarımı, üretimi, testi ve prototip üretimini gerçekleştirmektedir. LISA, çeşitli mikroelektronik teknolojisi, mikro-işleme ve süper iyonik iletken, süper iletken, SOG (Spin-On-Glasses: SOG), III-V bileşik yarıiletken ve metal çok tabaka gibi ileri ince film malzemeleri kullanarak yeni sensör ve tetikleyiciler geliştirmektedir. LISA, ince film oluşturma, tanımlama teknikleri, yüzey analizi, katı hal fiziği, Si mikro-işleme ve MEMS alanlarında ileri derecede deneyimlere sahiptir. LISA elektro-kimyasal sensör, piezo-elektrik elektro-mekanik tetikleyici, hızlı FET, CCD, foto-diyod, ışık transmisyon yapıları, akusto-elektronik ve akusto-optik elemanlar tasarlamıştır.

a. LISA Projeleri

- Yüksek hızlı mikroelektronik
- InP tabanlı III-V elemanlar
- Gaz sensörleri
- Gaz sensörleri ve zarlar

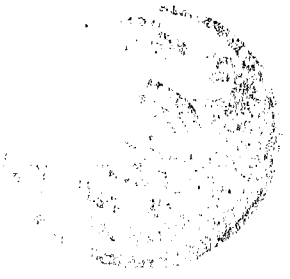
- Fiziksel sensör ve MEMS
- Manyetik sensörler
- MEMS
- SAW
- Malzeme Bilimi
  - GaAs
  - Gözenekli Si (porous Si)
  - SiN
  - TiN

b. Olanaklar

LISA' nın benzersiz özelliklerinden biri 3 milyon Dolarlık (ABD) fabrikasyon ve tanımlama cihazlarıdır.

Fabrikasyon Cihazları;
- Ultra-High Vacuum Magnetron Sputtering
- High Vacuum Magnetron Sputtering & Evaporation
- Ultrasonic/thermo compaction wire bonder
- Silicon Micro-machining Chemical Etching
- Ultraviolet Ozonating Oven
- PECVD dielectric, masking & passivating films
- Rapid Thermal Annealing (RTA)
- Deep UV, double-sided alignment patterning
- Photomask design & fabrication
- Direct-write Argon Laser Ablation System
- Reactive Ion Etching Apparatus (RIE)
- Controlled gas ambient quartz tube furnace

Tanımlama Cihazları;
- Thermostated DC-3 GHz Point Probe Tester
- Controlled Temperature & Gas Characterization Chamber
- Thin Film and Bulk Humidity Analyser



- Stylus Film Thickness Profilometer
- Thin Film Stress Tester (25 through 950deg.C)
- SEM with EDS,EBIC and e-beam lithography
- Conventionnal and grazing angle XRD
- Capacitance-Voltage Profiler (with electrochemical etch)
- 14 Tesla 2K Hall-Effect Apparatus
- Potentiostat-galvanostat, DC & AC (1mHz - 100MHz)

LISA araştırma, teknik danışmanlık ve teknoloji transferini ortak şirketlerle gerçekleştirir. Bu şirketlerden bazıları şunlardır:

- Capco R&D Inc.
- Dettson Inc.
- EG&G Optoelectronics
- Gage Scientific
- Marconi Canada
- Mitel Inc.
- Noranda
- Noranda High Technology Materials
- Pulp and Paper Research Institute of Canada (PAPRICAN)
- QPS Ltd.
- SPAR
- Techmatron Inc.

Sponsor Organizasyonlar;
- NSERC:Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada
- FCAR:Fonds pour la Formation de chercheurs et aide à la recherche du Québec
- MERQ:Ministère de l'énergie et des ressources du Québec
- MESQ:Ministère de l'enseignement supérieur du Québec
- MICTQ:Ministère de l'industrie, du commerce et de la technologie du Québec
- BIOCAPITAL:Montréal, Canada
- DETTSON INDUSTRIES:Sherbrooke, Canada
- GAGE APPLIED SCIENCE:Montréal, Canada
- MITEL SCC:Bromont, Canada
- NORANDA:Ville St-Laurent, Canada
- SPEQ CAPCO R&D Ltée:Montréal, Canada
- TECHMATRON:Montréal, Canada [67]

### 5.2.2.3 Carleton Üniversitesi

MFL (Microelectronics Fabrication Laboratory: MFL):
Carleton Üniversitesi Elektronik Bölümündeki MFL işlem teknolojisi, eleman fiziği, modelleme, yenilikçi devre teknikleri, fotonik, biyomedikal eleman ve MEMS araştırmalarına destek vermek amacı ile esnek Si tümdevre üretimi yapmaktadır. MFL, 1993' de Carleton Üniversitesi "Minto Center for Advanced Studies in Engineering" merkezinin 25 yıllık yarıiletken araştırmaları sonucu açılmıştır.

MFL' de MOS ağırlıklı araştırmalar yapılmaktadır: MOS kapı dielektrik endüstrinin kabul edeceği kirlilik seviyesinde üretim yapılmaktadır. MFL 'de her yıl 4. Sınıf öğrencilerinin 5

mikron LOCOS-izoleli poli Si kapı nMOS teknolojisi proje kırmıkları üretilmektedir. Tasarımlarda tipik olarak 50-100 transistor kullanılmaktadır. Üretilen kırmıklar ölçme ve kontrol testlerinden geçirilmektedir. [68]

### 5.2.2.4 Simon Fraser Üniversitesi

CSDL (Compound Semiconductor Device Laboratory: CSDL):
Simon Fraser Üniversitesi Fizik ve Mühendislik Bilimi Bölümünde kurulan CSDL ileri III-V yarıiletken eleman gelişimine adanmıştır. CSDL, telekomünikasyon endüstrisinde kullanılan yüksek hızlı bileşik yarıiletken eleman, malzeme ve işlemleri tanımlama ve gerçekleştirme çalışmaları yapmaktadır. CSDL, GaAs/AlGaAs sistemlerde performans geliştirmek için yeni tasarım malzemeleri (veya band boşluklu yarıiletken) araştırmaktadır. CSDL endüstri kalitesinde sınıf 100 ve sınıf 1000 alana sahiptir. CSDL bileşik yarıiletken eleman araştırmalarından dolayı "British Columbia Science and Technology Fund" dan milyonlarca Dolarlık ödüle layık görülmüştür.

CSDL Araştırma Projeleri;
- Band boşluk mühendisliği
- InP/GaInAs Tek ve Çift HBT
- InP/GaAsSb/InP Çift HBT
- GaInP/GaAs HBT
- InAs/AlSb HFET
- GaInP/GaAs yüksek kırılma voltajlı güç MESFET
- GaInP/GaInAs psedomorfik HFET
- AlGaN/GaN HFET
- AlGaAs/GaInAs TBA ile lazer oluşumlu kuantum gövde
- Optoelektronik projeler

CSDL Cihazları;
- Mikron-altı elektron huzme litografi cihazı (25 kV)
- Sıvı işleme cihazı
- Georg Soerensen two-source sputtering system
- Soerensen Memorial System II
- Colombo Bolognesi Thermal Evaporator
- Soerensen Memorial System I
- CHA 14 kV Electron Beam Evaporator
- W deep UV AB-M mask aligner

CSDL İşbirlikleri;
- Hughes Research Laboratories
- Nortel Technology
- Crystar Research Ltd (Johnson Matthey)
- Hewlett Packard Research Laboratories
- Epitronics /ATMI
- Boeing
- EG&G Optoelectronic Components [69]

### 5.2.3 İngiltere

#### 5.2.3.1 Edinburg Üniversitesi

EMF (Edinburg Microfabrication Facility :EMF):
Edinburg Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü 1968' den beri mikroelektronik elektronik alanında araştırmalar yapmaktadır. 1978' de Edinburg Mikrofabrikasyon Olanağı (Edinburg Microfabrication Facility :EMF) Bilim ve Mühendislik Kurulu SERC (Science and Engineering Council .: SERC) tarafından araştırma ve diğer SERC araştırma ve eğitim programlarına bilgi teknolojisi ve mikroelektronik konularında destek vermek üzere kurulmuştur.

Haziran 1999' da Si Teknoloji Araştırma Grubu İskoç Mikroelektronik Merkezine (Scottish Microelectronics Centre : SMC) taşınmıştır. SMC 4,2 milyon Poundluk 250 $m^2$ sınıf 10 temiz oda, 1000 $m^2$ ofis ve laboratuara sahip olup 250 $m^2$ 'si ticari şirketlere ayrılmıştır.

Grubun araştırmaları devlet ve sanayi desteklidir. Böylece yarı iletken endüstrisi ve cihaz üreticileri ile sağlam bir işbirliği sağlanmıştır. 3 milyon Poundluk cihaz ve 15 milyon Poundluk yazılım grup çalışmalarına destek amacıyla bağışlanmıştır.

Cihaz Profili;
Tablo SMC' de bulunan cihazları özetlemektedir.

**Tablo 5. 13 SMC cihaz listesi [70]**

| Cihaz çeşiti | Pul büyüklüğü | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 75mm | 100mm | 150mm | 200mm |
| Implantasyon | × | × | # | * |
| Fırınlar( CVD Oksit/Nitrat) | × | * | ×- | * |
| PECVD Oksit/Nitrat oluşturma | * | * | * | = |
| ECR Oksit/Nitrat oluşturma | × | × | × | * |
| Metal oluşturma | × | × | × | = |
| CMP | × | × | × | × |
| Fotodirenç kaplama ve iz geliştirme | × | Manuel | × | * |
| Çift yüzlü düzenleyici (MEMS) | × | × | × | = |
| DSW Optik Litoğrafi | × | × | × | = |
| E-huzme Litoğrafi | × | × | × | × |
| Derin aşındırma (MEMS) | = | = | = | = |
| Oksit aşındırma | × | × | × | × |
| Poli aşındırma | × | × | × | # |
| Metal aşındırma | × | × | × | # |
| Dilimleme | × | × | × | * |

= ilan edilmiş cihazlar # küçük değişiklikler gerekli
* mevcut değil × mevcut

Sadece bir tane 150mm'lik fırın olup birkaç yıl içinde bütün fırınlar 150mm'lik olacaktır.

Fabrikasyon alanı 300 $m^2$ laboratuardan oluşur. 100 $m^2$'lik olan fabrikasyon havalandırmasına sahip olup (± 21°C) sınıf 100 işlem cihazları kullanılmaktadır. 50 $m^2$ alan litografiye ayrılmış olup ± 21°C ve 40 ±%5 nem şartları sağlanmıştır.

a. Fabrikasyon Cihazları

İyon implantasyonu;
- Lincott Series III

DC Magnetron Saçılma Boyayıcı;
- Balzers BAS450 Coater System
- Ion Inc. Kaufmann Source

Difüzyon;
- 3*Quad Stack Tempress Omega L Furnaces

Hızlı Sıcaklık İşlemi (Rapid Thermal Processing :RTP);
- Addax Rapid Thermal Processor
- Jipelec FAV4 Limited Reaction Processor

Dielektrik Oluşturma;
- Pacific Western PWS 2000 hotplate reactor
- Oxford Plasma Technology ECR Deposition

Kuru aşındırma;
- STS PF 508 barrel reactor
- STS load locked Aluminium and polisilicon RIE etcher
- Plasmatherm PK 2440 RIE System

Kimyasal Mekanik Cilalama;
- Presi Mecapol E 460 polisher
- SVG 8600 series double sided 6 inch scrubber

Sıvı Aşındırma;
- 38 ft sınıf 100 kimyasal istasyon
- Fluoroware or Tepress rinser/drivers

Litografi;
- 2*SVG 8600 track systems
- Cobilt 2020 soft contact
- Optimetrix 8010, g-line, 0.32 NA
- 10*reduction stepper with 1.0 micron resolution
- Optimetrix 8605, g-line, 0.32 NA
- 5* reduction stepper with 1.0 micron resolution
- 1.4 $cm^2$ alan ve zar, zar yerleştirme ±0.3 mikron
- $cm^2$ alan ve zar, zar yerleştirme ±0.3 mikron

Test ve Ölçüm;
- Biorad Coincident Shear System
- Nanoquest Quaestor optical system
- Cambridge S100 machine

- Pektak Model 800 surface profiler
- Applied Materials Ellipsometer model AME 500
- Nanosope Model 010-180 reflectometer
- Veeco 1000 4 point probe

Birleştirme (assembly);
- Kulicke&Soffa Model 602 M
- Tempress Model 602 M
- Daye-Precima Model EDB 65
- Kulicke&Soffa Model 472

Kapasite/Voltaj Testi;
- HP4061 System (EDUCATE yazılımlı)

Parametre Testi;
- 2*HP4062B test system
- TAC automatic wafer prober (IC-CAP, PARAMEX, SPICE ve AURORA yazılımlı)
- HP4145 ve HP4156

Eleman ve İşlem Simülasyonu;
- Ultra 10 SPARC iş istasyonları UNIX ortamında çalışır.

b. Kullanılan Programlar

- TWB: Deney Tasarımı
- SUPREM-3: 1-D İşlem Simülasyonu
- TSUPREM-4: 2-D İşlem Simülasyonu
- MEDICI: 2-D İşlem Simülasyonu
- DAVINCI: 3-D İşlem Simülasyonu
- AURORA: Parametre testi
- IC-CAP: Parametre testi
- DEPICT: Fotolitografi
- TERRAIN:Aşındırma ve oluşturma
- MICHELANGELO: Bilgi görüntüleme ve (gridder)
- LAYOUT: Maske tanımlama
- RAPHAEL: Kapasite /direnç hesaplama
- ICCAP: Parametre testi
- RA/1 Explore and Discover : Deney Tasarım
- Cornerstone DOE ve İstatistik Analiz
- AM Gundlach [70]

### 5.2.3.2 Kent Üniversitesi

ECAD (Electronics Computer Aided Design : ECAD):
VLSI Mühendislik Grubu 1986' da ECAD (Electronics Computer aided Design : ECAD) laboratuarında CAD tekniklerinin elektronikte kullanılması uygulama ve araştırmalarını yapmak amacıyla kurulmuştur. Laboratuar UGC, UKC ve Marconi Avionics (Rochester) tarafından finanse edilmiştir.

VLSI Mühendislik araştırmaları iki alanda yürütülmektedir. ASIC gelişimi ve VLSI CAD cihaz gelişimi. Grup 1994' de DTI, İş Programında Mikroelektronik, Güney-Doğu bölgesi Destek Merkezi olarak atanmıştır. ASIC Tasarım Merkezi Güney-Doğu İngiltere' de küçük ve orta ölçekli teşebbüslerde (Small and Medium sized Enterprises : SME) kullanılmaktadır.

Grup; VLSI, Mikro-sistem Mühendisliği ve Muti-Kırmık Modül Teknolojisine Avrupa şirketleri ile destek veren ve mikrokontrölör, FPGA, tam ve yarı ticari ASIC, Mikro Mühendislik ve Multi-Kırmık Modülleri konusunda bölgesel şirketlere danışmanlık yapan Avrupa FUSE programına katılmıştır.

Grup İngiltere' de 50 üniversitede ve yaygın olarak dünyada kullanılan analog ve dijital VLSI tasarım programı "ChipWise" ı piyasaya sunmuştur.

Araştırama grubu kompleks ASIC tasarımı olanak ve cihazlarına sahiptir. Endüstride ASIC tasarımında kullanılan CADENCE, SYNOPSYS, Viewlogic, Xilinx, Altera ve Actel FPGA teknolojileri de mevcuttur. [71]

### 5.2.3.3 Wales Üniversitesi

Moleküler Elektronik Araştırma Grubu:
Araştırma çalışmaları genel olarak moleküler elektronik alanındadır. Özellikle ultra ince film Langmuir-Blodgett(LB) oluşturma ile Öz Birleştirme (Self Assembly) yarıiletken polimer elektronik elemanların fabrikasyonu konusunda araştırma yapılmaktadır.

Araştırma Alanları;
- Yarıiletken polimerlerin sentezi,
- Yarıiletken polimerlerden elektronik ve elektro-optik elemanların karakerizasyonu ve fabrikasyonu
- Organometrik yük transfer bileşimlerinden hazırlanan LB filmlerin elektrik karakterizasyonu ve hazırlanması
- Öz birleştirme ve polimer yüzeyler için Atomik Kuvvet ve Elektriksel Kuvvetli Mikroskop

Araştırma Olanakları;
Araştırma olanakları Sınıf II yarıiletken temiz oda, levha akış odası, buhar dolabı ve 2 turbo moleküler pompalı buharlaştırma sisteminden oluşur.

Cihaz olarak yüzey potansiyel probu, yüzey plazma rezonans (Surface Plasma Resonance:SPR) spektroskop ve mikroskop, otomatik I-V çizici ve admitansmetre, Nanoscope III AFM/STM, SEM, Renishaw Ranan Mikroskop ve FTIR spektrometre. [72]

### 5.2.3.4 Southampton Üniversitesi

SUMC(Southampton University Microelectronics Center :SUMC):
Mikroelektronik grubu (SUMC) 1970lerde kuruldu. Grup bipolar ve MOS elemanları, türev teknolojileri, devre ve test edilebilirlik konularında öncü konumundadır. Yeni eleman malzemeleri geliştirilmesi ve tümdevre teknolojisinin; sensörlerin mikro makinelenmesi ve tüm transdüser sisteminin kırmık üzerine yerleştirilmesinde kullanılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

SUMC, NCF (National Central Facility: NCF) olarak Mühendislik ve Fizik Bilimi Araştırma Komisyonu (Engineering and Physics Science Research Council :EPSRC) tarafından tümdevre ve eleman fabrikasyonu konusunda finanse edilmektedir. Mikroelektronik kırmık fabrikasyonu 0.1 mikron ölçeğine inmiştir. Endüstri araştırmaları Mikroelektronik Endüstri Birimi tarafından yürütülmektedir.

Mikroelektronik grubu aynı zamanda VLSI mikroelektronik devrelerdeki CMOS ve BiCMOS elemanların geliştirilmesi konusunda araştırmalar yapmaktadır. Grup yeni heterojonksiyon ve düşük boyutlu kuantum elemanlar üretmektedir. Malzeme özellikleri, devre tasarımı, entegre sensörlerin mikro-makinelenmesi ve entegre opto-elektronik elemanları içeren nanoteknolojiden VLSI' ya araştırmalar yapılmaktadır.

Mikroelektronik grubu Si mikro-fabrikasyon ve tekniklerinde 25 yıllık geçmişe sahip olup çalışmalarını Elektronik ve Bilgisayar Bilimi Bölümünde sürdürmektedir. Grup Fizik Bölümü, Kimya, Malzeme Bilimi ve İngiltere'deki diğer araştırma grupları ile işbirliği içindedir. EPSRC Si Merkez Fabrikasyon Olanağı 600 $m^2$ sınıf 100 temiz odadan oluşur.

Araştırma Projeleri;
- Bipolar araştırma
- Mikro-makineleme
- MOSFET elemanları
- Si Optoelektronik&Malzemeler
- Tasarım ve eleman karakterizasyonu
- Plazma işlemi
- Litografi
- Katı hal eleman araştırma

Sponsorlar;
GEC Plessey Semiconductors, Philips Research Lab., National Semiconductors, Philips Semiconductors, GEC Marconi Materials Technoogy, CRL(Thorn), France Telecom, Westcode Semiconductor, EPSRC, 3M Labs, DRA, QAM Ltd., Silvaco ve Technology Modelling Associates.

Olanaklar;
- 600 $m^2$ sınıf 100 temiz oda
- CMOS pilot üretimi
- 0.1 mikron litografi

Ana Konular;
- Yüksek performanslı bipolar elemanlar
- Mikronaltı MOS işlemi&eleman karakterizasyonu
- Heterojonksiyon malzemeler : SiGe, SiC, saf Si
- Analog&karışık mod devre testi
- Mikro-yapılar
- Si tabanlı sensörler
- Tasarım için işlem&eleman modelleme
- MOS ve bipolar devre tasarımı
- Si tabanlı optoelektronik [73]

### 5.2.3.5 Manchester Üniversitesi

CEM (The Centre for Electronic Materials : CEM):
Elektronik Malzeme Merkezi (The Centre for Electronic Materials : CEM) elektronik malzeme ile ilgili araştırma yapmakta ve yüksek lisans öğretimi vermektedir. Elektrik Mühendisliği ve Elektronik Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Elektronik Malzeme Projeleri;
- Si:Er projeleri ve kendini organize eden sistemlerin bulunduğu Yarıiletken Hastaneleri
- Si, III-V ve II-VI kusurlarını belirleyen Yüksek Çözünürlüklü (Laplace) DLTS Tekniği ve sonuçları
- Yarıiletken Si 'deki Hidrojen
- III-V Malzemeler
- Si, Si-Ge, silisitler, metalizasyon ve metaller
- Seramik, ferit (yumuşak demir), cam ve süper iletkenler
- Polimer, moleküler elektronik ve geniş band boşluklu malzemeler
- III-V elemanlar ve III-V IC
- Si ve ,Si-Ge IC ve elemanlar
- Enstrüman, sensör ve ölçme teknikleri

CEM Olanakları;
- Kampüsteki Cihazlar
  - Malzeme oluşum ve fabrikasyonu
  - Kimyasal ve yapısal çalışmalar
  - Mikroskop (elektron, optik, STM ve AFM)
  - Optik ölçümleri (lüminans, emme(absorption), Raman, vd.)
  - Elektrik ölçümleri (IV, CV, admitans, DLTS, vd.)
- CEM' in kullandığı özel olanaklar
  - Manchester/Liverpool STEM
  - Surrey SERC iyon implantasyon olanağı
  - Daresbury Syncrotrön
  - Grenoble CNRS/SNCI Yüksek Manyetik Alan Laboratuarı

CEM Cihazları;
- Wolfson Laboratuarı
  - MOCVD 4000 Reactor
  - Nd:YAG Laser + dye laser system (CARS)Kr+ laser system FTIR spectrometer
  - Excimer laser system
  - Mass spectrometry
  - In-situ optical tables
  - Hazardous gas cabinets and scrubbing system

- Oluşum Laboratuarı: Kimya Kalesi
  - MOCVD reactor
  - Ex-situ gas chromatography
  - Mass spectrometry

- Diğer Oluşum Cihazları
- V90H MBE System
- Riber 2000 MBE

- Suss MA4 hgh resolution mask aligner
- 230 Splitfield Revolving Microscope
- Polaron VC 6800 evaporation coater
- Plasma Technology DP80(S)
- Karl Suss PM-5 precision microprobe station
- Suss MJB and MJB 3 mask aligner
- TEM Mikroskoplar(Transmission Electron Microscopes :TEM) : Philips EM300, EM301, EM400T, EM4300T, EM430.
- SEM Mikroskoplar (Scanning Electron Microscopes :SEM) : Philips 505 ve 525. EDAX EDX
- AFM Mikroskop (Atomic Force Microscope :AFM) ARIS-3300 system

- Yüzey Test Cihazları
- Keithley 610, battery driver electrometer
- Keithley 487 Picoammeter/Voltage Source
- Hewlett Packard 4140B pA meter/DC voltage source
- KRATOS XSAM 800 instrument
- Auger electron spectrometer (AUGER) and secondary ion mass spectrometry (SIMS)
- Differential scanning calorimetry (DSC)
- Perkin Elmer DSC-2 Mass Spectrometer
- Micromass 6
- Lake Shore Cryotronics DRC9/C
- North Coast Cooled germanium detector
- Stanford Research Systems SRS30
- CTI-Cryogenics Cryodyne Cryocooler Model 22
- Spectra Physics 165 Argon ion [74]

**5.2.3.6 Surrey Üniversitesi**

SCRIBA (Surrey Centre for Research In Ion Beam Applications: SCRIBA):
SCRIBA alt grubu olan bileşik yarıiletken iyon implantasyonu (GaAs) araştırmaları 1970lerde başlamıştır. III-V yarıiletken malzemelerla başlayan iyon implantasyonu araştırmaları 1980' de İngiltere programına göre SIMOX malzemeleri ile devam etmektedir. III-V araştırmaları implantasyon modelleme, kuantum yapılarda iyon huzme difüzyonu ve mikro-dalga elemanlarda taşıyıcı çıkışı projeleri ile devam etmektedir. Çalışmalar Mullard/Philips, Post Office/BT, GEC, RSRE/DERA(Malvern), STL/BN, Plessey/GMMT, Applied Materials ve EEV gibi İngiltere yarıiletken araştırma laboratuarlarının işbirliği ile sürdürülmektedir. Almanya, Fransa, Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Avusturya, Polonya, Çek Cumhuriyeti, Rusya, Hindistan, Çin Halk Cumhuriyeti, Japonya ve ABD uluslar arası araştırma grupları ile ortak projeler yürütülmektedir.

Grup araştırmaları üç bölümden oluşmaktadır: (1)Si iyon huzme katkılama, (2)Si ışık emisyonu ve (3)III-V bileşik yarıiletken malzeme ve eleman iyon huzmesi. Proje desteğinin çoğu EPSRC' den karşılanmakla birlikte RS (Royal Society:RS), BC (British Council: BC), Avrupa Birliği (European Union: EU) ve endüstriden de destek alınmaktadır.

İyon Huzme Merkezi (Ion Beam Centre: IBC):
IBC 1978' de SRC (Science Research Council: SRC) olan şimdiki EPSRC tarafından Surrey Üniversitesinde kurulmuştur. IBC' in amaçları; işlem ve ölçme örneklemek, iyon huzme analizi ve iyon implantasyonu kaynaklarını hazırlamak, çalışma sahasını genişletecek cihazlar

geliştirmek, opto ve mikro-elektronik alanlarda stratejik araştırma ve deneyler yapmak, İngiltere ve uluslar arası alanlarda araştırmalar yapmaktır. EPSRC' in bağış yaptığı 25 projeden bazıları şunlardır:

Araştırma projelerinden bazıları;
- Yüksek frekanslı güç uygulamaları InGaP/GaAs DHBT elemanları
- GaAs MMIC piezo-seramik filmler
- Multi-GHz entegre optoelektronik sistemler
- Az kirli ısı transfer elemanlar
- <0.5 mikron bipolar transistor p&n -tipi jonksiyonlar
- Polimer bilimi ve teknolojisi IRC
- Yüksek güçlü ve yüksek sıcaklıklı uygulama SiC elektronik
- Yüksek Tc süper iletken özellik ve uygulamaları
- "Tüm implantasyonlu" SiGe HBT sentezi [75]

### 5.2.4 Diğer Avrupa Ülkelerinin Çalışmaları

#### 5.2.4.1 EUROPRACTICE

EUROPRACTICE firmaların ASIC, MCM veya Mikro-sistem ürünlerinin dünya pazarında rekabet gücünü artırmak için Ekim 1995' de Avrupa Komisyonu (European Commission : DGIII) tarafından kurulmuştur.

EUROPRACTICE IC Servisi dört IC Üretim Merkezinde verilmektedir:
i. IMEC, Leuven (Belçika),
iii. Fraunhofer Institute for Integrated Circuits Applied Electronics Center (Fraunhofer IIS A), Erlangen (Almanya),
iv. Delta, Hoersholm (Danimarka),
v. Nordic VLSI ASA, Trondheim (Norveç).

EUROPRACTICE IC Servisi IMEC tarafından yönetilir. EUROPRACTICE düşük maliyetli ASIC prototip ve küçük ölçekli ASIC üretim (MultiProject Chip : MPC) olanaklarına sahiptir.

Fraunhofer IIS-A ve EUROPRACTICE 'deki Teknolojiler:
- CMOS
  - Alcatel Microelectronic CMOS 2.0 µ A/D
  - Alcatel Microelectronic CMOS 0.7 µ C07M-A/D
  - Alcatel Microelectronic CMOS 0.5 µ C05M-A/D 3M
  - Alcatel Microelectronic CMOS 0.35 µ C035M-D 5M
  - Austria Mikro Systeme International CMOS 0.8 µ (CYE) 2M
  - Austria Mikro Systeme International CMOS 0.8 µ (CXQ) 2M
  - Austria Mikro Systeme International CMOS 0.6 µ (CUQ) 2M
  - Austria Mikro Systeme International CMOS 0.6 µ (CUP) 3M
  - Austria Mikro Systeme International CMOS 0.35 µ (CSD) 3M
  - EMS 0.5 µ CMOS A/D 3M
  - UMC 0.25 µ CMOS A/D 5M
- Yüksek Voltajlı CMOS
  - Alcatel Microelectronic 2 µ HBIMOS
  - Alcatel Microelectronic 1.2 µ HBIMOSF

    - Alcatel Microelectronic 0.7 µ C07M-I2T
    - Austria Mikro Systeme International CMOS HV 0.8 µ (CXZ) 2M
- Yüksek Hızlı BiCMOS
    - Austria Mikro Systeme International BiCMOS 0.8 µ (BYQ) 2M
    - EMS 0.5 µ BiCMOS 3M
- Yüksek Hızlı SiGe
    - Austria Mikro Systeme International SiGe 0.8 µ (BYS) 2M
- Radyasyonsuz Teknolojisi
    - TEMIC Matra BiCMOS 0.8 µ D-MILL

#### 5.2.4.2 Fraunhofer IIS-A

Fraunhofer IIS-A Avrupa'nın yükselen teknolojisi ve müşteriden bağımsız tasarım olanaklarına sahip merkezlerinden biridir. GaAs, BiCMOS ve CMOS teknolojileri RF tasarım, dijital ve karışık sinyal tasarım uygulamalarında kullanılmaktadır. A/D çevirici ve çekirdek elemanların (RAM, ROM ve mikro-kontrolör ) SOS (System-On-Silicon) teknolojisi ile üretilmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Dijital IC Tasarım Çalışma Alanları;
- Yeniden kullanılabilir makrolar
- IC tasarımı; tanımlama, doğrulama, sentez, yerleşim
- SOC; haberleşme, çoklu ortam, uydu radyo, ölçme
- Cihaz; doğrulama, sentez ve yerleşim cihazları, simülasyon, emülatör, "Digital Virtual Tester" (DVT)

Analog IC Tasarım Çalışma Alanları;
- Yüksek hızlı analog devreler; GaAs, bipolar, BiCMOS, MHz.. 4GHz, Telekom ASIC
- Mikro-sistem teknolojisi; Entegre sensör, foto sensör, manyetik alan ve akım sensörleri, sıcaklık sensörleri, modelleme, tanımlama, tıp uygulamaları, mekanik mühendisliği
- Ölçme ve kontrol sistemleri; CMOS, BiCMOS, DC.. MHz, sensör sinyal işleme, kalibrasyon, yüksek çözünürlüklü A/D çevirici, düşük güç ve düşük voltajlı endüstriyel uygulamalar
- ASIC fabrikası; EUROPRACTICE, MPW Merkezi, küçük ölçekli üretim, Tanner Designkit, ASIC Servisi

Uygulama Alanları;
- Haberleşme
- Endüstriyel elektronik
- Sensör Sinyal İşleme

Deneyim Alanları;
- A/D çevirici
- Kompleks Karışık Sinyal Tasarımları
- Kompleks Güç IC
- Düşük Güçlü Tasarım

Gerçekleştirilen Projelerden Bazıları;
- Elektro-kardiyograf çok kanallı sensör sinyali işleme
- 7-Sigma-Delta ADC sürücü kontrolör ASIC
- Güvenlik uygulamaları ASIC

- Yüksek çözünürlüklü görüntü kontrol kırmık-set

Şirketin 1998 yılı 26 milyon ECU bütçesinin 3 milyon ECU Dijital ASIC' e ve 4 milyon ECU analog ve karışık sinyal ASIC' e ayrılmıştır. Bir yılda gerçekleştirilen 20 ASIC tasarımı 45 ASIC tasarımcısı ile birlikte toplam 170 çalışana aittir. SUN iş istasyonu ve SYNOPSYS, CASCADE, CADENCE, TANNER, AVANTI ve HP (MDS) tasarım araçları kullanılmaktadır. [76]

### 5.2.4.3 IMEC

IMEC Avrupa'nın en büyük Bağımsız Mikroelektronik Ar&Ge Merkezidir (Independent Micro-Electronics R&D Center : IMEC). 1984' de Belçika Hükümeti tarafından kurulmuştur. 900' den fazla çoğunluğu bilim adamı ve mühendis olan çalışanı dünyadaki diğer Ar&Ge organizasyonları ile işbirliği içerisindedir. Bu işbirliğinde ana gereksinim kalite güvencesidir. IMEC bu işbirliği çerçevesinde UMC(Tayvan) ve VST(Virtual Silicon Technology ; VST) (ABD) ile düşük maliyetli ASIC prototip ve küçük hacimli fabrikasyon anlaşmaları imzalamıştır.

IMEC yıllık 2.900 milyon BF (Belçika Frangı: BF) (75 milyon Dolar (ABD)) bütçeye ve karşılıklı araştırmalardan 1.561 milyon BF (40 milyon Dolar (ABD): 39 milyon EURO); 1 Dolar (ABD): 37,5 BF ) gelire sahiptir. Endüstri geliri 492 milyon BF(12,2 milyon EURO) dır. IMEC endüstri ihtiyaçlarını 3-10 yıl karşılayacak araştırmalar yapmaktadır. Projeler 65 endüstri şirketi ile birlikte yürütülmektedir.

Son 15 yılda gerçekleştirilen 45 patent uygulamasından 14'ü ödül almıştır. Son olarak IMEC 1998'den beri ESA (European Space Agency:ESA) ile Ar&Ge projelerine yatırım yapmaktadır.

IMEC Gelirleri;
- Avrupa Birliği : %32,5
- ESA : %4
- Hükümet : %2,5
- Belçika endüstrisi: %32
- Uluslar arası endüstri: %29

IMEC maliyet yapısı;
- Kişisel maliyetleri: %43
- İşletme maliyetleri: %37
- Yatırım maliyetleri: %20

Ar&Ge araştırmaları;
- SOC yeni tasarım metodolojisi geliştirme,
- Yeni nesil ULSI kırmık, mikro-sistem, sensör, güneş pilleri, MCM ve optoelektronik elemanlar için işlem teknolojileri geliştirme,
- Eğitim enstitülerinde ve endüstride VLSI tasarım mühendislerinin öğretimine destek

konuları üzerinde yoğunlaşmıştır.

IMEC uluslar arası Mükemmellik Merkezi (Center of Excellence: CE ) stratejisine kavuşmuştur.

Uluslar arası Mükemmellik Merkezi;

- Avrupa Ar&Ge programları ile işbirliği
- Avrupa İnternet Ağı ile işbirliği
- Dünyaca ünlü Ar&Ge organizasyonları ve şirketleri ile işbirliği

sağlamıştır.

Mikroelektronik araştırmalarının gelişiminde IMEC en büyük esnekliğe sahiptir. Kullanılan cihazlar çevreci, güvenilir ve güvenilirdir.

IMEC Olanakları;

- 3600 $m^2$ ultra temiz alan; 1750 $m^2$ Si pilot üretimi (sınıf 1 temiz oda)
- 1999' da ek 1200 $m^2$ temiz alan
- 6200 $m^2$ bilgisayar alanı
- 10400 $m^2$ ofis ve destek laboratuarı
- 810 $m^2$ kafeterya ve öğretim alanı
- Araştırma Olanakları
- SOC VLSI tasarım metodolojisi laboratuarı
- Mikron-altı CMOS pilot üretimi
- MMIC HEMT pilot üretimi
- Ultra temiz Si işlemi
- Malzeme ve eleman araştırmaları
- Kristal Si güneş hücresi pilot üretimi
- Fiziko-kimya analiz laboratuarı
- Otomatik devre ve eleman ölçümü
- Paketleme ve test cihazları
- MCM pilot üretimi
- Mikro-sistem laboratuarı
- Güvenilirlik çalışmaları [77]

#### 5.2.4.4 Delta Microelectronics

Delta sosyal refah, güvenlik ve kaliteyi artırmayı amaçlamaktadır. Delta yeni keşifler yaparak amacına ulaşmaya çalışmaktadır. Delta özel ve resmi kuruluşlarla işbirliği sağlayarak yenilik, doğrulama, kabiliyetlerin geliştirilmesi ve ürünlerin (elektronik, yazılım, aydınlatma, optik,akustik, titreşim ve gürültü) modernleşmesine yardımcı olmaktadır.

Uygulama Alanları;

- SOC
- Karışık sinyal
- Düşük voltajlı tamamen ticari

Deneyim Alanları;

- Tasarım
- Test
- Fabrika servisi
- Hata analizi

Gerçekleştirilen Proje Örnekleri;
- İşitme Cihazları
- Tüketici ürünleri yerleşik kontrolörler
- Otomasyon

Şirketin 1997 bütçesi 152 milyon DKK (Danimarka) dır. Çalışanların 11' i ASIC tasarımcısı olmak üzere toplam çalışan sayısı 200 dür. Yılda 15-20 ASIC tasarımı gerçekleştirilmektedir. İş istasyonları HP-UX, LINUX olup tasarım araçları VISUAL, HOL, MODELSIM, SYNOPSYS,ELDO,GTD ve CALIBRE dır. [78]

### 5.2.4.5 Nordic VLSI ASA

Uygulama Alanları;
- RF ASIC
- Sensör ASIC
- Endüstriyel ASIC
- Fabrika servisi
- Bilgi ve telekomünikasyon ASIC
- Bilgi çeviriciler

Deneyim Alanları;
- Düşük güçlü ASIC
- Yüksek hızlı ASIC
- Karışık sinyal ASIC
- Kütüphane tasarımı

Şirketin 1998 yılı bütçesi 90000 KNOK (12000 KECU) olup % 20 'si Dijital ASIC' e ve %80' i analog ve karışık sinyal ASIC' e ayrılmıştır. Toplam çalışan sayısı 80, ASIC tasarımcı sayısı 60 ve yıllık ASIC tasarım sayısı 20dir. Tasarım araçları; Industry Standart, Mentor, CADENCE, Synopsis ve Avant dır. [79]

### 5.2.4.6 Delft Teknoloji Üniversitesi

DIMES(Delft Institute of MicroElectronics and Submicron Technology: DIMES):
DIMES, Si tabanlı mikroelektronik araştırma yapan ve eğitim veren Hollanda'nın ulusal bir merkezidir. DIMES Delft Teknoloji Üniversitesi ITSA(Information Technology and Systems and Applied Sciences: ITSA) ile işbirliği içerisindedir. DIMES 280 çalışana sahiptir.

Araştırma Alanları;
- Nanoölçekli elektronik
- Yüksek frekanslı haberleşme teknolojisi
- Entegre sistemler

Nanofabrikasyon;
a. Maskesiz Teknoloji

Çalışmalar "Nanoscale Experiments and Technology " (NExT) projesi çerçevesinde sürdürülmektedir. Yeni ve büyük ölçekli olanaklar nano-yapı çalışmaları ve fabrikasyonu için inşa edilmiştir. Bir çok vakum odası örnek geçiş sistemi ile bağlanmıştır. Odalarda maskesiz

fabrikasyon cihazları bulunmaktadır. Mezoskopik (mesoscopic) fizikte yeni rejimlerin oluşmasını sağlayan tüm parçaları bir araya getiren bu sistem dünyada eşsizdir.

b. Mask-kontrollü Teknoloji

Nanometre boyutlu yapıların fabrikasyonunu gerçekleştiren geleneksel cihaz ve teknolojiler geliştirilmiştir. Araştırmalar, elektron huzme yazma, direnç teknolojisi ve kuru aşındırma ile model tanımlama üzerine yoğunlaşmıştır. Fabrikasyon projeleri TUD (Delft University of Technology) araştırma grupları ve diğer araştırma enstitüleri ile birlikte yürütülmektedir.

Fabrikasyon Teknolojisi Projeleri
1. EUV projeksiyon litografi
2. Elektron huzme nanometre Si zar
3. Nanotriboloji(nanotribology) tarama prob
4. Si tek elektron tünel eleman
5. 2-boyutlu foton dalga kılavuzu nano-yapılar
6. Model kataliz fabrikasyon
7. Bağlama deliklerinin elektronsuz doldurulması

Fabrikasyon Olanakları;
Elektron huzme litografi, optik litografi, kuru aşındırma, oluşturma, ölçme ve test, sıvı işlem ve mask teknolojisi için çok çeşitli özelliklerde cihazlar bulunmaktadır.

Yenilikçi teknoloji bilimi yeni endüstriyel oluşumlara yol açmalıdır. Bu oluşum için birkaç yol vardır: (1)Ar&Ge katılmak, (2)yeni ürünlerin şirketlere aktarılması ve (3)yeni şirketlerin oluşturulması. DIMES bu üç yönde de faaliyet göstermektedir. DIMES araştırma yapma ve şirketlerin ihtiyaç duyduğu yeni kavram, tasarım ve işlemlerin prototip yazılım ve donanımını üretme olanaklarına sahiptir. Bu ürünlerden bazıları; yeni yüksek frekans elemanı (Philips Semiconductors ile), yeni tasarım aracı (HP ile), CADFrame yazılımı (Philips Display Components ile), yeni rüzgar sensörü (Mierij ile), analog enstrüman yükselteci (Philips Semiconductors ve National Semiconductors ile), mobil telekomünikasyon radyo frekans ürünleri (Ericsson ile), yeni plastik gövdeli güneş pili (AKZO-NOBEL ile), elektron huzme litografi (Leica ile) ve mikron-altı modelleme (OptEm ve Magma ile).

DIMES genç mühendislere kendi şirketlerini oluşturmaları için bir çok yardım ve destek imkanı sağlamaktadır:
i. Başlangıç aşamasında prototip oluşturma, yeni fikirleri test etme, yenilikçi tasarımlar yapma ve küçük ölçekli üretim yapma imkanı sağlamak
ii. Öğrenci ve üyelerine şirket kurma ve iş planı yapma konularında öğretim vermek
iii. Araştırma sonuçlarını kullanıma açmak
iv. Sermaye yardımı yapmak

DIMES çevresinde bir çok sayıda küçük şirket olmakla beraber büyük şirketler de Ar&Ge merkezlerini DIMES' de kurmaya karar vermişlerdir.

DIMES ESPRIT ve JESSI' in ADEQUAT,ESD/LPD, Tardis, TIBIA, JCF, MOSIS, CHARGE, INTERACT, SETTRON, BRITE EURAM ve ACE gibi büyük projelerine katılmıştır.

DIMES Aralık 1998 toplam bütçesi 15.5 milyon ECU, dış finans gelirleri 4.5 milyon ECU, işlem maliyeti 2.5 milyon ECU iken Delft Teknoloji Üniversitesi yıllık yatırım bütçesi 2.0 milyon ECU, araştırma bütçesi 2.5 milyon ECU' dır. [80]

### 5.2.5 Tayvan

#### 5.2.5.1 ERSO/ITRI

Tayvan elektronik endüstrisi son 20 yılda şaşırtıcı bir büyüme göstermiştir. Bu büyümenin esas sebebi bölge ekonomisinin gelişmesidir. 1974' de kurulan ERSO/ITRI (Electronics Research & Service Organization of the Industrial Technology Research Institute: ERSO/ITRI) Tayvan modern elektronik endüstrinin kurulmasını sağlamıştır.

Yarıiletken endüstrisinin kurulmasından sonra ERSO endüstri merkezliği rolünün yerini Ar&Ge merkezliğine bırakmıştır. ERSO endüstri ihtiyaçlarını karşılayan teknoloji geliştirme özelliğini kesinleştirmiştir. Gelişim altındaki ana konular; flat panel gösterge, yarıiletken eleman ve fabrikasyon işlemi, yüksek frekanslı /karışık sinyal IC tasarımı, SOC, elektronik paketleme, kalite güvence mühendisliği ve mikro dalga teknolojileri.

ISO 9001 ve ISO 14001 sertifikaları ile ERSO dünya sınıfı Ar&Ge organizasyonu ve yerel elektronik endüstrisinin teknoloji öncüsü olma yolundadır.

Araştırma Alanları;
Araştırma çalışmaları Tayvan ileri teknolojisinde önemli bir faktördür.

- Karışık Mod IC Tasarım Teknolojisi; Haberleşme elektroniği, görüntü elektroniği, güç IC, RF IC tasarımı, biyoelektronik
- Yarıiletken İşlem Teknolojisi; güç elemanı, IR CCD, yüksek frekans bipolar eleman&işlem, yarı-izole Si gövde, fotolitografi, ince film, aşındırma, işlem entegrasyonu
- Elektronik Paketleme Teknolojisi; flip-kırmık paketleme, flip-kırmık CSP(Chip Scale Package: CSP), pul seviyesi paketleme, flip-kırmık işlemi
- Flat Panel Görüntü Teknolojisi; Düşük sıcaklıklı poli-Si TFT LCD, yansıtıcı tip LCD, Si-pul LCD, LCM paketleme, yüksek lüminanslı alan-emisyonlu display (Field Emission Display: FED), plazma display panel (PDP)
- Mikro-dalga Teknolojisi; verici, radar ve tıbbi enstrüman

IC Ürün Geliştirme Bölümü:
ERSO IC Ürün Geliştirme Bölümü çok geniş elektronik ürün alanlarında çalışmaktadır: karışık mod IC tasarımı, RF IC tasarım, ürün mühendisliği servisi, test mühendisliği servisi, ASIC ürün geliştirme servisi.

Mikroelektronik Sistem Teknolojisi & Karışık Sinyal IC Tasarımı;

i. Haberleşme Elektroniği (Karışık Sinyal IC Teknoloji)

- Analog/Dijital çevirici
- 20 MHz devamlı zaman filtresi
- 16 bit görüntü codec
- 3.3 V 10 bit 60 MHz A/D çevirici
- 8 bit 125 MHz D/A çevirici
- 1.1 GHz BiCMOS frekans sentezleyici PLL
- ADSL(Asymmetry Digital Subscribe Loop: ADSL) analog IC
- 12-14 bit 2.5 MHz A/D D/A çevirici
- 2.5 MHz filtre

ii. Görüntü elektroniği

- Farklı optik büyüklük ve çözünürlükte CCD





- 640*480 siyah-beyaz CMOS görüntü sensör
- 256*256 renkli CMOS görüntü sensör
- CCD sinyal işlemci CDS&AGC(Correlated Double Sampling & Auto Gain Control: CDS/AGC)
- NTSC/PAL TV sistem destekleyici sinyal işlemci
- CCD tarama saat üreteci, TV sinyal kod çözücü ve D/A çeviricili sinyal işlemcisi
- BCD (BiCMOS+DMOS) veya diğer ileri işlem tabanlı akıllı güç IC

iii. Yarıiletken İşlem/Eleman Teknolojisi
- Trench DMOS
- Trench IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)
- LDMOS(Literal DMOS)
- LIBT(Literal Insulated Bipolar Transistor: LIBT)
- Yüksek performanslı çeşitli çözünürlüklü (128*128, 256*244, 512*488) IRCCD(Infrared CCD)
- Si gövde yarı izole bölge eleman izoleli karışık mod IC
- Yüksek-Q bobinli RF IC

iv. Yüksek Frekans Bipolar Eleman&İşlem
- 25 GHz bipolar işlem
- MIM(Metal-Insulator-Metal: MIM) kondansatör
- Kırmık-üzeri bobin
- Yüksek frekans ölçümü ve modeli
- ISM-915 MHz alıcı-verici cipset
- Flat Panel Display Teknolojisi
- Düşük sıcaklıklı poli-Si TFT LCD
- Yansıtıcı tip LCD
- Si-pul LCD
- LCD paketleme teknolojisi
- Yüksek lüminanslı FED
- PDP

v. Elektronik Paketleme Teknolojisi
- Flip-kırmık paketleme
- Pul seviye paketleme
- Flip-kırmık çarpma işlemi
- Flip-kırmık CSP

vi. Mikrodalga Teknolojisi
- Verici teknolojisi
- Radar teknolojisi
- Tıbbi enstrüman teknolojisi

Endüstriyel Servisler;
ERSO, IC tasarım, Flat panel display, paketleme, mikron-altı işlem, kalite güvencesi, mikro dalga teknolojisi ve endüstriyel teknoloji konularında bilgi servisi vermektedir. [8]

### 5.2.6 Çin Halk Cumhuriyeti

#### 5.2.6.1 Hong Kong Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği ileri teknoloji konularında çalışmaktadır. Geleceğin bilgi tabanlı ekonomisini oluşturacak olan teknolojiler network, iletkensiz haberleşme, multimedya sinyal işleme, mikroelektronik, mikroişlemci, opto elektronik, display teknolojisi, robot ve kontroldür.

Fakülte araştırmaları mikroelektronik ve bilgi teknolojileri alanlarında yoğunlaşmaktadır. Araştırmalar 275 personel ile yürütülmektedir.

Araştırma Projeleri;
- Biyoelektronik
- Haberleşme ve Network
- Bilgisayar Mühendisliği
- Tümdevre ve Sistem Tasarımı
- MEMS
- Mikroelektronik
- Fotonik
- Robot, Kontrol ve CAD/CAM
- Sinyal, görüntü ve video İşleme
- Konuşma ve Dil İşleme

Mikrolektronik:

a. Mikrofabrikasyon Temiz Oda

Mikrofabrikasyon Laboratuarı mikroelektronik ve opto elektronik mikroyapıların fabrikasyonu alanında araştırma ve eğitim amacı ile kuruldu. Mikrofabrikasyon Laboratuarı bilim adamlarına, araştırmacılara ve öğrencilere araştırma projelerinde cihaz imkanı ve teknik destek vermektedir.

Temiz oda 1.500 $feet^2$ olup sınıf 100' den sınıf 10.000' e doğru değişmektedir. Laboratuarda mikron altı yapıların fabrikasyonu için gerekli çeşitli ince film ve yarıiletken işlem cihazları bulunmaktadır. İnce film cihazları; Denton E-beam Evaporator ve Anatech RF/DC Magnetron Sputtering System dır.

b. Mikroelektronik Araştırma Konuları

- Entegre gaz sensör teknolojisi
- Düşük güçlü CMOS uyumlu görüntü sensörü
- Mikroelektronik paketleme
- Düşük güçlü monolitik alıcı
- MMIC işlem teknolojisi
- SiGe HBT
- BiCMOS RF modül
- Zayıf Si mikroelektronik eleman
- Tabaka transfer pul bağlama teknolojisi
- Poli Si TFT

- CMOS uyumlu SOI güç eleman teknolojisi
- VLSI uygulamalarda akıllı güç tümdevre eleman
- Büyük alanlı FED
- Tam entegre tek kırmık taşınabilir iletkensiz sistemler için Si üzeri elmas (Diamond-On-Si: SOD) teknolojisi
- Düşük sıcaklıklı ince film CMOS teknolojisi

c. VLSI Tasarım Laboratuarı

VLSI Tasarım Laboratuarı Sun Mikrosistem iş istasyonu ile çalışmalara başlamıştır. Hong Kong' ta ilk VLSI tasarım çalışmasının yapıldığı yerdir. IC yerleşimi için CADENCE ve Mentor Graphics, sistem seviyesinde SYNOPSYS, sistem simülasyonunda CADENCE Verilog ile SYNOPSYS ve Mentor Graphics VHDL, analog devreler için HSPICE ve Sabre, DSP öğretimi ve araştırmaları için Hypersignal Hyperstations ve Mentor Graphics DSP Station (Mistral-I ve Mistral-II) kullanılmaktadır.

d. VLSI/ASIC Laboratuarı

Laboratuar 8 iş istasyonu ve PClerden oluşmaktadır. CADENCE, Mentor Graphics, SYNOPSYS, Viewlogic, XACT gibi endüstriyel standart tasarım programları bilgisayarlara yüklenmiştir Laboratuarda PLD, FPGA, Kapı Dizileri, Standart Hücre ve Tam Ticari tasarımlar gerçekleştirilmektedir.

e. Laboratuar Olanakları

Test Cihazları;
- Logic Master XL60
- Logic Analysers
- Scanning Electron Microscope
- Leica Optical Microscope
- Pulse Generator
- Tektronica Optical Microscope
- Network Analyser

Bilgisayar Sistemleri;
- Workstation Systems
- Sun SPARCstation 10/20, Sun Ultra1 and DECstation 3000/5000 ...
- Personal Computer Systems , intel 486, pentium 60/100 ...

Yazılım;
- Operating System : SunOS 4.1.3, Solaris 2.4/2.5, Windows NT 3.51 ...
- CADTools : CADENCE, Mentor Graphics, SYNOPSYS, View Logic, Actel, Xilinx, HSPICE ...

İlgili Organizasyonlar;
- Mentor Graphics Corporation
- Cadence Design Systems, Inc.
- ES2
- Sun Microsystems, Inc.
- Digital Equipment Corpration [82]

### 5.2.6.2 Peking Üniversitesi

Mikroelektronik Enstitüsü:
Mikroelektronik Enstitüsü Bilgisayar Bilimi ve Teknolojisi Bölümünde 1985' de kuruldu. Çin Bilim Akademisinde bilim adamı olan Prof. Kun Huang tarafından 1956' da kurulan Fizik Bölümünde başlatılan yarıiletken çalışmalarını sürdürmektedir. Yine Çin Bilim Akademisi mikroelektronikçilerinden Prof. Yangyuan Wang liderliğinde Mikroelektronik Enstitüsü yeni eleman/IC ve uygulamalarında ulusal anahtar bir birime dönüşmüştür. Enstitü altı bölümden oluşmaktadır:

i. MEMS Araştırma
ii. Çok Yüksek Hızlı IC Araştırma
iii. SOI Elemanlar ve Devre Araştırma
iv. ASIC Tasarım Araştırma
v. Yeni Eleman Araştırma
vi. Küçük Boyutlu Eleman Fiziği Araştırma

Mikroelektronik Enstitüsü Çin' deki poli Si kapılı NMOS IC teknolojisinin doğum yeridir. İlk NMOS 1K DRAM (Çin MOS IC teknolojisi) 1970' de burada geliştirilmiştir ve Ulusal Bilim Konferansında (National Science Conference: NSC) ödüllendirilmiştir. Bu başarılar birbirini takip etmiştir.

Enstitü ulusal bir laboratuara, ulusal bir proje laboratuarına ve bir "Hi-Tech" laboratuarına sahiptir: Mikron/Nano Fabrikasyon Teknolojisi Ulusal Laboratuarı, Northern Microelectronics Ar&Ge' in Yükselen Teknolojisi ve Yeni Eleman/IC Laboratuarı ve yazılım ve donanım tasarımı için Beijing Hi-Tech Laboratuarı. Toplam işlem alanı yaklaşık olarak $900m^2$ olup $40m^2$ 'si sınıf 10 ve $60m^2$ 'si sınıf 100 süper temiz odadan oluşur. 80' den fazla işlem ve test cihazı CMOS, Bipolar IC ve MEMS vs. üretiminde kullanılmaktadır. Enstitü ayrıca $300m^2$ CAE alanına sahiptir.

Enstitü UC Berkeley, Motorola Co. USA, Tokyo Uni. Of Technology, Amerikan ADI Co., Innotech Co. ve HKUST ile işbirliği içindedir.

Diğer Laboratuarlar;
- Bilgisayar Destekli Mühendislik Laboratuarı
- Mikroelektronik İşlem Laboratuarı
- Mikroelektronik Öğretme Bölümü [83]

### 5.2.6.3 Tsinghua Üniversitesi

Mikroelektronik Enstitüsü:
Tsinghua Üniversitesi Mikroelektronik Enstitüsü 1980' de kuruldu. Bilgi Bilimi ve Teknoloji Okulunun bir koludur.

Araştırma Konuları;

a. Araştırma alanları

- VLSI tasarım, teknoloji ve test teknolojisi
- Entegre sistem teknolojisi
- Eleman fiziği

- Yeni eleman ve yeni teknoloji araştırmaları

b. Araştırma bölümleri

- Yarı iletken elemanların fiziği ve entegre teknolojisi
- IC ve entegre sistem tasarımı
- IC CAD ve tasarım metodolojisi
- VLSI teknolojisi

Mikroelektronik Enstitüsü 18 profesör, 6 doktora öğrencisi ve 39 doçent doktordan oluşan bir kadroya sahiptir. [84]

### 5.2.7 Firmalar

#### 5.2.7.1 Fincitec Oy

Fincitec Oy Finlandiya araştırma organizasyonu VTT tarafından 1986' da kuruldu. Şirketin amacı Finlandiya elektronik endüstrisine ASIC tasarım servisi sağlamaktır. Son yıllarda ASIC üretim ve dağıtım servisleri açılmıştır. Fincitec analog, lojik ve RF devreleri ASIC tasarımı yapmaktadır.

Fincitec deneyim alanları;
- Düşük güçlü ve düşük voltajlı analog devreler
- Karışık sinyal
- Ticari EEPROM
- Tam ticari ASIC

Fincitec uygulama alanları;
- Telekomünikasyon
- Tıp
- Sensör
- RF

Yıllık ASIC tasarım sayısı: 10-15

Gerçekleştirilen projelerden bazıları;
- Automatic Road Toll System lojik ASIC(SAAB COMBITECH)
- Dual Axis Accelerometer mikro-güç ara-faz ASIC (VTI Hamlin)
- EEPROM'lu bağlantısız Smart Card IC (IDESCO)
- Standart EEPROM devreler(FAIRCHILD)

Fincitec şirket profili;
- Şirket geliri (1998): 5 milyon EURO
- Dijital ASIC %(1998):%25
- Analog ve karışık sinyal ASIC %(1998):%75
- Toplam personel sayısı: 40
- ASIC tasarımcı sayısı: 28
- İş istasyonu: SUN/UNIX, PC/NT

- Tasarım araçları: CADENCE, MENTOR, SYNOPSYS, VERIBEST, SILVACO, TSSI, ALTERA [85]

### 5.2.7.2 Philips Elektronik

Dünyanın en büyük elektronik şirketlerinden biri olan kuruluş 1891' de Gerard Philips tarafından Eindoven 'da (Hollanda) ev lambası ve diğer elektrik ürünler üretmek amacı ile kurulmuştur.

Philips Elektronik dünyadaki 30 elektronik şirketi arasında 8.dir. Şirket 80 iş alanında faaliyet göstermektedir. Dijital televizyon ve gösterge, kablosuz haberleşme, konuşma hatırlama, görüntü sıkıştırma, depolama ve optik ürünler ile yarıiletken teknolojisinde dünya liderleri arasındadır. Aydınlatma, tıbbi cihazlar (özellikle tarama ve teşhis sistemleri), kişisel ve yerli uygulama alanlarındaki tasarım ve yeni malzeme araştırmaları başarının kaynağı olmuştur.

Şirket her yıl 2.4 milyar akkor lamba ve 30 milyon resim tüpü; her gün 50 milyon tümdevre üretmektedir. Dünyadaki TVlerin %14' ünde Philips resim tüpü, telefonların %60'ında Philips ürünleri, ofislerin %30'u, dünyanın en iyi hava alanlarının %65'i ,futbol statlarının %55'i ve hastanelerin %30'u Philips aydınlatma ürünlerini kullanmaktadır. [86]

**Tablo 5. 14 Philips ürünlerinin dünya pazarındaki sıralaması [86]**

| | Sıralama | |
|---|---|---|
| Ürün | Dünya | Avrupa |
| Aydınlatma | 1 | 1 |
| Tüketici elektronik (ses/görüntü) | 3 | 2 |
| Traş makinesi | 1 | 1 |
| Buharlı ütü | 2 | 2 |
| Yarıiletken | 9 | 3 |
| Renkli resim tüpü | 1 | 1 |
| Lazer optik | 3 | 1 |
| Monitör(adet) | 2 | 1 |
| Tıbbi teşhis görüntü cihazları | 3 | 2 |
| Dijital alıcılar | 2 | 1 |
| Tek kırmık TV devreler | 1 | 1 |

### 5.2.7.3 Swindon Silicon Systems

Swindon Silicon Systems (SSS) 1978' de kurulmuştur. Şirkette çalışan bağımsız bilim adamları yüksek performanslı tümdevre tasarımı ve desteği alanında uluslar arası üne kavuşmuşlardır. En iyi 14 IC mühendisi şirketin gelişimci programı sayesinde bir takım haline getirilmiştir.

SSS tasarım şirketi Bipolar, BiCMOS ve CMOS tasarımlarını diğer şirketlerin fabrikalarında gerçekleştirmektedir.

Şirket ASIC ve standart parça desteği, testi ve tasarımında ISO 9001 kalitesine sahiptir. 1980'den beri şirketin yıllık büyüme oranı %20 dır. Satışların yaklaşık olarak %60' ı Avrupa,

ABD ve Uzak Doğuya yapılmaktadır. Şirket AMS, IBM, Alcatel Mietec, Maxim, SGS Thomson Microelectronics, UMC(Tayvan) ve Chartered Semiconductor Manufacturing (Singapur) IC şirketleri ile işbirliği içerisindedir. Şirketin ana müşterilerinden bazıları ise Bosch, Madge Networks, Marconi Communications, Lucent, Alcatel, Hughes, General Motors, Tadiran ve Anaritsu' dır.

Şirket deneyim alanları;

- RF-Front End alıcı-verici; mobil telefon ve kablosuz LANIC
- Yüksek hızlı ECL-4GHz SYNTHESIS; 2.5 GHz Mux+Demux
- Ultra düşük güç karışım mod tasarımlar

Şirket deneyimleri uygulama alanları;

- Telekomünikasyon ve radyo-haberleşme
- Otomotiv
- Askeri

Yıllık ASIC tasarım sayısı: 18-20

Gerçekleştirilen bazı projeler;

- BiCMOS karışım mod elektronik yerli gaz metre
- Düşük güçlü CMOS tipi basınç monitör
- Yüksek hızlı alıcı-verici(Token Ring Network)
- İkici kuşak ABS ve Anti-Collision otomotiv tasarımı

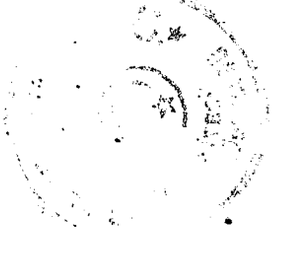
Şirket olanakları;

- 14 tasarım mühendisi, 5 yerleşim ve 2 test mühendisi
- EDA yazılımı
- Prototip ve üretim testi
- Standart paketleme eleman desteği
- ISO 9001 kalitesi
- ASIC&sistem gelişimi

Şirket profili;

- Şirket geliri(1998):5 milyon Paund (İngiltere)
- Dijital ASIC(%): -
- Analog ve karışık sinyal ASIC(% 1998): %100
- Toplam personel sayısı: 28
- ASIC tasarımcı sayısı: 15 tasarımcı+5 yerleşimci
- İş istasyonu: SPARCS
- Tasarım cihazları:CADENCE, MENTOR [87]





# BÖLÜM 6 TÜMDEVRE FABRİKASYONUNUN GELECEĞİ

## Giriş

Tümdevre fabrikasyonunun geleceğini belirleyen iki faktör vardır: tümdevre fabrikasyon teknolojisi ve tümdevre tekniği. Tümdeve fabrikasyon teknolojisinde nanoteknolojisi, kuantum teknolojisi, birleşik boyutlu teknoloji ve kırmık ölçek modüller geleceğin teknolojisi olacaktır. Tümdevre teknikleri de bu teknolojilere öncülük etmektedir.

## 6.1. Tümdevre Fabrikasyon Teknolojisinin Geleceği

### 6.1.1. Nanoteknoloji

Tümdevre teknolojisinin temel ölçüsü litografidir. Litografi teknolojisi tümdevre teknolojisinin sınırlarını belirler. Bundan dolayı, nanoteknolojide kullanılan nanolitografinin açıklanması gerekmektedir.

#### 6.1.1.1 Nanolitografi

Mikron ve mikron altı elemanların üretilmesi geleneksel teknolojilerin varlığı ve geliştirilmesi ile mümkün olmuştur. Diğer teknolojiler için olduğu gibi litografi için de aynı şeyi söyleyebiliriz. 0.1μm FET üretilmesi ile 1-4 Gbit DRAM üretilmesi mümkün olacaktır.

"Nanolitografi" yıllar süren araştırma çalışmaları sonucu üretilen ve daha çok 100nm ve daha küçük boyutlu yapıların sınırlarını belirlemede kullanılan bir terimdir. Bazen 0.25μm elemanlar "**nanoteknoloji**" olarak tarif edilir. Nanolitografinin sınırları mümkün görünmemektedir.

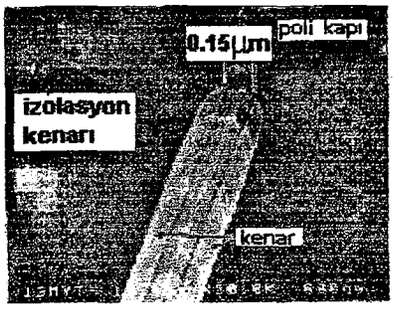
Nanolitografi tanımı:
DRAM boyutunun yıllara göre değişimini incelendiğinde Tablo 6.1' de görüldüğü gibi boyutlar 100nm-150nm' ye kadar küçülmüştür. Bugünkü mevcut teknolojiler ile 4Gbit DRAM' dan daha büyük bellek elde edilemez. Bundan dolayı 150nm ve daha düşük boyutlar için '**nanolitografi**' tanımı yapmak doğru gözükmektedir.

**Tablo 6. 1. DRAM litografi teknolojisi [88]**

| Hat Genişliği(μm) | Yıl | Kapasite | Teknoloji |
|---|---|---|---|
| 0.1 | | | |
| 0.2 | 2001 | 1Gbit | |
| 0.25 | 1998 | 256Mbit | |
| 0.3 | 1995 | 64Mbit | X-ışını |
| 0.5 | 1992 | 16Mbit | Faz kaydırma maske&DUVS&R ve tarayıcı |
| 0.7 | 1989 | 4Mbit | MLR/TSI direnç sistemi |
| 1.0 | 1986 | 1Mbit | hat adımlayıcı&tarayıcı |

Optik litografi ile 150nm veya daha aşağı boyutları elde etmek mümkün değildir. Bütün mevcut litografi teknolojileri içerisinde sadece X-ışınlı litografi gelişmelere açık görünmektedir. Bununla birlikte, geleneksel yöntemlerle 150nm boyutlu eleman üretmek

mümkündür. Şekil 6.1' de görüldüğü gibi kapı uzunluğu 150nm olan CMOS devreleri ve 100nm FETler üretilebilir. Daha önce belirtildiği gibi bu boyutlardan daha küçük elemanlar üretmek zor görünmektedir. ULSI' da yeni eleman yapıları için nanolitografinin geliştirilmesi gerekmektedir. Tablo 6.2, eleman yapıları ve nanolitografi geleceğini özetlemektedir. Tablo 6.2, Tablo. 1' deki DRAM yaklaşımına dayanmaktadır. Kuantum elemanların veya benzer yeni yapıların pratik sistemlerde kullanılabileceğini görebiliriz. Temel fizik çalışmaları, ölçeklendirme sınırı araştırması, kuantum elemanları deneyleri, çok küçük yapıların geliştirilmesi gibi nanolitografi amaçlarını göz önüne alırsak 150nm ve daha küçük boyutlarla tanımlanan nanoteknolojinin etki yapacağı gözükmektedir.




**Şekil 6. 1. İleri CMOS elemanı [88]**

**Tablo 6. 2. Gelecek yüzyılda teknoloji gelişimi: nanolitografi ve doğal eleman yapıları (örneğin; kuantum elemanları) [88]**

| Yıl | Kapasite | Teknoloji | Hat Genişliği(µm) | Eleman |
|---|---|---|---|---|
| 1995 | 64Mbit | X-ışınlı | 0.3 | geleneksel |
| 1998 | 256Mbit | X-ışınlı | 0.25 | geleneksel |
| 2001 | 1Gbit | X-ışınlı | 0.2 | geleneksel |
| 2004 | ? | X-ışınlı | ? | kuantum |
| 2008 | ? | X-ışınlı | ? | kuantum |
| 2010 | ? | X-ışınlı | 0.1 | kuantum |

### 6.1.1.2 Nanolitografi Sistemi

Nano-yapıların modellenmesini gerçekleştiren litografi imkanları çok sınırlı görünmektedir.

Birincisi, mevcut seçenekler sınırlı yapıların deney amaçlı üretilmesini sağlar. Elektron huzme ve projeksiyon, X-ışınlı ve projeksiyonu, STM, mikro-lens sistemi ve bir çok iyon huzme tekniklerini örnek olarak verebiliriz. Bu litografi sistemlerinin çoğu gerçek anlamda çok eskidir ve geliştirilmemiştir. Bu sistemlerin çoğundan çok sınırlı bilgi ve sonuç alınabilir.

Bu noktada elektron huzme ve X-ışınlı litografi sistemlerinin nano kabiliyetlerinden bahsetmek yerinde olur. Bu yaklaşım pragmatik ve uygulamalara yönelik olmakla beraber gerçekte '**usul**' olarak kabul edilebilecek iki ana sistemdir: Değişken şekilli huzme (Variably Shaped Beam System: VSBS) ve Gaussian yuvarlak huzme tipi elektron huzme litografi sistemi ve X-ışınlı litografi sistemi. X-ray litografide yakın basma mümkündür.

Eleman teknolojisinde 15 yıldır yeni eleman yapılarının üretilmesi için çalışılmaktadır. Bu yapıların üretilmesi için geniş tabanlı litografinin kullanılması gerekmektedir. Elektron huzme ve X-ışınlı litografide sistemin bütün elemanları genişçe yerleştirilmiştir. Farklı huzme enerjili e- huzme nanoltografi araçları piyasaya sunulmuştur. X-ışınlı yakın litografi sistemi için de aynı şeyi söyleyebiliriz.

Nanolitografi Sisteminde Anahtar Elemanlar:
Gelecekteki kırmık teknolojisinde kullanılacak olan nanolitografi bugün denenme aşamasında olup önümüzdeki birkaç yıl içinde kullanıma konulacaktır. Bundan dolayı, yarı iletken geliştirme laboratuarları da bir gereklilik olarak kabul edilmelidir. Maalesef, nanolitografi hala deney konusu olmasına rağmen, sır gibi (esoteric topic) saklanmaktadır. Zamanla yüksek entegrasyonlu kırmıkların üretilmesinde ara bir disiplin haline gelecektir.

Litografi sisteminin bazı anahtar elemanlarına incelemek gerekir. Tarihsel olarak ana konu olan "**eleman büyüklüğünün küçültülmesi artık geçerli değildir**".

'**Boyut**' (veya en küçük boyut) litografide anahtar konu değildir, çünkü 150nm-50nm elemanlar bir çok sistemle elde edilebilir. Litografinin diğer elemanları eskisinden daha fazla öneme sahiptir.

'**Tekrarlanabilirlik**' elemanın ilk defasında olduğu gibi her sefer istenilen boyutlarda gerçekleştirilmesidir. 10nm' den daha küçük hat genişliği kontrolü e-huzme ve X-ışınlı litografi ile gerçekleştirilebilir. Diğer sistemlerin çoğu tam kapasite kullanılamaz.

'**Dizilme ve yerleşim**' litografide önemli bir tehlike olarak ele alınmalıdır. E-huzme direk yazmada bugün en iyi bilinen yerleşim 30nm 3 sigma seviyelerindedir. Bununla birlikte, modelli bir çok tabaka bugünün nanolitografik gerekliliklerine uymaktadır. Bu teknik X-ışınlı maskelemede farklı gövdelere tekrarlanan basmalar yapıldığı zaman büyük bir öneme sahiptir.

'**Direnç ve işlem**' geliştirme uzun zamandır litografide büyük bir öneme sahiptir. Nano ölçekte negatif ve pozitif dirençli ve yüksek duyarlılıklı çözünürlük mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, direncin bir çok durumda optik direnç olarak elde edildiği ve e-huzme ve X-ışınlı uygulamalarda kullanıldığı unutulmamalıdır.

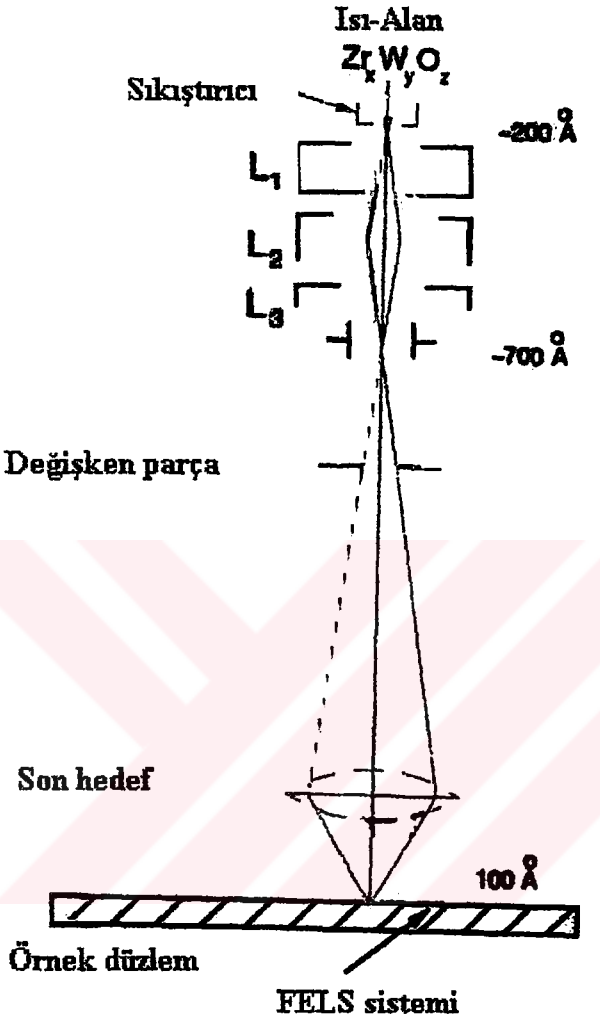
'**Ölçme ve metroloji**' litografi sistemlerinde sık sık ihmal edilmektedir. Özellikle nanoteknolojide doğru boyutları elde etmek için ölçümler kritik bir öneme sahiptir. STM veya AFM bu boşluğu doldurabilir. Hat genişliği SEM' in çözünürlük kabiliyeti kullanılarak ölçülür. 30nm' den daha küçük boyutlu ve 20nm hassasiyetli SEM ölçümlerinde 30nm ölçümün ne kadar hassas olduğu sorusu gündeme gelmektedir.

Nanolitografinin '**üretilebilirliği**' veya uygulama kolaylığı düşünüldüğünde bugün için X-ışınlı yakın basma tekniği tek gerçekçi çözüm olarak görünmektedir.

E-huzme litografi:
E-huzme litografi SEM gelişimi ile aynı tarihi bir gelişime sahiptir. Bu sistemler iyi hat litografiye sahip gerekli çözünürlüğü sağlayan Gaussian yuvarlak huzme sistemlerdir. Bilim adamları nanolitografi uygulamalarını çoğu kez e-huzme litografi ile gerçekleştirirler. E-huzme litografi iki sınıfa ayrılır: (a) Gaussian yuvarlak huzmeli vektör tarama aleti ve (b) değişken şekilli elektron huzme aleti.

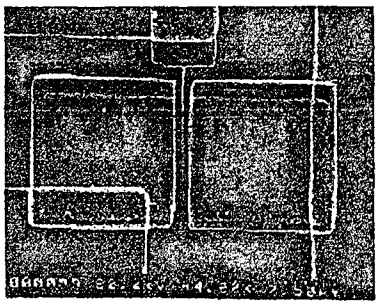
a. Gaussian Yuvarlak Huzme

Bu sınıftaki aletlerin gelişmesinin anahtarı ısı alan emisyonlu elektron kaynağıdır(Thermal Field Emission: TFE). TFE kaynağının en önemli özelliği Zirkonyumlu Tungsten ucu emiter olarak kullanarak emisyon akımını sabitleyebilmesidir. Bu entegre emiterler vektör tarama sisteminin temel yapısını oluştururlar. Şekil 6.2' de görüldüğü gibi $B_6$ kaynağı ve iki yoğunlaştırıcı lens elektrostatik lens çiftine bağlı olan TFE kaynağına yerleştirilir.




**Şekil 6. 2. Gaussian yuvarlak huzme sistemi [88]**

Genel olarak TFE kaynağı 20nm kesit alanı ve dar emisyon açısına sahiptir. Bundan dolayı, böyle bir katotta 3000A/cm$^2$ yüksek akım yoğunluğu sağlanır. Böylece yüksek oranda küçültme yapılmadan 1nA akımda 10nm veya daha düşük prob alanı elde edilebilir. Bu yüksek performanslı sistem (Tablo 6.3) 50nm' den daha küçük modellere uygulanmaktadır. Şekil 6.3' de 50nm kapı uzunluklu GaAs MESFET örneğini görülmektedir.



**Şekil 6. 3. 50 nm kapılı GaAs MESFET' in**

**SEM görüntüsü [88]**

**Tablo 6. 3. Isı Alan Emisyon Sisteminin performans parametreleri [88]**

| | |
|---|---|
| Kaynak | Zr/O/W termal alan emisyonu (25KV) |
| Çözünürlük | dp=10nm-45nm (ip=1nA-25nA) |
| Sapma | dp=13nm(200μm sapma ve 400μm alanda) |
| Kırmık Alanı | 40mm*40mm(400μm alan altı) |
| Gürültü | 60Hz:<< 10nm, Düşük f: 10-20nm, Yüksek f: <4nm (200μm alan) |
| Yazma Hızı | 0.2-10MHz (model jeneratörü ve saptırma donanımı ile sınırlıdır.) |
| Verim | 10-20*($LaB_6$ yüksek çözünürlüklü e-huzme sistemi) |
| Hassasiyet | 60nm(3 sigma (σ) |
| Yakınlık | N-Gassian model |

b. Değişken Şekilli Elektron Huzme

Nanolitografide değişken şekilli e-huzme de kullanılmaktadır. 15nm 3 sigmadan daha iyi hat genişliği kontrollü 100nm alanlı modeller negatif dirençte tasarlanmıştır. Bu şekilli huzme işlemi 100nm CMOS elemanların üretiminde başarı ile kullanılmıştır.

X-ışınlı litografi:
X-ışınlı yakın litografi geleceğin üretiminde teknolojinin seçimi olacaktır. Bu konudaki gelişmeler sayısız olup X-ışınlı litografiyi zorunlu kılmaktadır. Bugün kullanılan teknolojiyi incelersek X- ışınlı litografinin derinlik sınırının olmaması, 50nm' den daha iyi çözünürlüğe sahip olması, işlemlerde basit tek tabakalı dirençlerin standart olması, işlem esnekliği ve kusurları fark etme gibi avantajlara sahip olduğu görülür.

Diğer taraftan, dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz: Tamamen yeni bir teknoloji olması, çeşitli problemlere sahip 1*teknoloji (maske üretimi, maske tamiri ve kendi hassaslığında gerekli adımlama) olması ve en önemlisi hiçbir ürünün X-ışınlı litografi ile üretilmek için tasarlanmamış olmasıdır.

Litografi sisteminin tüm elemanları (parçaları) ticari olarak bulunmaktadır. X-ışınlı litografinin olabilmesi için elemanların gerçek ürünlere entegre edilmesi gerekmektedir. X-ışınlı litografideki aşağıdaki teknolojik gelişmeler ilerideki geliştirmelerde dikkate alınmalıdır:

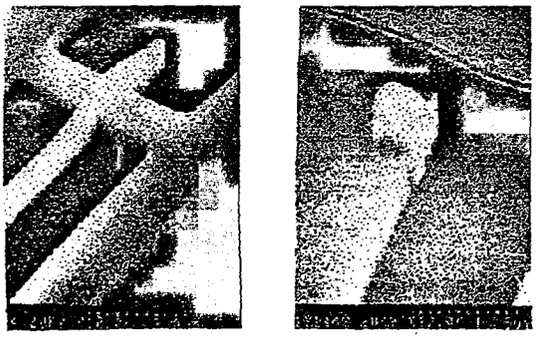
i. Adım (stepper) teknolojisi
ii. Maske teknolojisi
iii. Sistemlerin toplam entegrasyonu.

X-ışınlı litografinin rekabet gücünü artırmak için yeni bir veri tabanının eleman programı ile geliştirilmesi önerilmektedir. Bununla birilikte, deney amaçlı olarak nano üretimin gerçekleştirilmesi çalışmalarında X-ışınlı litografi büyük kabul görmektedir. X-ışınlı litografi çözünürlük ve mutlak hassasiyet açısından e-huzme sisteminin maskeleme kabiliyetine sahiptir. Elektron huzme litografi geleceğin litografi teknolojisine kapı aralayan standart bir teknolojidir. Geliştirilmiş elemanlarda direk yazma esnekliği aranan bir özelliktir: Birincisi, FETlerden VHSIC' ye kadar kırmıklar e-huzme ile üretilirler. İkincisi, elektron huzme litografi maskelemede kritik bir öneme sahiptir. Özellikle; X-ışınlı yakın basmalı 1*maskelemede. Bir çok maske üreticisi benzer alan emisyon optik (Field Emission Optics: FEO) tekniğini kullanır. Şekil 6.4, Au emicisinin plakalanmasından sonra gerçekleştirilen yüksek çözünürlüklü X-ışınlı maskelemeyi göstermektedir. Bu örnekte X-ışınlı maskeleme ile 75nm elemanların üretilmesi görülmektedir. Şekil 6.5' de X-ışınlı litografi ile çok iyi kontrol edilmiş hat genişliği gösterilmiştir. Bugün 50nm' den daha küçük nano-yapıların nasıl yapılacağı bilinmektedir. E-huzme ve X-ışınlı litografi yüksek ölçekli fabrikasyonda sınırlı bir şekilde kullanılmaktadır.

Diğer alanlarda da gelişmeler olmuştur. Litografi sistemi ile birlikte, yüksek çözünürlüklü direnç ve iyi tanımlanmış işlemler geliştirilmiştir.



**Şekil 6. 4. X-ışını zarı üzerindeki plakalı altın emicinin 75nm SEM görüntüsü [88]**



**Şekil 6. 5. X-ışınlı yakın litografi ile basılan 100nm hattın SEM görüntüsü [88]**



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

### 6.1.1.3 20nm STM Litografik Modelleme

İnce altın filmler STM ve Langmuir-Blodgett tabakasının (e- huzmesinin) pozlandırılması ile modellenir. 12nm direnç tabakası dört tek tabakalı w-trikosenoik asitten oluşur. STM, Pt-Ir ve Au film arası –10Vdur. STM, kuru Nitrojen atmosferde gerçekleşir. W-trikosenoik asit tabakası negatif direnç olarak davranır ve pozlanmamış bölgeler Ar ile çıkartılır. Mikrometreden küçük hatlar pabuçlara bağlanabilir. Elektriksel direncin sıcaklığa bağımlılığının ölçülmesi Au hatlarının metalik karakterini ortaya koyar. Düşük alanlı magneto-direnç bir boyutlu zayıf elektron yerleşim teorisi ile uyum içindedir. Hat genişliği 15nm olsa dahi STM modelleme ile büyük dizili nano-ölçekli döngüler ve noktalar hazırlanabilir.

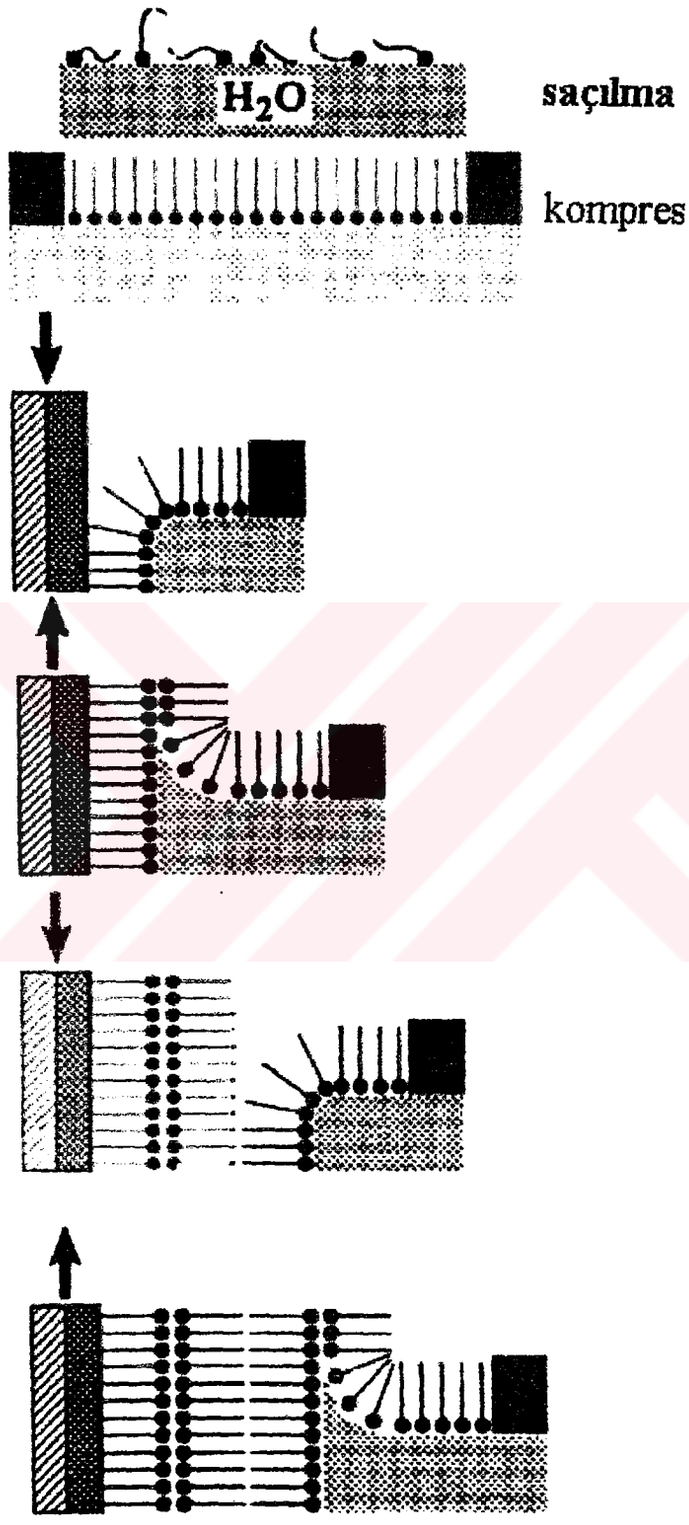
STM nano-yapıların üretiminde kullanılabilir. Çözünürlük, geleneksel yüksek enerjili (10KeV) elektron huzme litografide yakınlık etkisi tarafından sınırlanır. Yüksek enerjili elektronlar katı gövdeye geçerek ilk huzme kesitinden daha büyük bölgeye dağılarak ikinci elektronları oluştururlar. Yakınlık etkisini ortadan kaldırmak için ince zarlar kullanılabilir veya saçılan elektronlardan daha yoğun olacak şekilde ana huzme enerjisi artırılabilir. Çözünürlük düşük enerjili elektron huzmesi kullanılarak geliştirilebilir. Yani elektron enerjisi direnç tabakasının tüm parçalarını pozlandıracak nitelikte olmalıdır. Bunun için STM pozlandırmada kullanılmalıdır. Hat genişliği 27nm' den daha küçük yapılar STM tarafından üretilen düşük enerjili elektron huzmesi ile oluşturulabilir. Diğer taraftan, düşük elektron enerjisi elektron geçiş derinliği ile karşılaştırılabilecek kalınlıkta ince direnç tabakalarının kullanımını gerektirmektedir.

STM ucu ile Langmuir-Blodgett (LB) w-trikosenoik asit tabakasının pozlandırılmasından oluşan mikrometre altı ince altın filmlerin litografik modellenmesini açıklayacağız. Yapılan çalışmalar w-trikosenoik asidin yüksek enerjili elektron huzmeye tabi tutulursa negatif direnç olarak davrandığını göstermiştir. 15nm hat genişliğinde Au iletkenleri üretilebilmiştir. Au hatlarının elektrik özelliklerinin ölçülmesi devamlılığı ve Au modelinin metalik karakterini doğrulamaktadır.

Fabrikasyon:
İnce Au filmler STM ile modellenen, 50nm oksit ile kaplanan ve Si gövde üzerine oluşturulan yüksek saflıkta Au topların (%99.9999 saflıkta) termal buharlaştırılması ile elde edilir. Deliksiz veya çatlaksız yumuşak film yüzeyi buharlaştırma Helyum atmosferde gerçekleştirildiğinde elde edilir.

Langmuir-Blodgett tekniği kullanılarak 4 tek tabaka w-trikosenoik asit oluşturulur. Bu oluşturma tekniği ile (Şekil 6.6' da gösterilmiştir.) doğrusal kontrollü çok uyumlu filmler elde edilebilir ($CH_2$.=CH-$(CH_2)_{20}$-COOH molekülünün boyu 3.2nmdir.). 0.5mM yoğunlukta kloroform w-trikosenoik asit çözeltisi hazırlanır. Bu çözelti saf suya yayılır. Çözelti moleküler uyumlu tek moleküllü tabaka oluşturmak için sıkıştırılır. 30mN/m sabit yüzey basıncı altında gövde 1.6mm/s hızla yüzeyin içine ve dışına doğru hareket ettirilir. Au yüzeyi oleofik (oleophilic) olarak tanımlanır. Bu terim oluşum ile karakterize edilen (oluşum gövde çözeltiye doğru hareket ettirildiğinde başlar.) hidrofilik (hydrophilic) sınıfı gövde için kullanılır. w-trikosenoik asit tabakası Nanoskop II (Nanoscope II, Digital Instruments) STM sistemi ile pozlandırılır. Bu sistem Pt-Ir ve Au yüzeyi arası –7V ve –10V gerilimde ve kontrollü kuru Nitrojen atmosferde çalışır. Tünel akımı 20-25nA arasında sabitlenmiştir. Etanol (30s) pozlandırılmamış w-trikosenoik direnç tabakasını çıkarır. Son olarak $Ar^+$ iyon bombardımanı ($0.1c/cm^2$, 500eV) kaplanmamış Au filmleri çıkarır.

Pabuçlar, klasik elektron huzme litografi (Cambridge Instruments EBMF 10.5) ve kaldırma (lift-off) tekniğine (Poly Methyl MetAcrylate: PMMA) dayanan iki tabaka direnç sistemi kullanılarak üretilir. 50*50$\mu m^2$ Au pabuçları birbirinden 10$\mu$m mesafe ile ayrılmıştır. 30nm kalınlıkta Au filmi ve LB direnç tabakası oluşturulur.



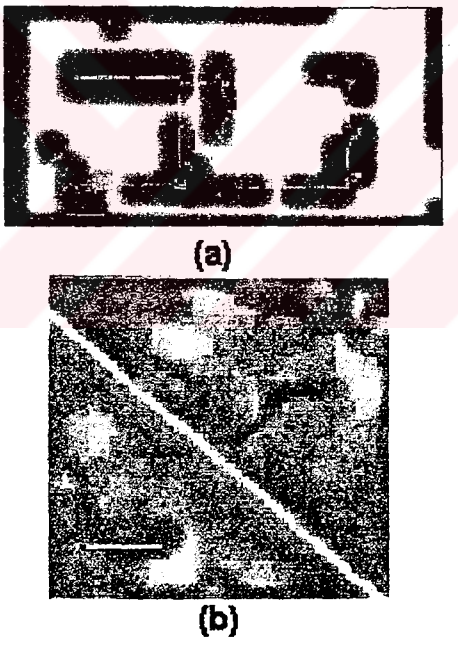

**Şekil 6. 6. Langmuir-Blodgett tekniğinin şematik gösterimi [88]**

Sonuçlar ve Tartışmalar:
PMMA ile karşılaştırılırsa w-trikosenoik asit düşük kontrast direncine sahiptir. 5KeV elektron huzmeli 60nm' den daha düşük hat genişliği, 45nm direnç tabakasının 0.12nC/cm dozunda pozlandırılması ile elde edilir. En son deneyde çözünürlük huzme çapı (25nm) elektron saçılma ile belirlendiğinden direnç tabakasını pozlandırmak için kullanılan 10V gerilim farklı STM ucu ile en küçük hat genişliği elde edilebilir.

Şekil 6.7.a, iki kontak pabucunu birbirine bağlayan 0.1μm genişliğindeki hattın SEM mikrografiğini göstermektedir. Kontak pabuçları TV tarama modundaki STM ile yazılır. Komşu tarama çizgileri arasındaki mesafe 7.5nmdir. Sabit Au yerleşim pabuçları elde etmek için bu mesafe küçültülmelidir.

Asıl hat genişliği X-eksenindeki tarama hızına bağlıdır. Şekil 6.7.a'daki birbirine bağlanan iki kontak pabucu tek bir tarama sırasında oluşur. X-ekseni boyunca tarama hızı 1μm/s' de tutulur Bu hız 200μc/cm pozlandırma dozuna karşılık gelir. Tarama hızı 10μm/s' den fazla olursa hat genişliği önemli oranda azalacaktır (20μc/cm pozlandırma dozuna karşılık gelir). Şekil 6.7.b, en küçük hat genişliği olan 15nm genişliğindeki Au hattının SEM mikrografiğini göstermektedir.

En küçük hat genişliği direnç tabakasının mikroskobik yapısı ile belirlenmesine rağmen, bu ana kadar en küçük hat genişliği Pt-Ir ucunun mikroskobik yapısı ile belirlenmiştir.




**Şekil 6. 7. (a) İki kontak yerini birbirine bağlayan**

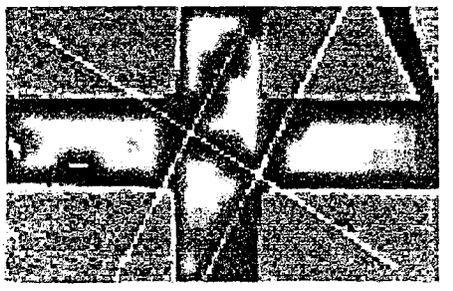
**0.1μm genişliğinde hattın SEM mikrografiği,**

**(b) 15nm genişliğindeki Au hattın SEM**

**mikrografiği [88]**

Modellenmiş Au tabakasının elektriksel ölçümlerini gerçekleştirmek için iki pabuça bağlı Au hatları hazırlanır. Şekil 6.8, STM ucu ile yazılacak dört terminalli hat yapısının SEM mikrografiği gösterir. Yapı 400μc/cm doz ile pozlandırılan iki geniş voltaj probu ve 200μc/cm

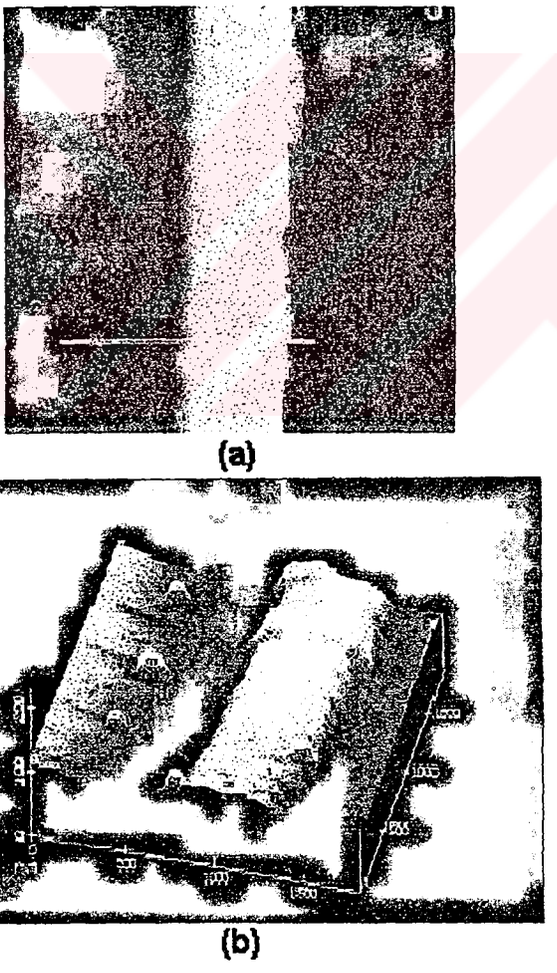
dozunda yazılan ve dar iletkenlerden oluşan dört prob modelinden oluşur. STM ucunun aynı hat üzerinde tekrar taranması ile yazılan hatlarda uç kararsızlıkları önlenir.



**Şekil 6. 8. Dört terminalli hat yapısının**

**SEM mikrografiği [88]**

Şekil 6.9.a, aşırı pozlandırılmış hatların paralel olarak yazılması ile elde edilen 0.4μm genişliğindeki Au hattın büyütülmüş şeklini gösterir. Şekil 6.9.b, Nanoskop II sisteminin başı olan Atomik Kuvvetli Mikroskop (Atomic Force Microscope:AFM) ile ölçülen oluşturulan Au hattının yüzey topografisi görülmektedir. SEM ve AFM benzer uzunlukları gösterseler de AFM hat yapısının kenarlarındaki bulanıklığını da göstermektedir.




**Şekil 6. 9. (a) 0.4 μm genişliğindeki hattın SEM mikrografiği,**

**(b) AFM ile ölçülen 0.4μm hattın topoğrafisi [88]**

Büyük kontak pabuçlarına ultrasonik yolla iletken bağlanmasından sonra Şekil 6.9'daki hattın direnci, sıcaklık ve manyetik alanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Au hattı açıkça metalik özellik gösterir ve direnci 295K' da 6.20μΩcm' den 4.2K' da 3.65μΩcm' ye kadar düşmektedir. Bağımsız elektron modeli kullanılarak elektron yolunun elastikiyeti 25nm olarak hesaplanır. Bu sonuçlar STM ile modellenmeyen daha büyük Au filmleri için elde edilen değerlerle uyumludur.

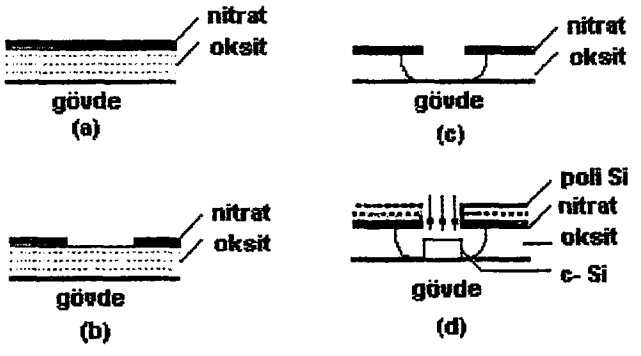
Langmuir-Blodgett elektron huzme direnç tabakasının çevrelediği ince Au filminin mikrometre altı modellenmesinde STM kullanılır. Şimdiye kadar elde edilen en küçük hat genişliği 15nm olup Pt-Ir ucunun kararlılığı ve keskinliği artırılarak daha küçük hat genişliği geliştirilebilir. Elektriksel ölçümler mikrometre altı yapıların metalik kalitesini ve homojenliğini doğrulamaktadır. [88]

### 6.1.1.4 Mikro gölge Maske ile Si Nano-Yapıların Oluşumu

Mikro gölge maske ile Si nano-yapıların epitaksiyel oluşumu anlatılacaktır. İyi tanımlanmış yüz oluşumu (facet formation) düşük boyutlu elektronik elemanların üretiminde kullanılabilecek keskin köşelere ve uçlara sahiptir.

MBE, keskin atomik arafazlar ve çok karışık sıralı tek tabakaların doğrusal oluşturulmasında kullanılır. Gerçek bir boyutlu nano-teknolojide doğrulama yapılmazken iki veya üç boyutlularda doğrulama gerekmektedir. Yani birkaç 10 nanometreye kadar yatay model çözünürlüğü gerekmektedir. Genel olarak bu amaç için çıkarma (aşındırma) ve ekleme (diferansiyel epitaksi veya doğrusal olmayan epitaksi) teknikleri kullanılmaktadır. Aşındırmada genellikle atom ölçeğinde tabaka kalınlığını kontrol edilemez ve kristal hasarları ve kirliliği oluşur. Bu dezavantajları gideren uygun bir epitaksiyel oluşuma ihtiyaç vardır.

Fabrikasyon İşlemi:
Mikro gölge maske fabrikasyonu ve epitaksiyel Si model üretiminin alt basamakları Şekil 6.10' da gösterilmiştir. Si (100) gövde temizlenir ve 1050°C' de 1μm oksit kalınlığı olacak




**Şekil 6. 10. Mikro gölge maskelerin fabrikasyonu**

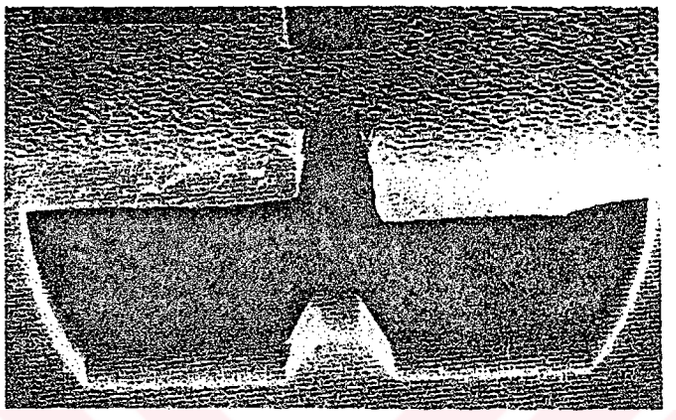
**(a) maske malzemesinin oluşturulması (b)maske**

**tabakasının modellenmesi (c) oksidin aşındırılması**

**(d)MBE oluşum [89]**

şekilde oksitlenir. 100nm kalınlığında $Si_3N_4$ 700°C' de LPCVD işlemi ile oksit tabakası üzerine oluşturulur(Şekil 6.10.a.). Nitrat tabakası $CF_4$-plazma aşındırma ile optik veya elektron huzme litografi birleşimi tarafından modellenir(Şekil 6.10.b.). Oksit Nitrat penceresinden Hidroflorik asit ile gövdeye doğru aşındırılır(Şekil 6.10.c.). Nitrat tabakası aşındırıldıktan sonra gölge maske oluşturulur(Şekil 6.10.d). Modellenen gövde son RCA temizlemeden sonra MBE sistemine transfer edilir. Si yüzeyindeki doğal oksit geleneksel yolla 900°C' de 5dakika tutularak çıkartılır.

Si' un sonraki oluşum hızı 0.08nm/s-0.3nm/s arasında değişir. Oluşum sırasında gövde sıcaklığı 400°C-750°C arasında sabit tutulur. MBE oluşumdan sonra mesa adaları oluşturulur.



**Şekil 6. 11. MBE oluşumdan sonra SEM mikrografiği [89]**

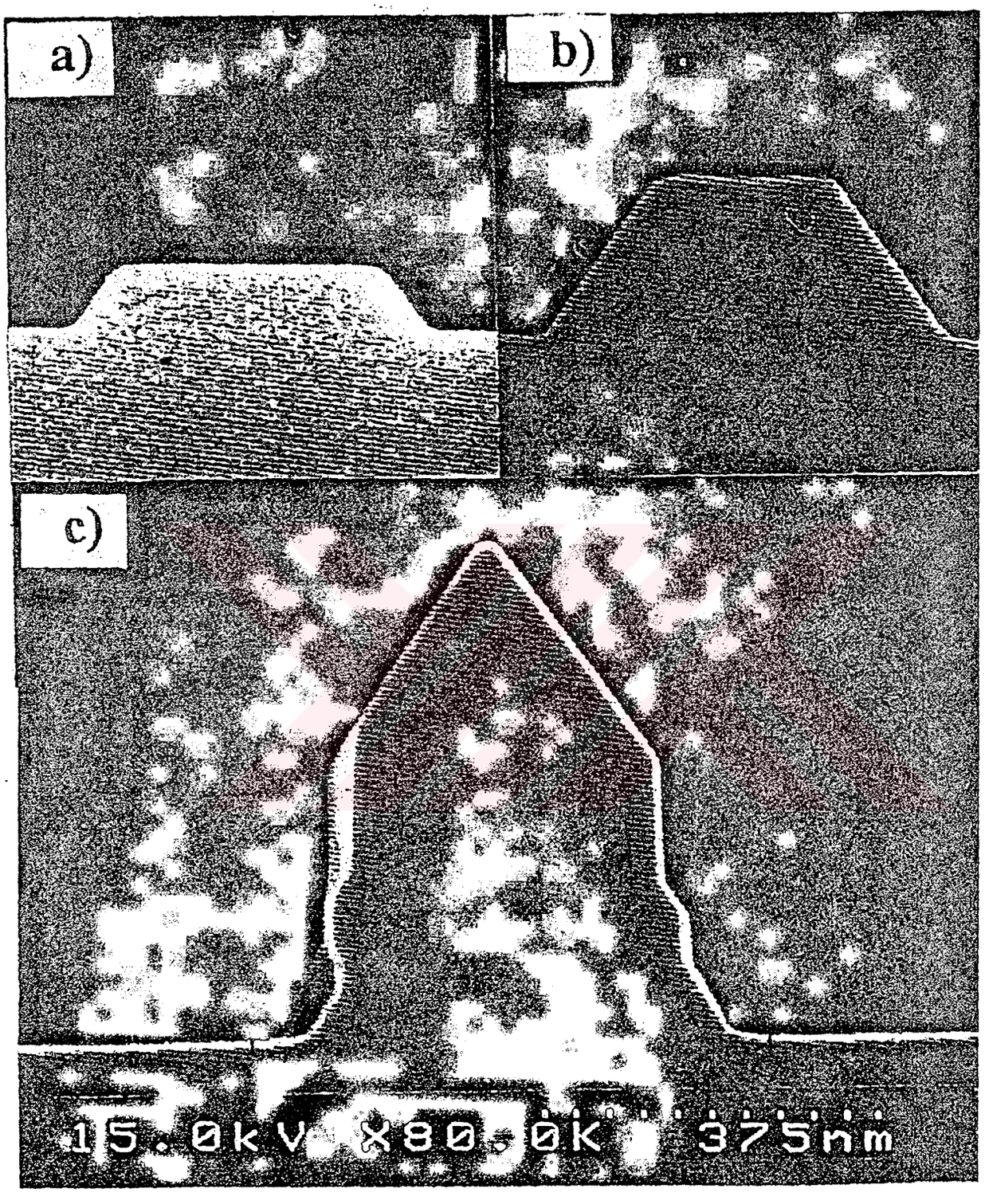
Şekil 6.11, 0,1nm/s hızlı ve 500°C' de MBE oluşumundan sonraki SEM mikrografiğini gösterir. Maskeleme modeli [110] yönü boyunca düzenlenir. Nitrat üzerinde Si' un oluşturulması gibi gölge maske modeli de açıkça görülebilir. Mesa TEM ile gerçekleştirilirse kristal kalitesi mükemmeldir. Mesa kenarlarının eğimi ve yumuşaklığı oluşum sırasındaki gövde sıcaklığına bağlıdır. Nitrat maske 400°C' den düşük sıcaklıklardaki oluşum sırasında Nitrat tabaka ile Si arasındaki basınçtan dolayı eğilir. Yani, yan duvarlar 70°-85° açıyla eğilir. 700°C' den büyük sıcaklıklarda üst poli kristal Si' da Nitrat dirseğinin kenarı boyunca taneler oluşur. Bundan dolayı, maske kenarı dalgalıdır. Bunun sonucu olarak mesanın şekli poli Si tabakası tarafından belirlenir. Ara sıcaklık bölgelerinde şekilden de görüldüğü gibi mükemmel kenarlar (111) oluşur.

Şekil oluşumu oluşum hızına ve sıcaklığına bağlıdır. Düşük oluşum hızının fiziksel olarak bir anlamı yoktur, fakat zaman söz konusu olduğunda tercih edilir.

Şekil 6.11' deki mesaya göre bir ara sonuç çıkartılabilir: Yan duvarların şekli maske açma ile 1:1 oranında değildir. Aşırı poli Si oluşumdan dolayı maskeden uzaklaşma 50nm olmasına rağmen, yan duvar düzlüğü mükemmeldir. Gövde yüzeyine göre açı yaklaşık olarak 55° dır.

Öz Birleşme Oluşum Modeli:
Mesanın şekli aşağıdaki modelle açıklanabilir: Yüzler, 54.7°'ye karşılık gelen kristalografik (111) düzlemlerdir. Bu açı değişik örnekler için değişebileceğinden öz birleşme mekanizmasının oluşumu mümkün olmaktadır. Mümkün olan görünüşler arasından en düşük yüzey enerjili olan (1.23 $j/cm^2$ ) (111) tercih edilecektir. (100), (113) ve (110) için bu enerji sıra ile 1.36 $j/cm^2$, 1.36 $j/cm^2$ , 1.43 $j/cm^2$dir.

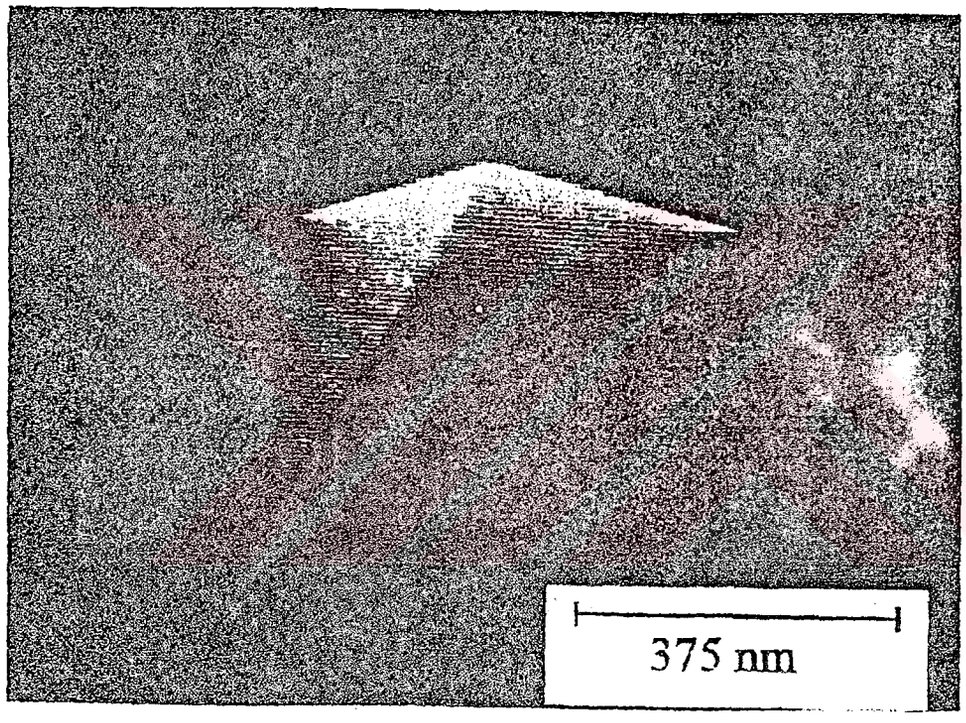
MBE süper doyumda gerçekleşebileceğinden termodinamik kararlı yüzeylerin oluşumu gibi denge özelliklerinin oluşumu gerekmeyecektir. Yüzeyin (111) en büyük alanı yüzeye (111) çarpan Si atomlarının yüzey difüzyon uzunluğuna bağlıdır.




**Şekil 6. 12. 310nm maske ile farklı durumlarda oluşturulan mesa duvarlarının SEM mikrografiği [89]**

İlk tek tabaka maske açmaya karşılık gelir(Şekil 6.12.a). Oluşum devam ederken yan duvarlarda termodinamik olarak kararlı (111) düzlemler oluşturulabilir. Dikey olarak atomların çarpması yüksek difüzyon uzunluğu $L_{111}$ 'den dolayı gölge maske boyunca devam eder. Yan duvarlarda termodinamik (111) kararlı yüzlerin oluşması için işlem yavaş yavaş gerçekleştirilir. Oluşum devam ederken (001) yüzeye bağlı (111) yön genişlemesi artmaktadır(Şekil 6.12.b). Gölge maske altındaki (111) mesa duvarlarının uzunluğu difüzyon uzunluğu $L_{111}$ ile sınırlıdır. Difüzyon limitine ulaşıldığında (111) yönünün uzunluğu sabit kalmak üzere (111) yüzeylerin sonunda dikey (011) yan duvarlar oluşur(Şekil 6.12.c).

Nano-yapıların fabrikasyonu:
Maske açmada μm altı boyutlara inildiğinde keskin uç ve kenarların üretilmesinde "**öz birleştirme oluşum modu**" kullanılır. Şekil 6.13' deki mesa, 470°C' de ve 350*350nm$^2$ maske pencere [110] yönünde oluşturulur. Bilindiği gibi yan duvarlar yeniden üretilebilir piramitleri oluşturan mükemmel (111) düzlemlerdir. Uç yarı çapı SEM' in çözünürlük sınırı 5nm' den daha küçüktür.



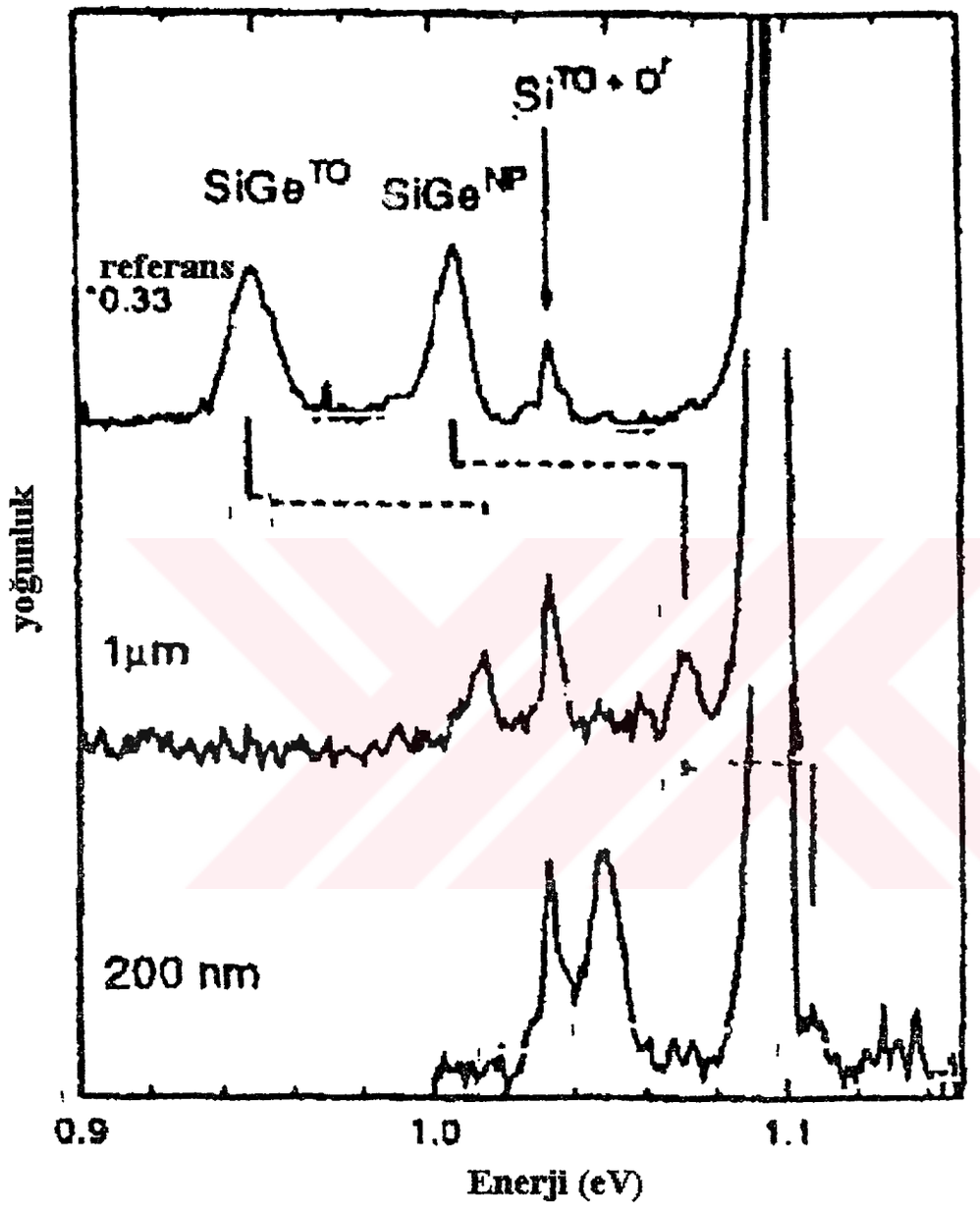

**Şekil 6. 13. 500°C' de oluşturulan 350 nm maskeli nano ucun SEM' i [89]**

Piramit yapılı şekillerle birlikte maske açma uzunluğu 1μm ve genişliği 0.3μm tutulursa çok keskin kenarlar oluşturulabilir. Bu durum Şekil 6.12' ye göre gerçekleştirilen deneylerde görülür.

Düşük boyutlu Si elemanlarda öz birleşmeli yapıların kullanılması için sonraki yüksek sıcaklıklı işlemlerin ısı kararlılığını araştırmak gerekir. Si gövdedeki dikey oluklar UHV altında 900°C 'de yumuşatma işlemine tabi tutulursa kirleneceklerdir. Eğer bu adım N atmosferde 1000°C' de bir saat süreyle gerçekleştirilirse böyle bir (111) yüzey alçalması görülmeyecektir. Yine 800°C' de bir saatlik ısı oksidasyonu yapının şeklini etkilemeyecektir. $10^5$ piramit dizisi içeren MOS kondansatörün kapasite-voltaj karakteristiği oluşan oksidin

sızıntı akımı olmadan da yoğun olduğunu gösterir. Si tabanlı nano-yapıların üretiminde bu önemli bir sonuçtur.

Sonraki teknolojik adım; kenar ve uçlar boyunca elektrik transfer davranışının kontrol ettiği alan etkisini ölçmek için omik kontakların oluşturulmasıdır.




**Şekil 6. 14. 4.5 K' de SiGe SQW PL spektrumu [89]**

Farklı yapıların boyutunu azaltmak için öz montaj oluşum modunu kullanma çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 200nm' ye varan boyutlarda SiGe kuantum gövdeler üretilmiştir. Oluşum koşulları nadiren yan duvarlarla birlikte mesaların kristal kalitesini belirler. Bundan dolayı, tamamen Si üzerine gömülü SiGe kuantum gövdelerin üretilmesi mümkündür. 2µm-200nm büyüklüğe sahip iletken ve nokta dizileri elektron huzme litografi ile modellenmiştir. Huzme ile pul normali arasındaki 20° açı daha önce açıklanan

yüzey oluşumunu önler. Bununla birlikte, yavaşça azalan mesa yan duvarları oluşur. Bu bölgedeki kuantum gövde kalınlığının azalması kuantum sınırlama enerjisini artırır. Bundan dolayı, taşıyıcılar yan duvar yüzeyine yayılamadığından radyasyonsuz oluşum hızı önemli oranda azalır. Şekil 6.14' de 4.5K' de tek SiGe kuantum gövdesinden alınan (Single Quantum Well: SQW) fotolüminans (Photo Luminescence: PL) spektrumu çizilmiştir. Örnek 140nm kalınlığında Si tampon, 5.8nm genişliğinde tek bir $Si_{0.78}Ge_{0.22}$ kuantum gövde ve 160nm Si boşluğu içerir. Sıra ile 200μm uzunluğunda, 1μm genişliğinde ve 200nm kalınlığında iletkenler oluşturulur. Karşılaştırma olarak yapısız referans bölgesinin PL spektrumu üçe bölünür. İki etki incelenecektir:

i. Oluşum sırasında difüzyon dışındaki Ge atomları ile açıklanabilecek SiGe ile ilgili sinyallerde oluşan kayma. Sabit mesa kalınlığı ve Ge' un azalması kuantum iletkendeki band boşluklarının artmasının nedeni olabilir. Sabit bir Ge atomunun kirliliği geniş iletkenlerden daha çok dar iletkenlerde söz konusudur.
ii. Alan 1μm' den 200nm' ye indirilirse SiGe tepe yoğunluğu artacaktır. Buna rağmen, SiGe alanı %14' den %3.2' ye düşecektir. Elektro dinamik etkiler de hesaba katılmalıdır. Benzer sonuçlar III-V kuantum iletken ve noktalarda da gözlenebilir.

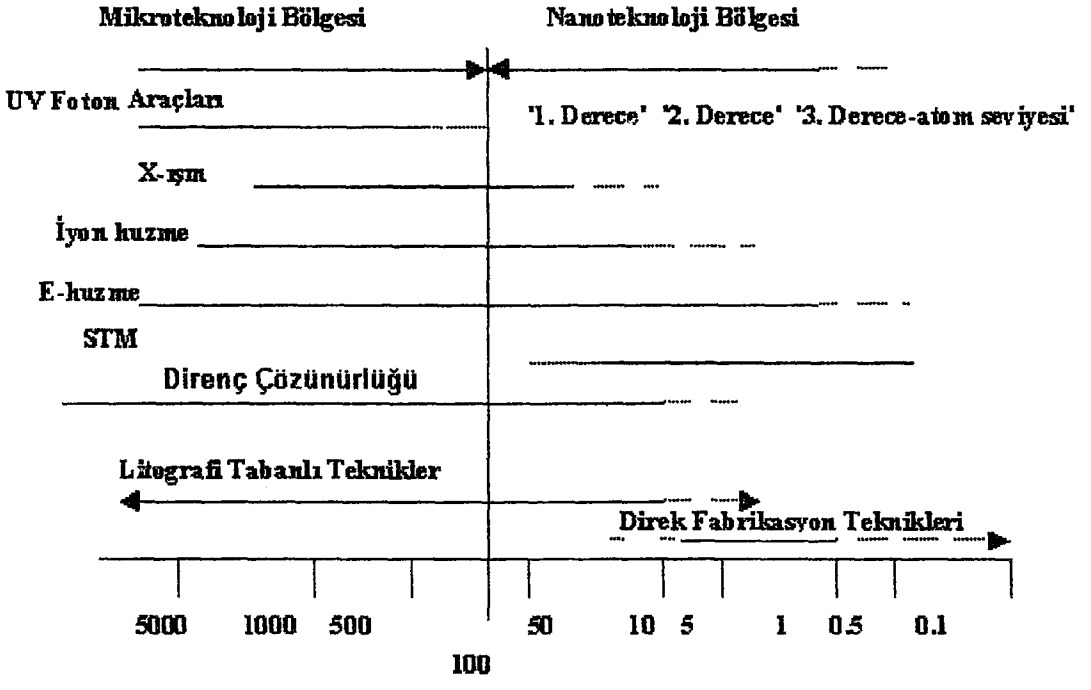
Si nano-yapıların gelişimi bir veya sıfır boyutlu elektronik elemanların nanometre litografi kullanılmaksızın oluşturulabileceğini vaat etmektedir. Deney sonuçları farklı yapılarda olduğu gibi MOS elemanlarının da üretilebileceğini göstermiştir. [89]

### 6.1.1.5 Cihaz üreticileri açısından nanolitografi gereksinimleri

EBL(Electron Beam Litography: EBL) sistemini oluşturan çeşitli parça teknolojileri, mikrolitografi alanında kullanılmak üzere Ar-Ge çalışmalarına konu olmuştur. Bu önemli parça teknolojileri '**birinci derece (100nm-10nm)**' nanolitografik yapılardan başlanmak üzere ölçeklendirilmiştir.

Bu durum elektron optik cihazlarında "**ikinci derece (10nm-1nm)**" ve "**üçüncü derece atom aralığı (1nm-0.1nm)**" boyutlarındaki huzme çapı için kesinlikle geçerlidir (Şekil 6.15). Böyle bir çözünürlük Tarama Transmisyon Elektron Mikroskop (Scanning Transmission Electron Microscope: STEM) ve SEM ile mümkündür. Böyle elektron optik sistemlerin nanolitografi amaçlı kullanılması için bir çok araştırma yapılmaktadır.

Bu çalışmaların ana amacı bilinen direnç çözünürlüğünden daha küçük huzme nokta büyüklüğünü elde etmektir. Genellikle 10nm huzme doğrusal saçılmasından dolayı tercih edilir. Bu çözünürlükteki litografi cihazlarının karakteristikleri uygulamaların sınırlı araştırmalara dayanmasından dolayı düşük öncelik veya düşük hassasiyette verilmiştir. Nokta boyunca ölçülen bu hassasiyete '**nano-pozisyon**' hassasiyeti denir. Tablo 6.4' de daha önceki nanolitografi cihazlarının bazı özellikleri özetlenmiştir.




**Şekil 6. 15. Fabrikasyon cihaz ve boyut spektrumu [88]**

**Tablo 6. 4. İlk nanolitografi gereksinimleri [88]**

| Litografi Parametreleri | Kalite Gereklilikleri |
|---|---|
| Birincil Parametreler | |
| Minimum hat genişliği | Mümkün olduğu kadar küçük |
| Yüzey hassasiyeti | Genellikle tek seviye modelleme |
| Verim | Önemsiz kabul edilir 'zayıf araştırma' |
| İkincil Parametreler | |
| Gövde düzenlemesi | Birkaç $mm^2$ |
| Model karakteristikleri | Basit nokta veya hat dizileri 'birkaç yüz veya bin şekil' |
| Model uzantısı | 100$\mu m^2$ den küçük |
| Cihaz Parametreleri | |
| Huzme enerjisi | En az 50keV, tercihen 100keV veya daha fazla |
| Çalıştırma | Temel olarak manuel |

Ticari Sistemler:
Sistemdeki ana huzme yerleşim ızgarasının iki önemli parçasının çözünürlüğünün artırılması gerekir: Birincisi, genellikle 15 bit dijital hassasiyetteki model yazma ızgarasıdır. Huzme sapma alanının 100 mikron seviyesinde olması gerekir. Böylece yazma ızgarası nokta büyüklüğünden daha küçük olacaktır.

İkincisi, ızgara lazer interferometer ile tanımlanan gövde metroloji sistemidir. Bu ızgaranın büyüklüğü huzme pozisyon integritesi ve piksel dozajı ile belirlenir. Kullanılan dalga boyu aralığı $\lambda/120$ olup 5.3nm ızgaradır.

Tablo 6.5 'Birinci derece' nanolitografi cihazı olan EBPG-5HR'nin özelliklerini göstermektedir. Tablo 6.6 ise düşük maliyetli cihaz özelliklerini özetlemektedir.

**Tablo 6. 5. 'Birinci derece' cihaz özellikleri [88]**

| EBPG-5HR NANOLİTOGRAFİ SİSTEMİ | |
|---|---|
| **Huzme enerjisi** | **20.50 & 100keV** |
| **Minimum nokta alanı** | **<10nm** |
| **Kaynak tipi** | **$LaB_6$** |
| **Alan** | **164-1000mikron** |
| **Model jeneratörü** | **15Bit/10Mhz** |
| **Gövde alanı** | **Parça-6 inch** |
| **Adım kolaylığı** | **5 inch x&y lazer karışımmetre (5.3nm) (interferometer)** |
| **Yüzey kolaylığı** | **Adım metroloji, huzme/işaret kaydedici** |
| **Dedektörler** | **Faraday kabı-kuad BSE dedektör, odak düzlem sensör** |
| **Kontrol** | **Otomatik** |
| **Model girişi** | **Endüstri derleyici, CATS/CAPROX, GDS/CIF ve diğerleri** |

En büyük huzme enerjisi 100kVtur. Bu enerji optimum elektron saçılmayı sağlamakla beraber çözünürlüğü de artırır.

**Tablo 6. 6. Düşük maliyetli cihaz özellikleri [88]**

| EBL 100NANOFABRİKASYON CİHAZI | |
|---|---|
| Huzme enerjisi | |
| SEM Modu<br>Fabrikasyon Modu | 30keV max<br>100keV max |
| Kaynak tipi | $LaB_6$ |
| Minimum nokta alanı | <10nm |
| Alan | <10μm-2mm |
| Gövde alanı | 2-3 inch gofret veya parçalar |
| Adım kolaylığı | X,y,z eğim&dönme SEM mod,<br>Düz x,y Fabrikasyon mod |
| Adım geçişi | Motor sürücülü ±1 mikron |
| Yüzey kolaylığı | Huzme/işaretleme kaydedici |
| Kararlılık/çözünürlük | <5nm |
| Dedektörler | Faraday kabı-SE&BSE dedektör,<br>Bıçak kenarı & TE dedektör |
| Model girişi | GDSII/CIF derleyici, CAPROX/VIP |
| Seçenekler | Odak düzlem sensör, metroloji adımı, TFE kaynak |

Dünya çapında yaklaşık olarak 20 çeşit sistem kullanılmaktadır. Garanti edilen çözünürlük 30nm olmakla beraber 20nm olanları da vardır.

Bu sistemler kuantum etkili çalışmalar ve nano kapı boyutlu transistorlarda kullanılan farklı eleman yapılarını da içeren çeşitli uygulamalarda kullanılır. EBPG-5HR, 100nm sınırına kadar hassas uygulamalarda kullanılabilir.

Nanofabrikasyon teknoloji cihazlarının gelişimini sağlayan kullanıcı isteklerinin artmasıdır. Sistem performansını artıran ve kullanıcı isteklerini belirleyen etkenler pozlandırma, çözünürlük ve maliyettir. [88]

### 6.1.1.6 Nano ölçekli elemanların mimarisi

Elektronik sistemlerde yüksek performans ve düşük maliyet her zaman birinci öneme sahiptir. 20.yy'ın sonuna doğru mikrobilgisayarların ve hücresel iletişim sistemlerinin varlığına şahit olmaktayız. Bu sistemler hesaplama gücü ve bellek özelliklerinin gelişimi ile kurulmuştur. Daha iyi sistemlerin geliştirmek, daha düşük güç harcamak, her an ve her yerde bilgiye ulaşmak ve iletişim kurmak, multimedya ve taşınabilir kişisel dijital cihazlar geliştirmek değişmez amaçlardır. Görüntü ve konuşma gibi gerçek zamanlı uygulamalar, robotlar ve diğer sinyal işleme uygulamaları yüzlerce gigaflop (gigaflops) işlem hızında gerçekleştirilir. Eleman büyüklüğünün nanometre boyutlara ölçeklendirilmesi istenilen performansın elde edilmesinde etkin rol oynamaktadır.

Küçük alanlı elemanların avantajı, fonksiyon başına düşen elemanı çalıştırmak için gerekli enerjinin elemanın fiziksel büyüklüğü ile ilgili bilgileri tutmak için kullanılabilmesidir. Bununla rağmen, genel bir kabul olan '**eleman performansının geliştirilmesi sistemin performansını otomatik olarak artırır**' görüşü doğru değildir. Böyle sistemlerin nano ölçekli elemanlarla gerçekleştirilmesi karşısındaki tek engel bu elemanlara uygun sistem mimarilerinin bulunmayışıdır. Mimarinin modülerliği, yerleşimi ve eleman ile alt sistemler arası bağlantıların uzunluğu "**eleman performansını geliştiren ölçeklendirme**" teorisi ile belirlenirse de sistem performansının geliştirilmesinde ters etki yapar.

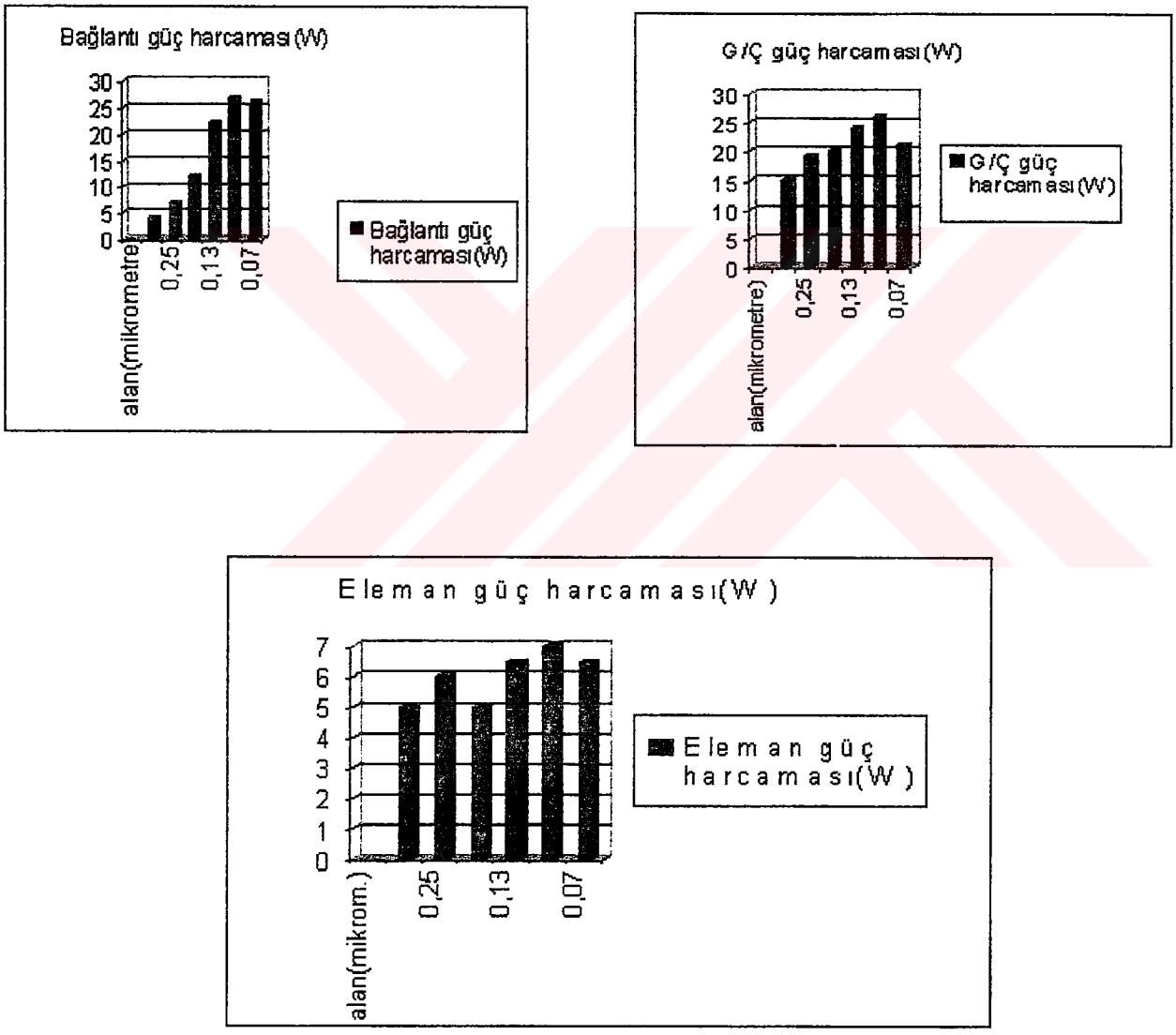
Aynı zamanda bilgisayar mimarisi iyi ölçeklendirilmemiştir. Bu mimaride elemanları birbirine bağlamak için gerekli toplam bağlantı uzunluğu tasarım kurallarının ölçeklendirilmesi ile hızla artmaktadır. Tablo 6.7 tasarım kuralları 0.35μm' den 0.07μm' ye ölçeklendirildiğinde tüm tabakaların tahmin edilen toplam iletken ara bağlantı uzunluklarını göstermektedir. Bağlantı uzunluğunun artırılması ara bağlantı kapasitesinin artmasına neden olur. Sistem saati bu ek kapasiteyi sürmek zorundadır. Saat sürücülerinin büyük kapasiteleri sürmeleri için harcadıkları güç artacaktır. Gelecekte saat hızları "**ölçeklendirme**" teorisi kullanılarak hesaplanandan daha küçük olacaktır. Geleneksel Von Neumann mimarisinde elemanın hızının ölçeklendirme ile artırılmasına tam olarak izin verilmektedir.

**Tablo 6. 7. Toplam ara bağlantı uzunluğu-minimum alan ilişkisi [90]**

| Uzunluk(m) | minimum boyut(μm) |
|---|---|
| 0 | 0.35 |
| 1000 | 0.25 |
| 2000 | 0.18 |
| 4000 | 0.13 |
| 6000 | 0.10 |
| 10000 | 0.07 |

Güç harcanması dinamik ve statik işlemlerden oluşur. Dinamik güç harcaması akaç, kapı kapasiteleri ve çalışma voltajı düşürüldüğünde azalacaktır. Saat frekansının artırılması da bu azalmada diğer bir etkendir. Zar üzerindeki bütün elemanların toplam güç harcaması zardaki eleman sayısına göre değişecektir. Buna rağmen, Grafik 6.1' de görüldüğü gibi bağlantı kapasiteleri ve çıkışın sürülmesinde harcanan güç gücün çoğunu oluşturur. Hesaplamalarda 50pf yük ve bütün kapıların ve G/Ç anahtarlarının sadece %10' unu içeren çıkış sürücü kaynağı kullanılır. Hava soğutmalı ve taşınabilir sistemlerde 50W paket gücü harcaması kabul edilemeyen güç harcamasıdır. Bu hesaplamalarda statik güç harcaması ihmal edilmiştir. Buna rağmen, elemanı tamamen pasif duruma getirmek için yetersiz dalgalanma ve bu dalgalanma eşik altı akımından dolayı küçük boyut etkisi ve düşük eşik voltajı oluşur. Bu ihmal edilemez akım taşınabilir bilgisayar ve iletişim sistemlerinde statik güç harcamasını kabul edilemez seviyelere yükseltmektedir.

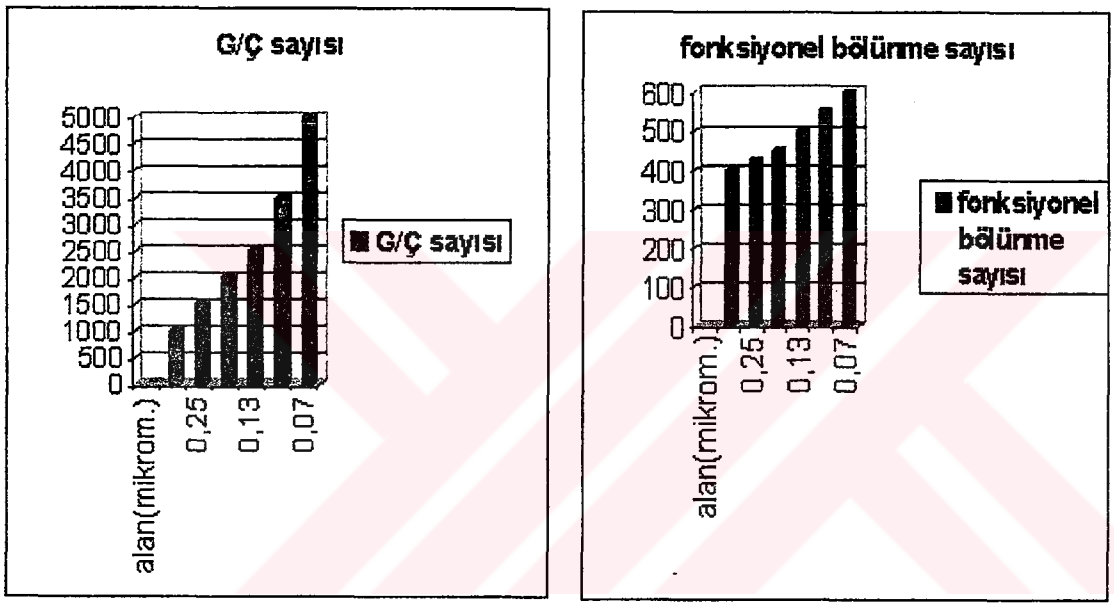
**Grafik 6. 1. Güç harcaması-minimum alan ilişkisi [90]**




Bölgesel bağlantılı mimariler:
Bu problemlerin üstesinden gelmek için hücresel otomata (Cellular Automata), hücresel nöral ağlar (Cellular Neural Network) ve bölgesel adaptasyonlu nöral ağlar (Locally Adoptable Neural Network) gibi bölgesel ara bağlantılı mimarilerin kullanılması önerilmektedir.

Bu mimarideki toplam bağlantı kapasitesi geleneksel mimariden daha düşüktür. Bu sonuç, bu sistemdeki hesaplamanın ve bilginin bölgeselliğinden kaynaklanmaktadır. Bölgesel ara bağlantılı mimaride bilgiler en yakın komşuya gönderilir ve bellek Von Neumann mimarisindeki uzak mesafe yerine hesaplama alanındadır. Bundan dolayı, bu sistem uzun bilgi hattı gerektirmemektedir. Bu mimari evrensel olmasına rağmen, daha çok görüntü işleme, özellik ayırt etme, konuşma ve görüntü tanıma sensörü ve diğer gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılırken mimari aynı zamanda paralel işlemeyi de mümkün kılmaktadır. Paralel işleme potansiyelinin bilinmesine rağmen, pratik olarak gerçekleştirilmesi zordur. Paralel işleme saat hızını, besleme voltajını ve sistem hızını sabit tutarak güç harcamasını önemli oranda azaltır.

**Grafik 6. 2. Geleneksel ve bölgesel ara bağlantılı mimarilerde G/Ç sayısı-minimum alan ilişkisi [90]**




G/Ç gerçek güç harcayıcısıdır. Fonksiyonel ve bölgesel ara bağlantılı mimarilerdeki G/Ç sayısı geleneksel mimariden daha azdır. Bu fark Grafik 6.2' de gösterilmiştir. Fonksiyonel ve bölgesel ara bağlantılı mimariler Tablo 6.8' de görüldüğü gibi güç harcamasını kabul edilir seviyede tutarak eleman performansını artırırlar. Böylece sistem performansı geliştirilir.

**Tablo 6. 8. Geleneksel ve bölgesel ara bağlantılı mimarilerde toplam güç harcaması-minimum alan ilişkisi [90]**

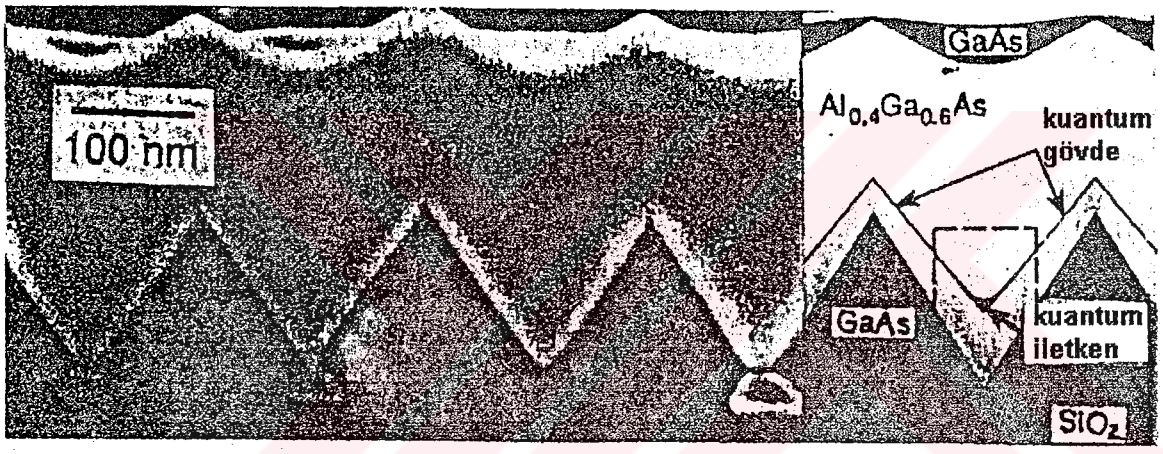
| minimum boyut (µm) | Pd(W) |
|---|---|
| 0,35 | 20-30 |
| 0,25 | 30-40 |
| 0,18 | 30-40 |
| 0,13 | 50-60 |
| 0,1 | 60 |
| 0,07 | 50-60 |

Ölçeklendirme elemanları ile nanometre boyutlara inilerek eleman performansı önemli miktarda geliştirilmektedir. Buna rağmen, bu gelişmeyi sisteme yansıtmak için sistem mimarisinde global bilgi ve iletişim yerine bölgesel bilgi ve iletişimlerin kullanılması gerekmektedir. [90]

### 6.1.2. Kuantum Teknolojisi

#### 6.1.2.1 Kuantum Hat Fabrikasyonu

GaAs kuantum yollar $SiO_2$ gövde üzerine MOCVD ile oluşturulur. Bu oluşumda V-oluk tekniği kullanılır. Bu oluşum tekniğinin en önemli özelliği, V-oluk epitaksiyel olarak gerçekleştiğinden üçgen şekilli kuantum yolları oluşturan V-oluk kenarında keskin köşelerin oluşmasıdır. Kuantum yol malzemesi GaAs' in oluşum zamanı değiştirilerek değişik yatay genişlikli kuantum yollar elde edilir. Şekil 6.16 ~10nm, ~15nm, ~25nm, ~35nm yatay genişlikli kuantum yolların yüksek çözünürlüklü SEM' ini göstermektedir. Bu teknik kullanılarak 7nm yatay genişlik elde edilebilir.



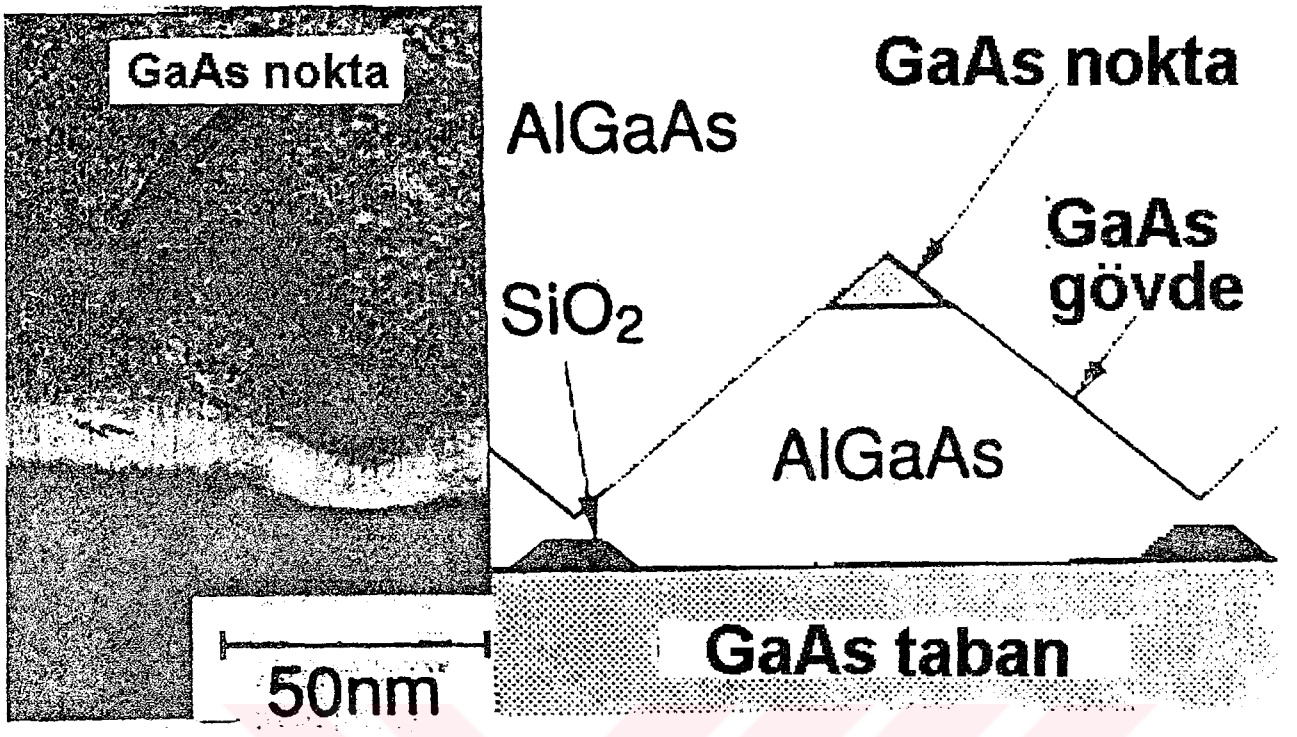

**Şekil 6. 16. ~10nm, ~15nm, ~25nm, ~35nm yatay genişlikli kuantum yolların SEM' i [89]**

Fotolüminans (PhotoLuminescence :PL) ölçümü yatay genişlik azalması ile kuantum yolun PL tepesinin mavi kaymasını gösterir ve enerji kayması hesaplama ile açıklanabilir. PL ölçümü yapılardaki kuantum yol etkilerini belirleyen önemli bir araçtır. Bununla birlikte, daha fazla çalışmalara ihtiyaç vardır. Bunun sonucunda, 1992'de magneto-PL ölçümü gerçekleştirilmiştir. Burada, değişik yatay boyutlardaki (7-30nm) GaAs kuantum yolların magneto-PL spektrumu tartışılacaktır. Kuantum yollara 40 T' ye kadar manyetik alan dikey olarak uygulanır. PL tepe pozisyonu manyetik alan ile değişmekte ve QWR yapıların yatay genişliği arttıkça enerji kayması azalmaktadır.

#### 6.1.2.2 Kuantum Nokta Fabrikasyonu

GaAs kuantum noktalar da MOCVD ile $SiO_2$ modelli (100) GaAs gövde üzerine oluşturulur. Maskeler 140nm periyotlu 100nm*100nm'lik pencerelerden oluşur. Birinci olarak, $SiO_2$ maske üzerinde $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ duvarı oluşturulur. Sonra GaAs, AlGaAs duvarının üzerine oluşturulur. $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ oluşturularak GaAs kuantum noktalar $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$' ye yerleştirilir.

Şekil 6.17 AlGaAs ile çevrelenen GaAs' in kesitini göstermektedir. Kuantum noktaların yatay genişliği 25nm*25nm'dir.




**Şekil 6. 17. Yatay genişliği 25nm olan GaAs kuantum noktanın SEM fotoğrafı [89]**

Bu küçük yapıda PL gözlenebilir. PL tepenin kuantum nokta bölgesinde ölçülen enerji kayması 18meV'tur. Bu enerji kaymasına yatay elektronların sebep olduğu düşünülmektedir. PL tepenin yarım maksimum tam genişliği (Full Width of Half Maximum : FWHM) kuantum yollara göre daha geniştir. Bununla birlikte, GaAs'in foton enerjisinde düşük enerjili lüminans görünür. Yaygınlığın kusurlardan değil, kuantum noktaların büyüklük farklılıklarından kaynaklandığı anlaşılır. Ölçümde aynı anda 100.000' den fazla kuantum nokta incelenmiştir. AlGaAs' ye yerleştirilmiş serbest (basınçsız) GaAs kuantum noktalarında yatay genişliğin en küçük olduğuna inanıyoruz. [89]

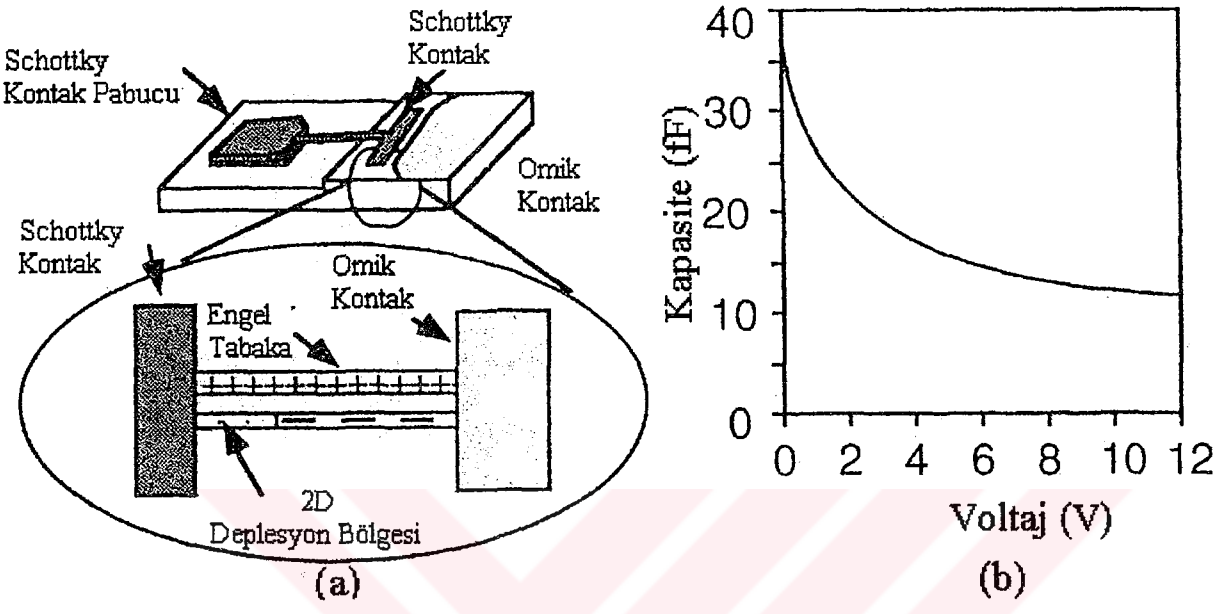
### 6.1.3. Birleşik Boyutlu Teknoloji

Bütün yarıiletkenlerin farklı bölgeleri arasında arafaz kullanırlar: Omik, p-n jonksiyon, Schottky engel jonksiyonu, farklı arafazlar, yarıiletken arafazı vb. Arafazlar farklı bölgeleri ayıran düzlemlerdir. Son zamanlarda yeni bir yarıiletken eleman ortaya çıkmıştır. Bu elemanlarda farklı boyutlu yarıiletken bölgeleri arasındaki arafazlar kullanılır ve "**birleşik boyutlu**" (heterodimensional) eleman olarak adlandırılırlar. Böyle bir arafaz örneği iki boyutlu (2D: 2 Dimensional) elektron gazı ve üç boyutlu (3D: 3 Dimensional) metal arasındaki Schottky engelidir. Diğer mümkün konfigürasyonlar iki boyutlu elektron gaz ve iki boyutlu Schottky metal arası arafaz, bir boyutlu elektron gaz ve üç boyutlu Schottky metal arası arafazdır.

Farklı birleşik boyutlu Schottky bağlantıları bir çok genel özelliğe sahiptir: Küçük etkili kesitten dolayı küçük kapasite, geniş deplesyon bölgesi, 2D elektron gazına bağlı olan yüksek taşıyıcı mobilitesi, küçük elektrik alanı ve yüksek kırılma voltajı (Geniş deplesyon alanı

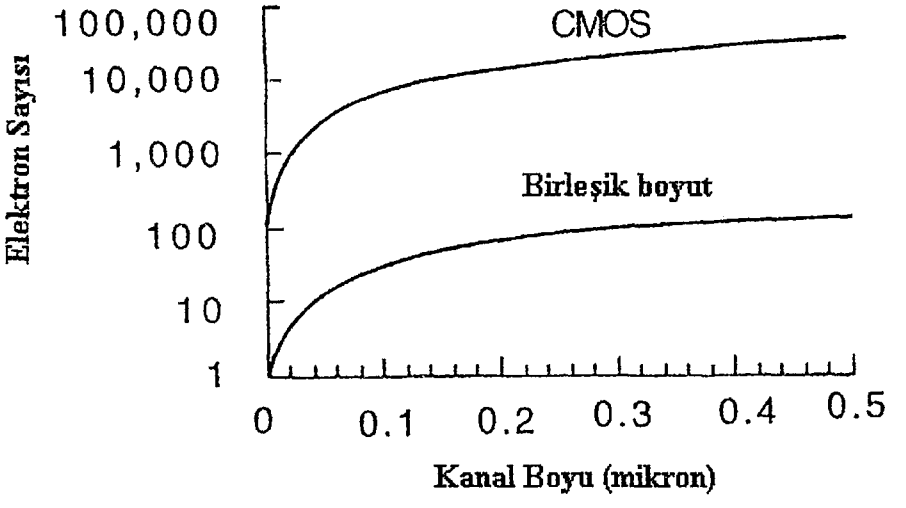
elektrik alanının saçaklanmasından oluşur.).Bu özelliklerden dolayı, bu elemanlar yüksek frekanslı varaktör ve mikserlerde kullanılır.

Bu yeni jenerasyon elemanları bir metal ve 2D elektron gaz arasındaki Schottky katkılarını kullanarak açıklayacağız. Bu yeni yüksek hızlı birleşik boyutlu kontaklar benzersiz karakteristiğe sahip olup milimetre dalga boylu elektronik, yüksek hız ve çok düşük güçlü tümdevrelerde kullanılırlar. Bu elemanlar yeni birleşik boyutlu Schottky diyod (Şekil 6.18) ve transistorlardan oluşur.




**Şekil 6. 18. Birleşik boyutlu Schottky diyodu (a) şematik yapısı (b) kapasite-voltaj karakteristiği [90]**

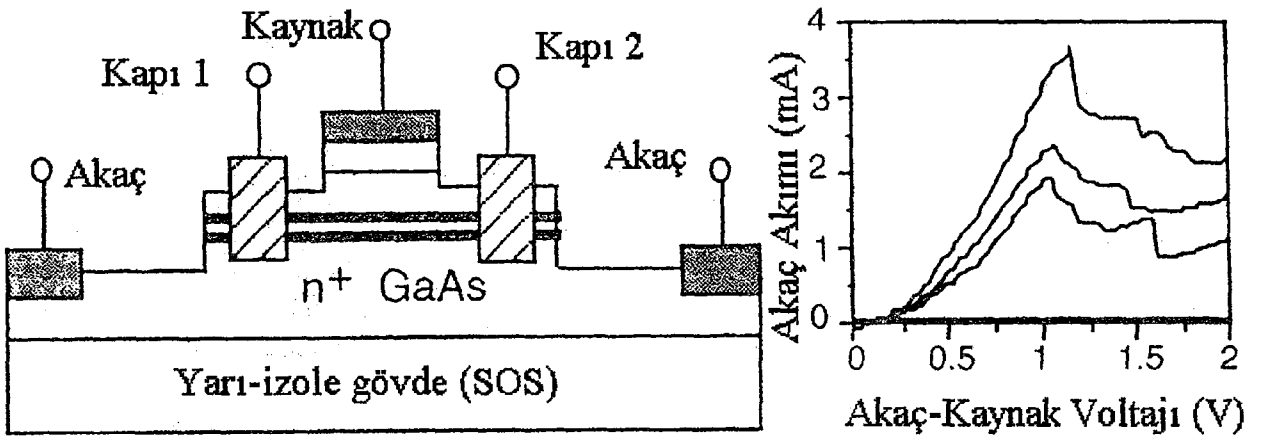
Birleşik boyutlu transistorlar küçük bir alana ( $0.5*0.8\mu m^2$) sahiptir. Bu küçük alanın küçük kapı-kanal kapasitesi ve küçük parazitik kanal kapasitesi hemen hemen ideal bir performans gösterir (Şekil 6.19).




**Şekil 6. 19. Kanal genişliği-elektron sayısı değişimi [90]**

### 6.1.3.1 Birleşik Boyutlu Transistor

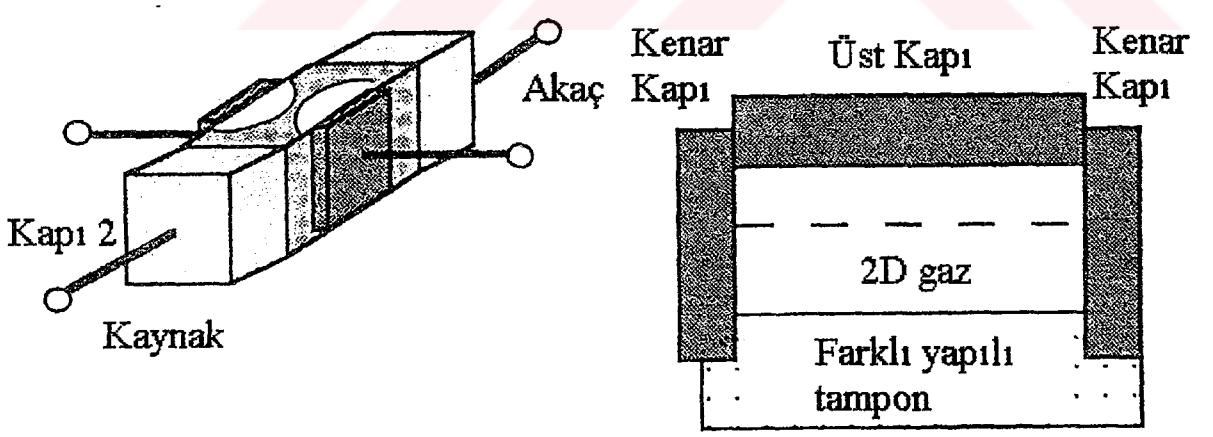
Schottky kapılı rezonans tünel transistor (Schottky-Gated Resonant Tunelling Transistor :SG-RTT) oda sıcaklığında yüksek iletkenlik göstermiştir (Şekil 6.20).




(a) (b)

**Şekil 6. 20. (a)RTT' in şematik yapısı (b)RTT akım-voltaj karakteristiği [90]**

İkinci transistor doğal iki boyutlu MESFET (2D MESFET)'tir (Şekil 6.21.a). 2D MESFET kapının iletken tabakaların kenarlarına yerleştirilmesi dışında HFET' e benzemektedir. Bu elemanda iletken tabaka 2D elektron gaz olup psedomorfik AlGaAs/InGaAs birleşik yapısındadır. Schottky tarafındaki kapılar hem 2D kanal genişliğini belirlerler hem de akaç-kaynak arası akımı kontrol ederler. Kapılar iletim tabakasının aşındırılması ve dirençli maske duvarı üzerine Pt/Au' un elektro-plakalanması ile oluşturulur. Aksi halde, geleneksek HFET tekniği kullanılır.




(a) (b)

**Şekil 6. 21. (a) 2D MESFET şeması (b) koaksiyel MESFET [90]**

Diğer bir eleman Şekil 6.21.b' de görüldüğü gibi koaksiyel MESFET' tir. Koaksiyel MESFET' de elektron gazı dört köşe ile sıkıştırılır ve üç köşe ile kontrol edilir: Schottky kapı üstü ve iki Schottky kapı köşesi ile. Kanaldaki 2D gazdan 1D gaza geçen elektron

yoğunluğunu birkaç elektron seviyesinde hassasiyette kontrol imkanı sağlar. Dar kanal etkisini ortadan kaldırdığı için düşük güçlü ve yüksek hızlı tümdevre uygulamalarında kullanılır. Düşük güçlü teknoloji için parazitik ve kapı kapasitelerinin azaltılması gerekir. Koaksiyel MESFET çok keskin kısılmaya ve çok küçük sızıntı akımına sahiptir.

### 6.1.3.2 Üç Boyutlu Modelleme

2D MESFETlerin tasarımı, optimizasyonu ve devre simülasyonu üç boyutlu (3D: 3 Dimensional) modelleme gerektirir. Böyle bir modelleme 2D MESFET entegrelerin gelişiminde de gereklidir. Bugüne kadar birleşik yapılı elemanları simüle edecek üç boyutlu eleman simülatörü yapılamamıştır. 2D MESFET simüle edecek 3D simülasyonu, birleşik yapıları modelleyen ATLAS-II 2D eleman simülatöründeki farklı kapı öngerilimli elemanların iki boyutlu nümerik simülasyonu ile sağlanır. Elde edilen 2D nümerik simülasyon sonuçları üç boyutlu dağılımı belirleyen analitik teorinin girişi olarak kullanılır. Ölçülen ve hesaplanan bilgilerin uyumu yeni simülasyon yaklaşımının geçerliliğini ortaya koyar. Bu genel yaklaşım 2D FET modellemeye benzer olup dar kanallı CMOS, kısa ve dar kanal ince film transistor, çevreleyen kapı transistor, DELTA transistor ve diğer 3D modellemenin gerektiği elemanlara uygulanabilir. [90]

### 6.1.4 Kırmık Ölçek Modül Entegrasyonu

Giriş:
Bugün elektronik üreticiler büyük fonksiyonel, yüksek performanslı ve düşük maliyetli malzemeler üretmek zorunda kalmışlardır. Haberleşme sahasında bilgisayarın kullanılması da yeni tehlikeleri beraberinde getirmiştir. Müşteriler yüksek seviye entegrasyonlu komple çözümleri talep etmektedirler. IC üreticileri sistem seviyesinde performansı artırmak için aynı tehditlerle karşı karşıyadır.

Geçmişte eleman entegrasyonu yeni ihtiyaçları karşılayabiliyordu. Bugün ise bir kırmık üzerindeki sistem farklı fonksiyonları ve farklı transistor teknolojilerini tek bir pakette gerçekleştirmelidir. Tasarımcılar bellek ile lojiği, karışık sinyal uygulamaları ile dijitali ve tümdevre pasif elemanları ile aktif devreleri birleştirmeyi ümit etmektedirler. Maalesef, sözü edilen birleştirmelerin gerçekleştirilmesi karışıklığı artırdığından üretim işlemleri maliyeti de artmaktadır. Aynı zamanda, yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi de olumsuz yönde etkilemektedir. Gürültülü dijital devreleri gürültüye duyarlı analog devrelerle üretmek zordur. Tümdevre DRAM fabrikasyonu ayrık DRAM' dan daha masraflıdır. Bazı durumlarda tümleştirme imkansız olabilir. Örneğin; yüksek frekanslı haberleşmede en yüksek performansı elde etmek zorunluluğundan tümdevrede olamayacak yüksek kaliteli (yüksek Q) pasif elemanları içeren devrelere ihtiyaç vardır.

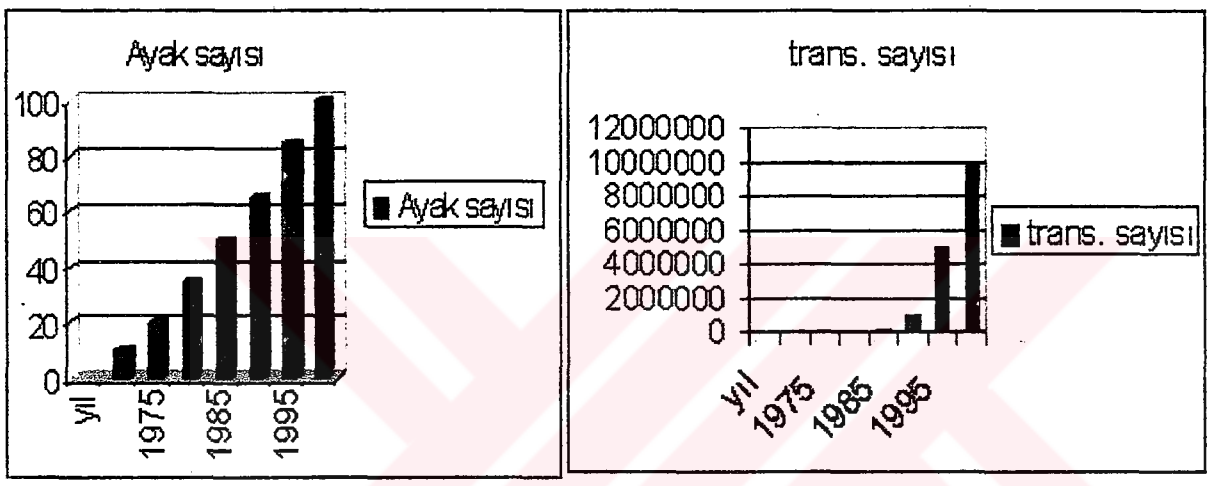
Yeni seviye tümleştirme ve yeniliklerin 21.yy'ın devre ve sistem ihtiyaçlarını karşılaması gerekir. Mikro-sistem tümleştirme teknolojisi (Micro-Systems Integration Technology:MSIT) verimliliği sistem elemanlarını akıllıca kullanarak sağlamaktadır. Amaç; bir tek kırmık performansını istenilen seviyede gerçekleştirmek veya aşmak ve istenilen sistem entegrasyonunu gerçekleştirmek için her bir kırmık teknolojisi ile uzlaşmadan tümleştirme engellerini ortadan kaldıran kırmık ölçekli modüller (Chip-Scale Modules: CSM) üretmektir.

CSM platformunda her biri kendine has işlemlerle tasarlanmış ve üretilmiş ICler kullanılır. Gürültü özelliği hariç analog ve dijital devreler sanki entegrasyonla bir araya getirilmişlerdir. Bellek ve lojik devreler düşük maliyetle küçük bir alanda entegre edilebilirler. Yüksek

frekanslı devreler yüksek-Q özellikli pasif elemanlar ile üretilebilirler ve fark edilebilir bir geliştirilmiş performansa sahip olurlar.

Tehlikeler:
Bugünkü elemanlar sistem entegrasyonunu sınırlamaktadır. Elemanlar ise içinde oldukları paketin performansı ile sınırlandırılabilir. Giriş/Çıkış (G/Ç) kanal sayısı sınırlıdır, ara bağlantılarda sinyal gecikmesi olur ve ara bağlantılardan sinyalleri geçirmek için daha fazla güç gerekir. Bununla birlikte, IC' yi alt sistemlere bağlayan geliştirilmiş IC teknolojisi ile paket teknolojisinde büyüyen bir eşitsizlik vardır. IC tasarımcıları kırmık teknolojisini sadece kırmık çevresi içinde geliştirmektedir. Paketleme teknolojisi ise kırmık teknolojisinden daha çok piyasa uygulamaları tarafından kontrol edilmektedir.

**Grafik 6. 3. Paket ayak sayısı-transistor sayısının karşılaştırılması [91]**




**(a)** **(b)**

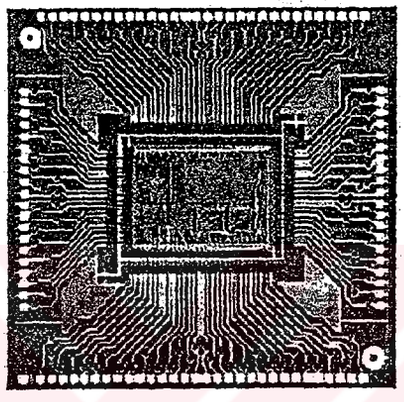
Grafik 6.3. tek bir kırmık üzerindeki transistor sayısının artışı ile paketin G/Ç ayak sayısının artışını karşılaştırmaktadır. Paket ayak sayısı VLSI teknolojisi gerekliliklerinden dolayı düşmeye devam etmektedir. İki eğri birbirinden uzaklaştıkça paketleme teknolojisi eleman fonksiyonelliğini, G/Ç sayısını veya basitçe performansı kısıtlamaktadır. Elemanın tam olarak kabiliyeti pakette olması ile anlaşılır. Geleneksel pakette 100MHz ile çalışan bir kırmık elektrik gerekliliklerin sağlandığı bir kırmıkta 400MHz ile çalışabilir. Özellikle yüksek hızlı kırmıklar arası iletişimde engeller azalmaktadır.

Her bir IC' in performansının etkilenmesine ek olarak yüksek frekanslı devrelerde olduğu gibi paketleme direk olarak alt sistemin frekansını etkileyebilir. Direnç, kondansatör ve bobin gibi basit eleman paketleri paket yapısından ve bağlantılarından kaynaklanan frekans cevabı modellenmesinin zorluğundan dolayı alt sistemlerin performansını olumsuz olarak etkileyebilir.

Yeni bir tasarım paradigması :
Yukarıda anlatılan tümleştirme seviyesini gerçekleştirmek, alt sistem ve paketleme sınırlamalarını ortadan kaldırmak için yeni bir tasarım paradigması geliştirilmelidir. Alt sistemler arasında bir sinerjizm olmalıdır. Tasarım felsefesi; ürün performansı için IC ve paketlerin tümleştirme seviyelerini bir araya getiren ve IC ve paketleme ile sınırlanmayan bir ürünü tasarlamak için alt sistem, IC ve paketleme tasarımcılarının birlikte çalışmasını gerektirmektedir.

Yeni tasarım felsefesinin kabul edilmesi ve CSM platformunun kullanılması ile sistem seviyesinde performans önemli oranda artarak masraf hedeflerine ulaşılabilir ve küçülme sağlanabilir. Daha önce belirtilen tümleştirme teknolojik olarak imkansızdır veya çok fazla bir maliyet gerektirir. Bununla birlikte, CSM son paket içindeki kırmık çevresini sürdürdüğünden IC' in iş performans kabiliyetinin tüm avantajlarını barındırır.

CSM Teknoloji Platformu:
CSM destek elemanları ile birlikte ayrı zar şeklinde bir entegrenin direk entegrasyonuna dayanır. Bir IC' in diğerine direk olarak bağlanması ile veya ortak Si ara bağlantı gövdesi üzerinde bir veya daha fazla IC' in ve diğer elemanların bağlanması ile gerçekleştirilir(Şekil 6.22). Her iki durumda da flip-kırmık tekniği kullanılır. Elde edilen ünitenin fiziksel büyüklüğü (boyutu) IC ile aynıdır. Kırmık üzerindeki elektriksel çevre ara bağlantı mesafesi azaltılarak oluşturulur.



**Şekil 6. 22. Bir CSM örneği [91]**

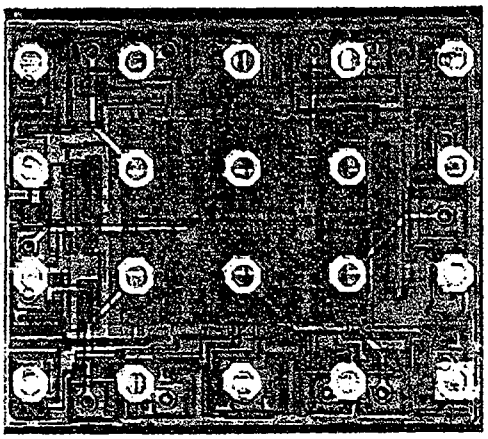
MSIT platformu yarı iletken pul fabrikasyonu ve birleştirme işlemlerinde oluşmasına rağmen, yeni paketleme ve pul teknikleri geliştirilmiştir:
1. Düşük maliyetli kırmık yollarının yeniden çizilmesi (rerouting)
2. Düşük maliyetli lehim eklemleri
3. Düşük maliyetli flip-kırmık montajı (assembly)
4. Yüksek yoğunluklu ara bağlantı
5. Tümdevre yüksek Q değerli pasif elemanlar için yüksek yoğunluklu ara bağlantı

i. Kırmık yollarının yenilenmesi

Bugün IC elemanları geleneksel paketlemeye göre tasarlanmaktadır. Paketlerde iletken bağlı kontakları oluşturan perimetre G/Ç 'dan oluşur.

Paket daha sonra bacaklar ile sistem levhasına bağlanır (system board). İletken bağlantıları ve paket ayakları eleman ile diğer sistem elemanları arasındaki ara bağlantı uzunluğunu artırır. Aynı zamanda G/Ç sayısını da sınırlar (Çünkü ayaklar arası mesafe makine kabiliyeti ile sınırlıdır.). Lehim eklemleri yukarıdaki sınırlamaları ortadan kaldırır. Lehim bağlantısı ile zarlar direk olarak birbirlerine, yüksek yoğunluklu Si ara bağlantı gövdeye veya direk olarak sistem levhasına bağlanabilir. Lehim bağlantılarını sağlamak için iletken bağlantı uyumlu kontaklarından lehimlenebilir. Kontak G/Ç ayaklarının yeniden belirlenmesi gerekir. Bunun için poliimid, Al ve lehimlenebilir Cr-Cr Cu-Cu 'u metalizasyon pompası altında eleman puluna tabakalar halinde eklenir. Şekil 6.23, iletken bağlanabilir perimetre G/Ç dizisinden lehimlenebilir ayak dizisi bölgesine doğru yeniden yolların belirlendiği Si elemanını

göstermektedir. ICler flip-kırmık tekniği ile lehim bağlantılarını sağlamak için tasarlandığında yeniden çizme gereksiz olacaktır.



**Şekil 6. 23. Perimetre iletken bağlantı yerleri [91]**

ii. Lehim Bağlantıları

Yukarıda ifade edildiği gibi ara bağlantı uzunluğunu ve paket parazitlerini azaltmak için iletken bağlantıları lehim bağlantıları ile yer değiştirmelidir. Lehim bağlantıları geleneksel iletken bağlantıları kadar güvenilir olmalıdır. Lehim bağlama teknolojisi G/Ç kontakları üzerinde baskılı lehim kullanılarak geliştirilmiştir. Bu teknolojiyi kullanarak farklı lehim bileşikleri seçilebilir.

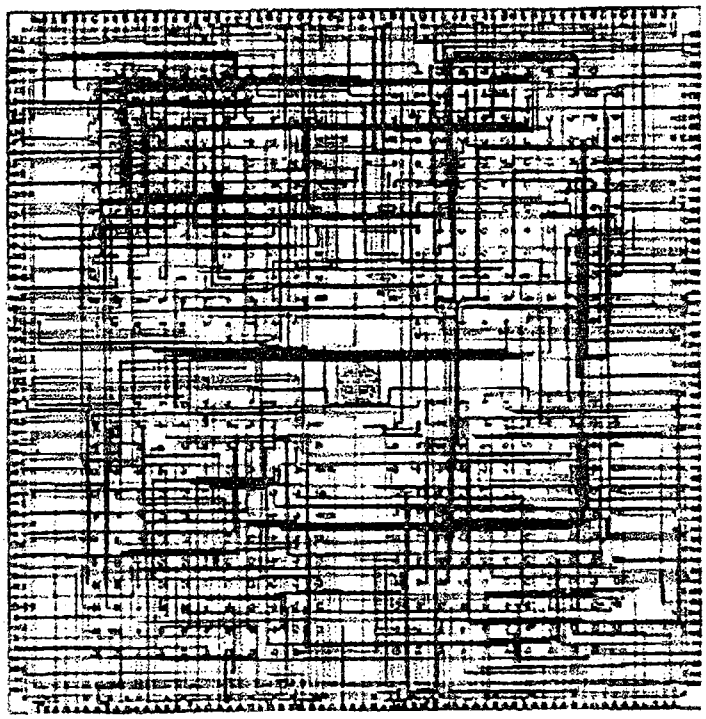
iii. Flip-Kırmık Montaj:

Flip-Kırmık montaj CSM platformunun köşe taşıdır. Zarların birbirlerine veya Si ara bağlantının gövdeye fiziksel ve elektriksel olarak bağlanmasında kullanılır. Yakın kontaklarda ve ara bağlantı mesafesinin geleneksel paketlerden daha kısa olduğu IClerde IC devrelerdeki montaj kullanılır. Tüm montaj işlemi basma lehim, kırmık yerleştirme ve lehim bağlantısını tüm montaj akıntısı içerisinde oluşturan yüzey montaj tekniği ile gerçekleştirilir.

iv. Yüksek Yoğunluklu Si Ara bağlantı

Kırmıklar arası yüksek bağlama yoğunluğunda Si bir ara bağlantı gövde kullanılır. Gövde çok yoğun küçük bir levhadır ve üzerine kırmıklar bağlanır.

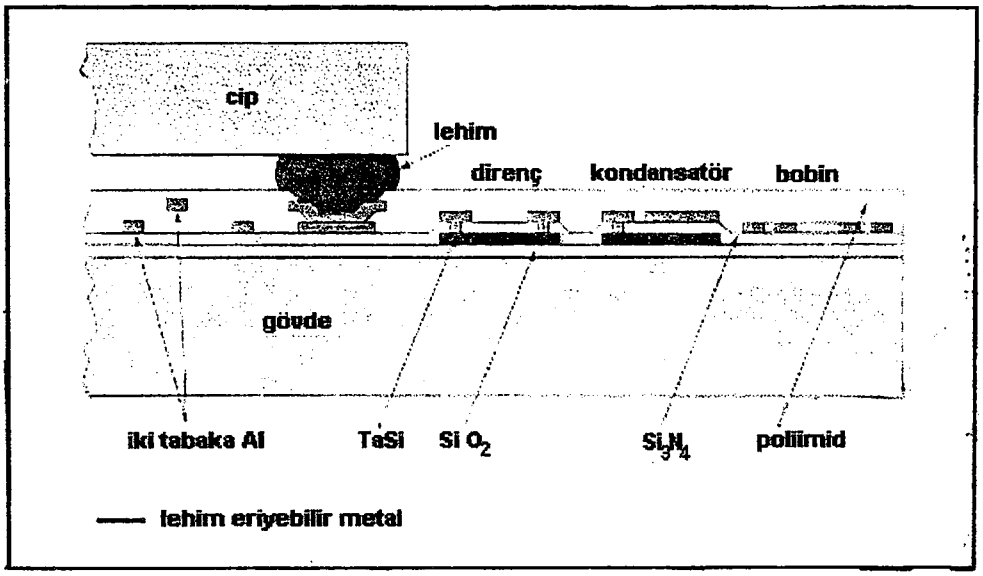
Ara bağlantı iletkeni kısa ve çok küçük olduğundan paketleme etkileri kırmık alanı korunarak ortadan kaldırılır. Şekil 6.24, her biri için 100 G/Ç olan dört tane 2*2 Phonix anahtar kırmığını (Bu teknolojinin gösterimi asenkron transfer mod (Asynchronous Transfer Mode:ATM) mimarisidir.) bağlamak için kullanılan bir Si ara bağlantı gövdesinin şemasıdır. Sonuç 4*4 anahtar ile beraber sadece 256 G/Ç dır. Sistem saat frekansında %25lik bir artış da mümkün olmaktadır. Bununla birilikte gövde fazla sayıda G/Ç sahip tek kırmıklarda orta derecede çıkış sürme kapasitesine (fan-out) sahiptir. 500' den fazla G/Ç' a sahip entegreyi paketlemek için tabakalama teknolojisi gerekmektedir. Böyle çözümler IC elemanından çok daha pahalı olabilir.



**Şekil 6. 24. Yüksek yoğunluklu Si arabağlantı gövde [91]**

v. Tümdevre yüksek Q değerli pasif elemanların yüksek yoğunluklu Si ara bağlantı

Yukarıda anlatılan ara bağlantı kavramı yüksek Q değerli pasif elemanlardaki yüksek dirençli Si gövdeye kadar genişletilebilir. Al ara bağlantı iletkenleri ve ince film pasif elemanlar 5-7 maske seviyesinden oluşan geleneksel pul fabrikasyonu ile üretilebilirler. IC flip-kırmık kesitinin gövdeye bağlanma şeması Şekil 6.25' da görülmektedir. Bu teknolojide 50-80 Q değerli bobinler üretilebilir. Bu elemanlar geleneksel IC içinde üretildiğinde çok yüksek Q değerini elde etmek mümkün değildir. Dirençli gövde kullanarak yüksek frekanslı ICleri yüksek Q değerli pasif elemanla bağlamak tasarımı ve modellenmesi kolay sağlam elektrik çevresi sağlar. Bu teknoloji kullanılarak daha iyi performanslı alt sistemler ve daha az toleranslı çalışma frekansı elde edilebilir.




**Şekil 6. 25. IC flip-kırmık kesitinin gövdeye bağlanma şekli [91]**

Yeni Kuşak Tümleştirme CSM:
Bu teknolojiyi ve uygulanmasını göstermek için iki örnek verilecektir: Birincisi, lojik ile tümdevre bellek ve ikincisi de yüksek Q değerli pasif elemanlar ile tümdevre edilen yüksek frekanslı ICler.

Bellek ve Lojik Entegrasyonu:
Bellek ve lojik fabrikasyon teknolojileri çok farklıdır. Bellek teknolojisi eleman yapısı ve işlem gelişimi ile en yüksek bellek hücresi yoğunluğuna sahiptir. Lojik teknolojisi ise sağlam ve koruyucu tasarım ve işlem metodolojisini araştırır. Bellek teknolojisini direk olarak lojik teknolojisine entegre etmek IC' in fiziksel büyüklüğünü ve maliyetini artırmaktadır. Özel uygulama tümdevrelerdeki (Application-Specific Integrated Circuit:ASIC) bellek hücresinin maliyeti standart bellek hücresi maliyetinden 20 kat daha fazladır. Bununla birlikte, geleneksel ASIC CSM entegrasyonu ve ticari bellek teknolojisi optimize edilmiş ICleri kullandığından performansını artırabilir, levha alanını azaltabilir, maliyeti makul sınırlara taşıyabilir, DRAM ve SRAM için alternatif tümleştirme getirdiği için pazarlama süresini azaltabilir.

Bu CSM versiyonu direk olarak DRAM kırmığını ASIC kırmığa bağlar. Birinci olarak DRAM ve ASIC kırmıkların pul şeklinde yeniden yolları çizilir. DRAM belek pulları dilimlendikten sonra flip-kırmığı oluşturmak için yerleştirilir. Ayaksız lehimleme tüm ASIC pul üzerinde gerçekleştirilir. Daha sonra her bir ASIC elemanı üzerine bellek kırmıkları yerleştirilir. Lehim bağlantıları oluşturulduktan sonra ASIC pul her bir kırmık-üzeri-kırmık modülü şeklinde dilimlenir ve son paketlemeye hazırlanır. Son paket fiziksel olarak tek bir geleneksel ASIC paketine benzerdir.

DRAM erişim zamanı sabit besleme voltajı ve oda sıcaklığında hemen hemen fonksiyonel elemanların tamamında 26ns yi aşmıştır. Bu elemanlar normal olarak geleneksel paketlerde 45-60ns çalışma hızına sahiptirler. Bundan dolayı, bellek elemanı çıplak zar formunda kullanıldığında performans patlaması olacaktır.

Entegre bellek ve lojik için kullanılan CSM teknolojisinin kırmık-üzeri-kırmık tasarımı geleneksel paketleme, levha montajı ve maliyet azaltma yaklaşımına göre bazı avantajlara sahiptir: Performans geliştirilmiş, ayak izi azaltılmış, üretim ve montaj işlemleri pratik olup maliyet düşürülmüştür. Müşteriler son paketin geleneksel ASIC paketlemeden farklı olduğunu bildiklerinden dolayı modül tasarımını kabul etmektedirler.

Radyo Frekans (RF) Tümdevre ve Pasif Eleman Entegrasyonu:
Yüksek frekanslı IC, çalışma frekansını sağlamak ve gürültüyü azaltmak için pasif elemana çok fazla ihtiyaç duyduğu için dijital IClerden farklıdır. Pasif elemanların IC içinde ve LSI teknolojisinde entegrasyonu fiziksel özelliklerinin maliyet sınırlaması ve ideal olmayan IC teknolojisinde üretilen elemanların kalite kayıplarından dolayı mümkün değildir. Bundan dolayı, yüksek Q değerli bobin, kondansatör ve dirençler devrenin dışında bırakılır.

Maalesef, yüksek frekanslarda bu elemanların paket parazitleri ve karışımları sistem tasarımcıları için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. En iyi yaklaşım yüksek dirençli ara bağlantı gövde üzerinde ayrık zar IC ve ince film pasif elemanları içeren CSM kullanmaktır. Bu çeşit CSM VCO devresi, görüntü çıkarma filtresi ve Mobil iletişim için Global Sistem (Global System for Mobile Communications:GSM) alıcı IC' dan oluşur. Gövdedeki pasif elemanlar ile yüzey montajlı varaktör çıkarma filtresini ve VCO' u oluşturur. IC bu gövdeye montaj edilmeden önce G/Ç cilalanmalı ve flip-kırmık lehim bağlantıları oluşturulmalıdır. 7mm*7mm gövdede alıcı IC ve ayrık bir varaktör diyot bulunur. Tam tümdevre gövde BGA (Ball Grid Array:BGA) içinde flip-kırmık oluşturulur.

Bu aşamada pasif elemanlar ve yüksek frekanslı IC entegrasyonu ile kırmık elektriksel bağlantısı sağlanır. Böyle bir çevre en iyi GHz frekansında çalışır. Pasif elemanları oluşturmak için yarı iletken litografi işlemleri kullanılarak küçük toleranslar elde edilir. Böyle bir kabiliyet geleneksek levha montajlı elemanların masraflı olan ayarlanmasını önler. Ek olarak yüksek dirençli gövde ile yüksek Q değerli bobin (>60) üretilebilir. Bu değerden büyük değerler kırmık entegrasyonunda mümkündür. IC ve pasif eleman arasındaki paket parazitleri çıkarılarak seri endüktans azaltılır. Tasarımı basitleştirilerek aktif RF devresinin modeli basitleştirilir. Eleman paket ayaklarının ve devresinin monte edildiği baskılı iletken levhasının neden olduğu suni VCO rezonansını önleyebiliriz.

Infra yapıların üretilmesi:
Tasarımcılar bu yeni tasarım paradigmasını öğrenmek zorundadırlar. Test ve tamir (bakım) metodolojisi tanımlanmalı ve eleman veya sistem özelliklerine adreslenmelidir. Bazı durumlarda CSM test gerekliliklerini rahatlatabilir. Çünkü modülün elektrik bağlantıları çok iyi tanımlanmıştır. Örneğin; pul probu gibi düşük seviyeli testler paket sınırlamaları olmadığından tek gerekli test olabilir. Ek olarak bu modüllerin üretim maliyeti ürün bütçesi içinde olmalıdır. Bundan dolayı, yüksek hacimli, düşük maliyetli üretim modellerinin gerçekleştirilmesi kaçınılmazdır. Uygun bir örnek kuruluş servisidir.

Bu infra yapının desteklenmesi için Lucent Techjnologies üç global alıcısı bu teknoloji platformunun lisansına sahiptir: Dicryl, S.A. (İspanya), The Institude of Microelectronics (IME) (Singapur) ve A Pack Technologies (Tayvan). A Pack, 1999'un ikinci çeyreğinde tüm üretimlerde olmayı planlamaktadır. Bununla birlikte, bu alıcılarla ve malzeme destekçileriyle tüm mikroelektronik endüstrisinde makul maliyetli CSM kabiliyetli yeni bir üretim alt yapısı oluşturmak için çalışmaktadırlar. Yine de bu alt yapıyı kendi başına büyütmemeliyiz. Genel olarak flip-kırmık paketlemenin ve özel olarak bu tümleştirme teknolojisi kabiliyetlerinin gelişimi yeni alt yapıları beraberinde getirmektedir. Bell Laboratuarındaki çalışmaların yanında lehim bağlantıları, zarların işlenmesi ve test edilmesi, bakımı, flip-kırmık birleşme, güvenirlik ve BGA paketleme de endüstrideki temel çalışmalar arasındadır. [91]

## 6.2. IC Tekniğinin Geleceği

Elektronik endüstrisi son 30 yıldır önemli gelişmelere sahne olmuştur. Ayrık elemanların tümdevrelerle gerçekleştirilmesinde ulaşılan son merhale ana (mainframe) bilgisayarın tek bir Si kırmığına bellekle birlikte sığdırılmasıdır. Bu gelişmeler yeni uygulamaları beraberinde getirmiş ve düşük güçlü taşınabilir ürünler müşteriye sunulmuştur. Bu gelişmelerin altındaki gerçek tümdevrelerin boyutunun küçültülmesidir. Nano-teknoloji adı verilen teknolojide eleman boyutu nanometre boyutlarına indirilmiştir. Bu teknoloji ile gelinen son noktayı açıklamak için aşağıdaki Tablo yeterlidir(Tablo 6.9). Bir taraftan TeraFLOP performanslı ve soğutma sisteminin çalışmaması halinde tümdevre kırmığını eritecek güce sahip tek kırmıklı süper bilgisayarlar üretilebilir. Diğer taraftan, küçük, ucuz ve düşük güçlü sistemler üretilerek kablosuz haberleşme gerçekleştirilebilir ve bir çok küçük ölçekli uygulamalarda kullanılabilir.

Düşük güçlü uygulamalara örnek olarak kişisel bilgilerin tutulduğu dijital kimlik, dizüstü bilgisayarların son versiyonu olan tablet, kişisel ev elektroniğinde HDTV, telefon, videofon, oyunlar, video kameralar, kişisel bilgisayarlar, otomobil elektroniğinde araç telefonu, askeri alanda GPS(Global Positioning System), tıp alanında işitme cihazları, yapay organ (elektriksel sinyalle kasları uyarma gibi) ve kişisel ağları (İnsanların bedeni düşük frekanslı sinyallerin taşınmasında ve transferinde kullanılır.) verebiliriz. [92]

**Tablo 6. 9. SIA National Technology Roadmap Tahminleri [92]**

| Pazarlanma yılı | 1995 | 1998 | 2001 | 2004 | 2007 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DRAM(bit/kırmık) | 64M | 256M | 1G | 4G | 16G | 64G |
| DRAM kırmık alanı($mm^2$) | 190 | 280 | 420 | 640 | 960 | 1400 |
| Mikroişlemci transistör/kırmık | 12M | 28M | 64M | 150M | 350M | 800M |
| Mikroişlemci kırmık alanı($mm^2$) | 250 | 300 | 360 | 430 | 520 | 620 |
| Litografi(mikrometre) | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,13 | 0,1 | 0,07 |
| Kanal uzunluğu(mik.met) | 0,28 | 0,2 | 0,14 | 0,1 | <0,10 | <0,10 |
| Oksit kalınlığı(nm) | 7..12 | 4..6 | 4,5 | 4,5 | <4 | <4 |
| Besleme voltajı(V) | 3,3 | 2,5 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1 |
| Saat(MHz) Performans | 300 | 450 | 600 | 800 | 1000 | 1100 |
| Standart | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 625 |

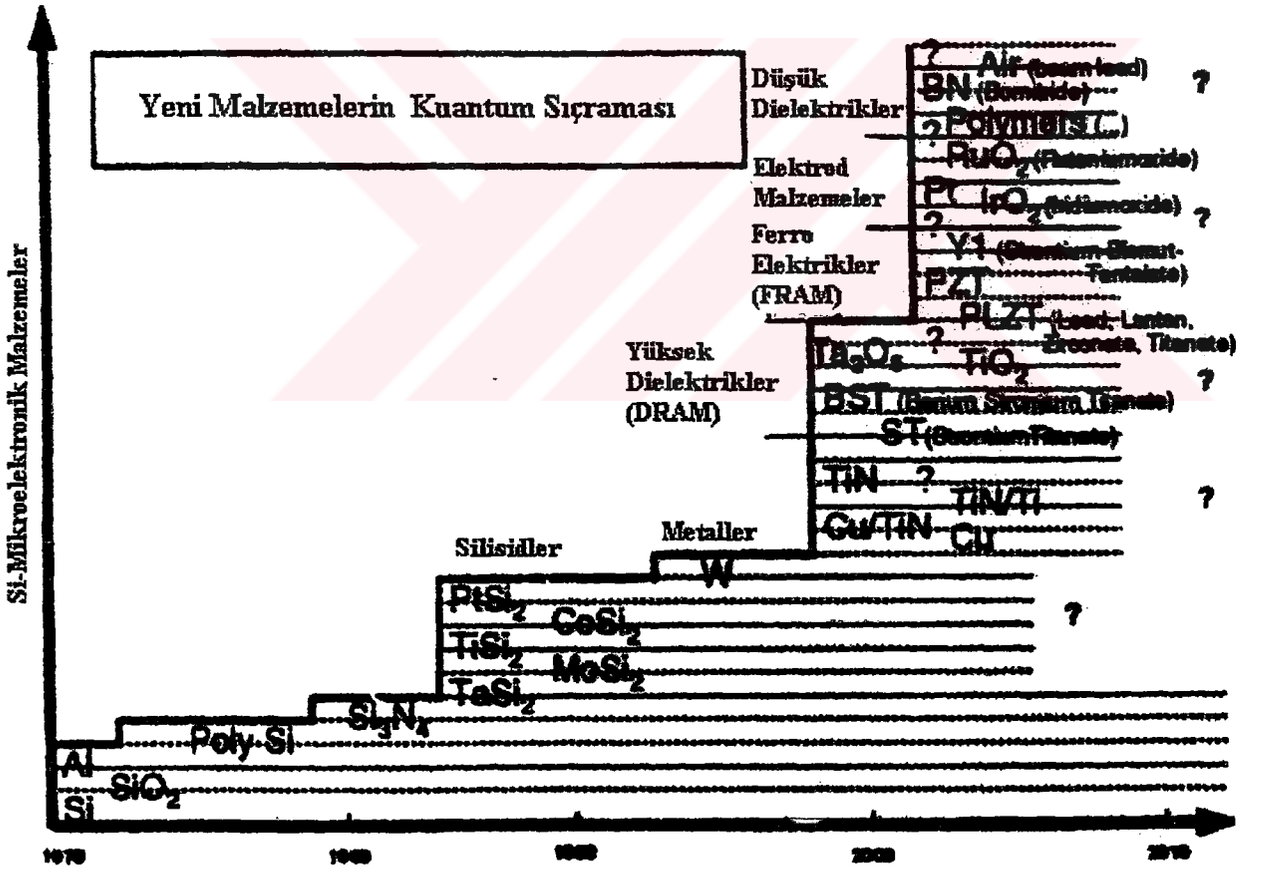
### 6.2.1. Si Mikroelektronik

Son yirmi yılda mikroelektronikteki gelişmeler büyük kapasitelere ve işlem gücüne ulaşmıştır. İlerlemeyi sürdürmek büyük tehlikelerle beraber büyük avantaj ve fırsatları da beraberinde getirmektedir. '**Teknik ve teknolojik sınırları belirlemek**' fiziğin konusudur. Üretkenliği artıran ve yeni ürünler tasarlayan teknolojistlere ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, Ar-Ge çalışmaları masraflarını karşılamak ve üretim araştırmalarını artırmak gerekmektedir. Yeni imkanlar, örneğin; SOC bellek ve diğer fonksiyonları aynı kırmık üzerinde bir araya getirmektedir. Yeni üretim ve ekonomik Ar-Ge özellikle Ar-Ge personeli açısından yeni tehlikeleri beraberinde getirmektedir. Bunun için eğitim, beceri ve üreticilik ile birlikte eleman işlem, devre, kırmık mimarisi, ürün tanımlama ve üretim konularında tecrübe ve bilgiye (araştırmadan üretime) gereksinim vardır.

Teknolojik Açıdan Mikroelektronik:
Bugün yarıiletken üretim şirketleri 0.7μm ve 0.5μm boyutlarında sırasıyla 4Mbit ve 16Mbit DRAM ve lojik ICler üretmektedirler. Bu şirketlerdeki gelişmeler 64Mbit ve 256Mbit DRAM yapılarını ve lojikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ar-Ge 0.1μm yapılı 1Gbit ve 4Gbit elemanlar üzerinde çalışmakta ve araştırmalar <0.1μm yapılı daha kompleks kavramlara doğru devam etmektedir.

Bu derece kompleks elemanların üretilmesine inanmanın üç sebebi vardır. Birincisi, bugünün MOS yapılarını fonksiyonel limitlere ulaşmadan 20nm' ye indiren kabiliyetli simülasyon araçları. İkincisi, kirli işlemler ile üretilen araştırma elemanları transistor yapılarının 30nm boyutunda bütün binary uygulamalarda kullanılabileceğini göstermiştir. Sonuncusu, Ar-Ge hedeflerini gerçekleştirmek için bütün dünyada %15'lik bir paya sahiptir. Bundan dolayı, bilimsel ve endüstriyel kuruluşlar mikroelektronik gelişmelerin 15 yıl hiçbir engelle karşılaşmaksızın devam edeceği konusunda hem fikirdirler.

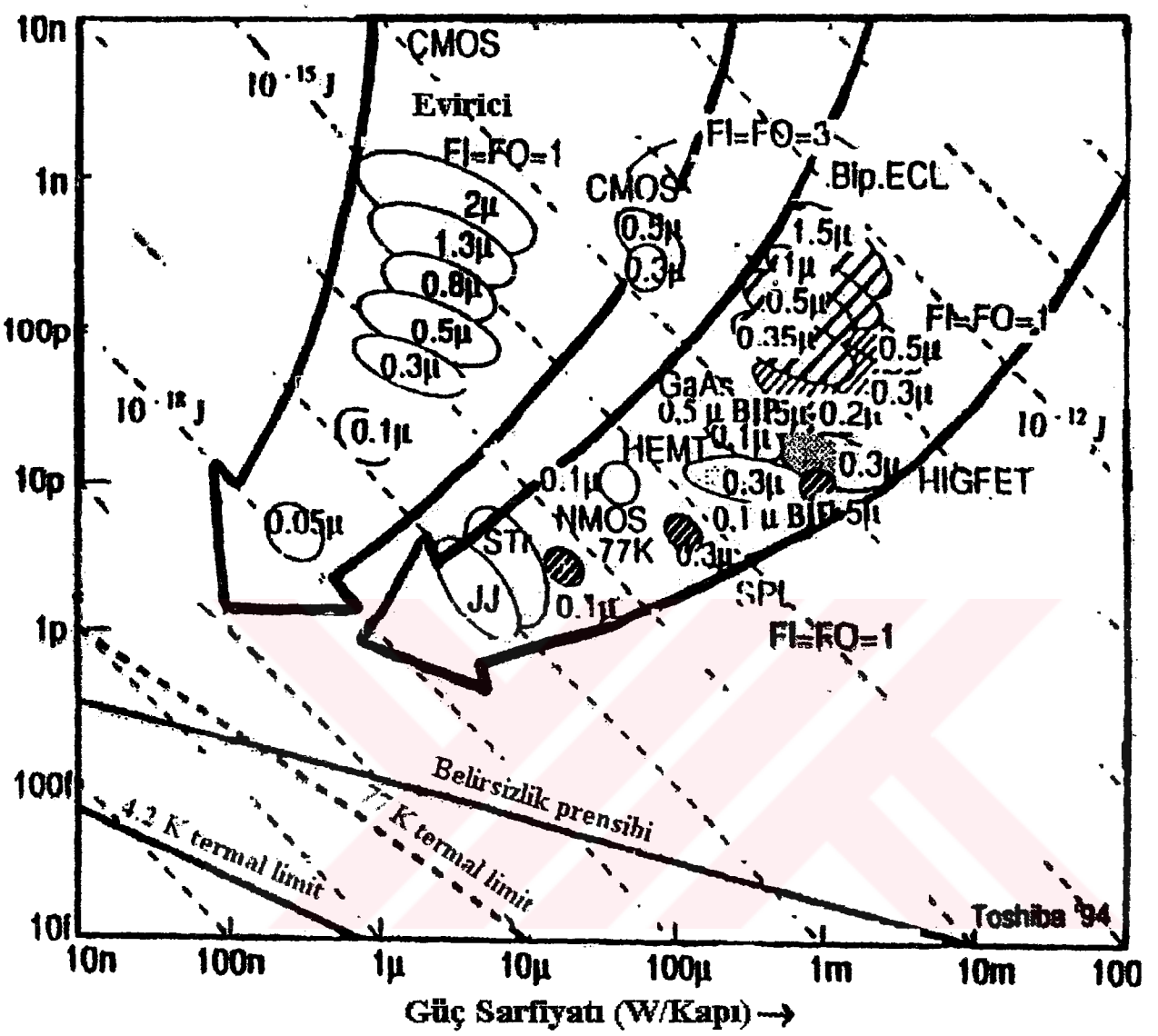
İşlem araştırmaları eleman seviyesinde odaklanmayıp daha çok metalizasyon ve depolama sistemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunun için yeni malzemelere gereksinim vardır. Metaller özellikle baskı göçü olmak üzere elektron göçünün gerektiği yerlerde kullanılır. Düşük ε, yüksek ε ve ferro dielektrikler keşfedilmiştir. Si mikroelektronikte kullanılacak yeni malzemeler Şekil 6.26' de özetlenmiştir.




**Şekil 6. 26. Si mikroelektronikte malzemeler [90]**

Bipolar teknoloji evrimi ile kapı gecikmesi 20ps' den küçük, kompleksliği $10^5$ eleman/kırmık olan entegreler ve bilgi oranı 40Gbit/s ve çalışma frekansı 30Ghz olan telekomünikasyon entegreleri üretilmiştir. İlerlemelerin önünde her hangi bir engel olmamakla beraber tek rakip

CMOS teknolojisidir. CMOS' un performans ve fiyat avantajı bipoları analog ve yüksek frekansa ve GaAs' ı (ve diğer III-Vler) süper performans ve optoelektronik uygulamalara zorlamaktadır (Şekil 6.27).




**Şekil 6. 27. Güç-gecikme çarpımı (PDP) gelişimi [90]**

Temel gereksinimler CMOS' tan öte '**mikroelektronik yaşam**' in olduğunu göstermiştir. Kırmık kompleksliği her üç yılda dört kat artmaktadır (üstel büyüme). Kırmık gücü kabul edilebilir değerlere sınırlandırılmıştır (örneğin; taşınabilir elektronik elemanlar için 1W, yüksek performanslı sistemler için 100W). Bu da gösteriyor ki transistordaki aktif elektron sayısı adım adım azalmaktadır. Çünkü direk olarak kırmık gücü ile orantılıdır. Hesaplamalar sonucu 2010 ve 2020 yılında anahtarlama elemanlarının çok küçük aktif elektronlara sahip olacağını göstermektedir (örneğin; 10). Fonksiyonel kavramlardaki temel değişiklik yaklaşmaktadır: Büyük sayıda elektronların davranışını kontrol etmek yerine gerekli küçük sayıdaki her bir elektronu kontrol etmek; tek elektronlu elemanları doğurmuştur (QED: Quantum Effective Devices). Bu elemanların potansiyel fonksiyonelliği mikroelektronik araştırmalarda gösterilmiştir.

Mikroelektronik bilgisi bellek (geçici ve kalıcı) ve lojik uygulamalardan (μP, μC, ASIC, anolog, DSP, vs.), kırmık-üzeri-sistem (lojik ve bellek aynı kırmıkta) uygulamaları yönünde olmaktadır. Bu ekonomik (hemen hemen ücretsiz) bilgi akıllı güç 'smart power' gibi 'spin-off' teknolojisinde kullanılmaktadır. Güç ve zeka entegrasyonu monolitik çözümlere büyük bir alan açar. Bu bilgi yine ekonomik CMOS uyumlu mikrosistemlerde de kullanılabilir. Zeka ve sensör&tetikleyicilerin monolitik entegrasyonu mikroelektronik oluşa paraleldir. Ekonomiklik teknoloji, cihaz ve üretimin mevcut mikroelektronik ile sınırlandırılmasına bağlıdır.

Ekonomik Açıdan Mikroelektronik:
Üretim araştırmaları jenerasyondan jenerasyona ikiye katlanmaktadır. Bu sonuç üretim ve Ar-Ge masraflarından kaynaklanmaktadır: Maliyet faktörleri, litografi boyutunun azaltılması, kusur alanının azaltılması, pul büyüklüğünü artırma, işlem adımının artması ve üretim kapasitesinin arttırılmasıdır. Bu ekonomik tehlikeyi ortadan kaldırmak için akıllı fabrikasyon ve akıllı Ar-Ge şemaları geliştirilip her seviye ekonomikliğe gidilmiştir. İşleme durumunda tasarım ve işlem gelişimi daha basit, daha az ve daha kontrollüdür. Cihaz açısından standardizasyon, tekrar kullanım ve modülerliği sağlamıştır. Cihazlar gömülü simülasyonda (cihaz/işlem simülasyonu) olduğu gibi 100 monitör ve sensör kontrollüdür. Böylece yüksek cihaz özelliği ve işlem kontrolünden dolayı yüksek kullanım sağlanır. Kütle üretim yerine küçük sayıda pullar ile hızlı öğrenme ve kısa işlem zamanı gerçekleştirilmektedir. Kontrolü artırmanın anahtar faktörü tek pul işlemeye doğru yönelmektedir. Geliştirilmiş kontrol ve süper-alanlı pul çapı ile de desteklenecektir.

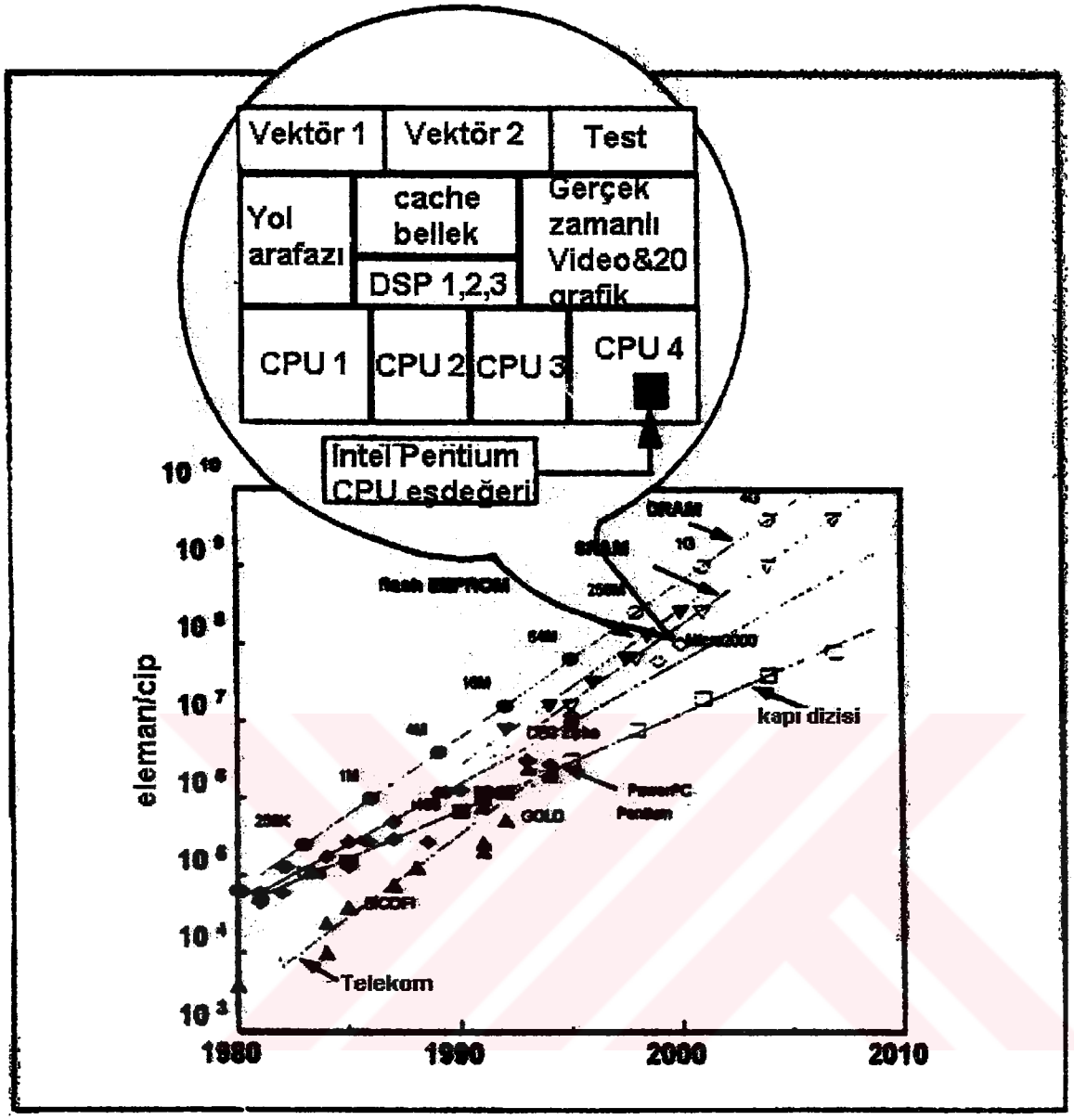
İmkanlar ve Uygulamalar:
Modern mikroelektroniğin anahtar performansının ölçüsü 16Mbit DRAM (40ns, erişim zamanı, 300K, 100ps kapı dizisi, 0.5 μm CMOS ve $10^7$ eleman/kırmık) dır. İşlem gücü yaklaşık olarak 200MIPSdir. Konuşma tanıma ve işlemede (örneğin; çeviri) $10^4$ kelime için $10^5$ MIPS gereklidir. Yüksek kaliteli gerçek zamanlı video/görüntü tanıma ve işleme (HDTV)de $10^6$MIPSdir. Akıllı robotları, insan-makine ara faz çözümleri gibi bilgi teknolojileri 3-4 kat performans gerektirirler.

Teknolojik gelişmelerle bu hedefe ulaşılamaz. Doğal mimariler gereklidir. Bununla birlikte, tümü büyük eleman/kırmığa ihtiyaç duyar .Düşük güç, tasarım kolaylığı ve gürültü bağışıklığı gibi avantajlarından dolayı CMOS teknolojisi tercih sebebidir.

Aynı kırmıkta bellek ve lojik birleştirme olasılığı mevcut ürünlerin oranlı bord çözümlerine ve doğal sistemlerin bugün mümkün olmayan **'kuantum sıçrama'** (Quantum leaps) performansına ulaşmasına neden olmuştur. İkincisi, uzayda (komplekslik), kütle paralelliği ve zaman (pipelining) ile gerçekleştirilir. Sinir ağları (neural network), gerçek zamanlı insan-makine ara faz problemleri için en iyi yöntemdir. Kırmık üzeri bellek ve lojik entegrasyonu mikroelektroniğin sistem bilgisi artırılmış sistemler üretmesine neden olacaktır. Sistemlerin işbirliğine ve yarıiletken üreticiliğinin geçmişte olduğundan daha fazla işbirliğine gitmelerine zorlayacaktır (Şekil 6.28). Şekil 6.28 'dan görüldüğü gibi gelecek elemanlar minimum alan yerine sistem içerikleri açısından sınıflandırılacaklardır.

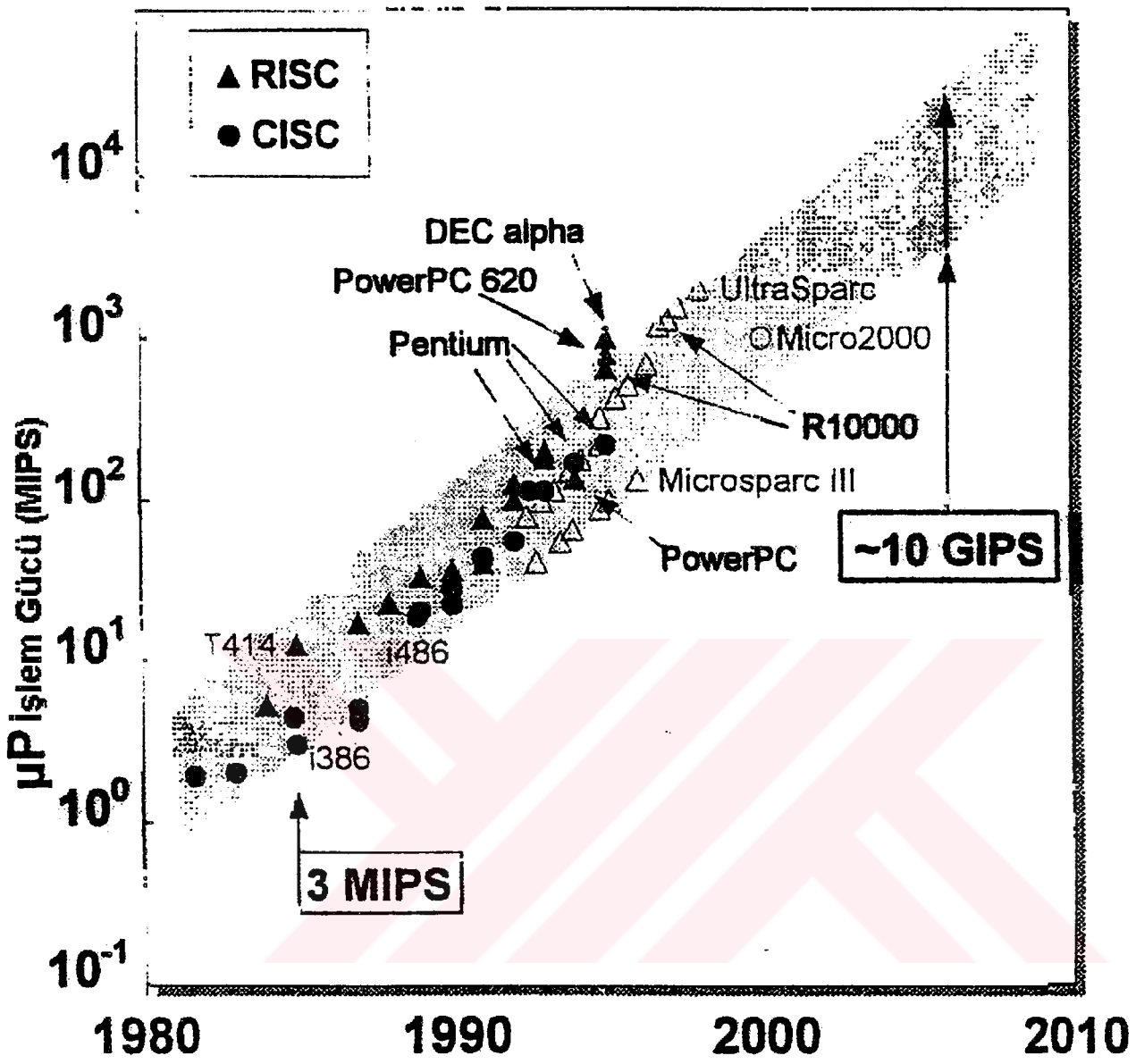
Hız/fonksiyon için gerekli güç harcaması 2 Giga Çağı'nın değer şekli olacaktır .Değişik seviyelerdeki gelişmelerin uyumlu etkileşiminde ortaya çıkacaktır: Teknolojik seviye, devre seviyesi, yerleşim seviyesi, CAD seviyesi, mimari seviye ve zaman.

Bu koşullar altında 'kuantum sıçrama' performanslı kırmık üzeri sistemler üretilecektir. 2005 yılında CRAY-2 makinesinin işlem gücünde tek bir kırmığa sahip olacağız (Şekil 6.29).




**Şekil 6. 28. Si mikroelektronik sistemlerdeki entegrasyonun geleceği [90]**

Analizlere göre dünya IC pazarı dünya elektronik pazarından iki kat daha hızlı büyümektedir. Mikroelektroniğe dayanan elektronik endüstrisi daha güçlü olacaktır. Mikroelektronik 10-15 yıl daha geçmişte olduğu gibi büyümeye devam edecektir. [90]



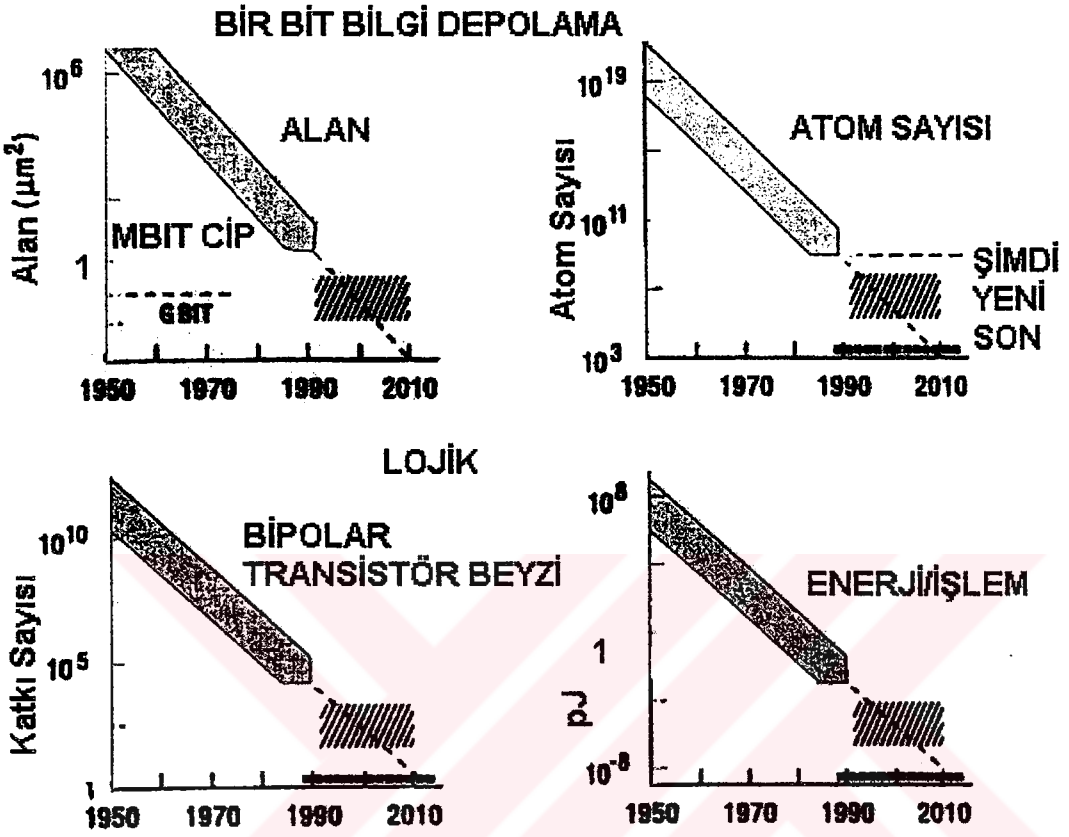

**Şekil 6. 29. Kırmık işlem gücünün gelişimi [93]**

### 6.2.2. Küçültme işlemi

Küçültme mikroelektroniğin yayılması ve gelişmesinin anahtar elemanlarından biridir. Küçültme, bilgi işleme, telekomünikasyon ve tüketici elektroniğinde görülmektedir. Bundan dolayı, mikroteknoloji daha çok mikroelektronik demektir.

Küçültme doğal olarak mikroteknoloji ötesine geçer ve nanometre bilim ve teknolojisine dayanır: **nanometre dünyası.**

Şekil 6.30 bilgi işleme endüstrisinden alınmış küçültme işleminin bazı örneklerini vermektedir. Geçmiş yılarda kararlı ve üstel olarak ilerlemiş ve gelecekte de böyle olacağına inanmamanın hiçbir sebebi yoktur.




**Şekil 6. 30. Bilgi işlemede küçültme işlemi [93]**

Milimetreden mikrometre teknolojisine geçiş şüphesiz büyük bir başarıdır. Kuantum mekaniği çok önce oluşmasına rağmen, elektron mikroskobu daha sonra bulunmuştur. Yarıiletken özellikleri ve mikroelektroniğin temel malzemeleri transistorun icadından beri araştırılmaktadır.

Malzeme özellik ve etkileri mikrometre ve milimetre ölçeğinde temel olarak aynıdır. Bundan dolayı, mikrometre basitçe milimetrenin alt ölçeği olarak görünür. Bu 50nm' ye kadar devam eder.

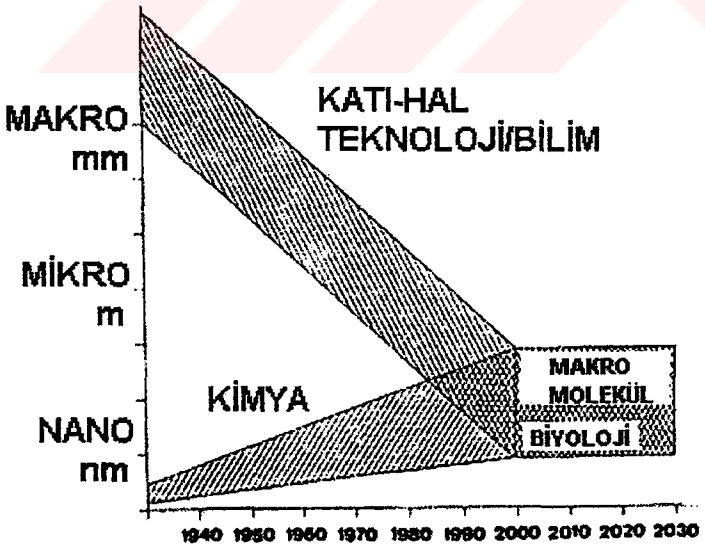
Yeni Nanometre Dünyası:
Fizik kanunlarının ve etkilerinin farklı görüldüğü boyutlarda alanın karakteristik uzunluk ölçeği ile karşılaştırıldığı, taşımanın farklı kanunlar izlediği, yüzey ve ara faz etkilerinin baskın olduğu, boyut ve simetrinin kullanışsız olduğu yerlerde küçültme tamamen yeni bir oyundur. Bu belirli küçültmenin sonudur, fakat bu bilimsel tehlikeler yeni olasılıkları ortaya koyar.

Tablo 6.10. Nanometredeki bazı yenilikleri ortaya koyar.

**Tablo 6. 10. Yeni nanometre çağı [93]**

| | MAKRO/MİKRO | NANO |
|---|---|---|
| MEKANİK ÖZELLİKLER | FİZİKSEL SABİTLER | KİMYASAL BAĞLAR |
| | $10^{8}$-$10^{-3}$ N | $10^{-7}$-$10^{-14}$ N |
| | 0-$10^{7}$ Pa | $10^{4}$-$10^{12}$Pa |
| | Hz-MHz | MHz-<THz, <10 Kt |
| ELEKTRİK | NANO MEKANİK/KİMYA | |
| | <$10^{5}$ V/cm | >$10^{8}$ V/cm (dc), >$10^{7}$ V/cm(ac) |
| | $10^{6}$ A/cm$^{2}$ | $10^{8}$ A/cm$^{2}$ |
| | YÖNETİM/DEĞİŞTİRME NONLİNEARİTE | |
| | TRANSİSTÖRLER | BALİSTİK ELEMANLAR |
| TERMAL RELAX. | >μs | <ns |
| SAYI | MEGA/GİGA | TERA/PETA |
| YAKLAŞIM | MİNYATÜR CİP | BİRLEŞMELER MİKRO LABORATUARLAR |

Küçültme sonrası :
Şekil 6.31. basit ve küçük bloklara veya daha küçük, daha hızlı ve daha ucuz anlamına gelen küçültmenin iki veya üç on yıl içinde ucuzluğun birinci olacağı sona geleceğini göstermektedir. Küçültmeden sonraki işlem "**kompleksliğin artırılması**"dır. Güvenilir bir yol kompleks fonksiyonel üniteleri üretmek için molekül boyutunda fonksiyonel elemanları bir




**Şekil 6. 31. Kimya ve katı hal bilim teknolojisinin gelişimi [93]**

araya getirmektir. Bilimin ana görevi telekomünikasyon ve kontrol veya fonksiyonlarının değiştirilmesi için makroskopik dünya ile molekül boyutlu fonksiyonel elemanları bir araya getirecek teknik veya yolları bulmaktır. Bu biyolojiye ve supra-moleküler kimyaya yeni

boyutlar ekleyecek olan verimli disiplinler arası bir gayrettir. Katı hal bilimi nanometre ölçeğine inerken kimya bağımsızca atomdan biyolojik büyüklük olan makromoleküllere doğru ilerlemektedir (Şekil 6.31). Supra-moleküler kimya küçültme sonrası periyodunun fonksiyonel eleman senaryosunu gerçekleştirebilir. Biyolojik elementler genel olarak pratik değildir, fakat biyolojik kavramlar yeni düşünme yollarına sevk edebilir. Son olarak teori çok az simetrili ve belirsiz boyuta sahip olduğundan ve fonksiyonlar ile işlemler nano-çevreye bağlı olduğundan nanometre ölçeğinde işlem, fonksiyon ve özellikleri anlamada nümerik yaklaşımların önemi büyüktür. [93]

### 6.2.3 Tümdevre Üretim Zinciri

Tümleştirme seviyesinde üç gelişme malzeme ve işlem evrimini ortaya koyar: (1) tabakalar ve Si' a inşa edilen farklı yapılılığın (heterogeneity) artması, (2) düşük işlem sıcaklığı ve (3) çok, çeşitli malzeme ve işlemler.

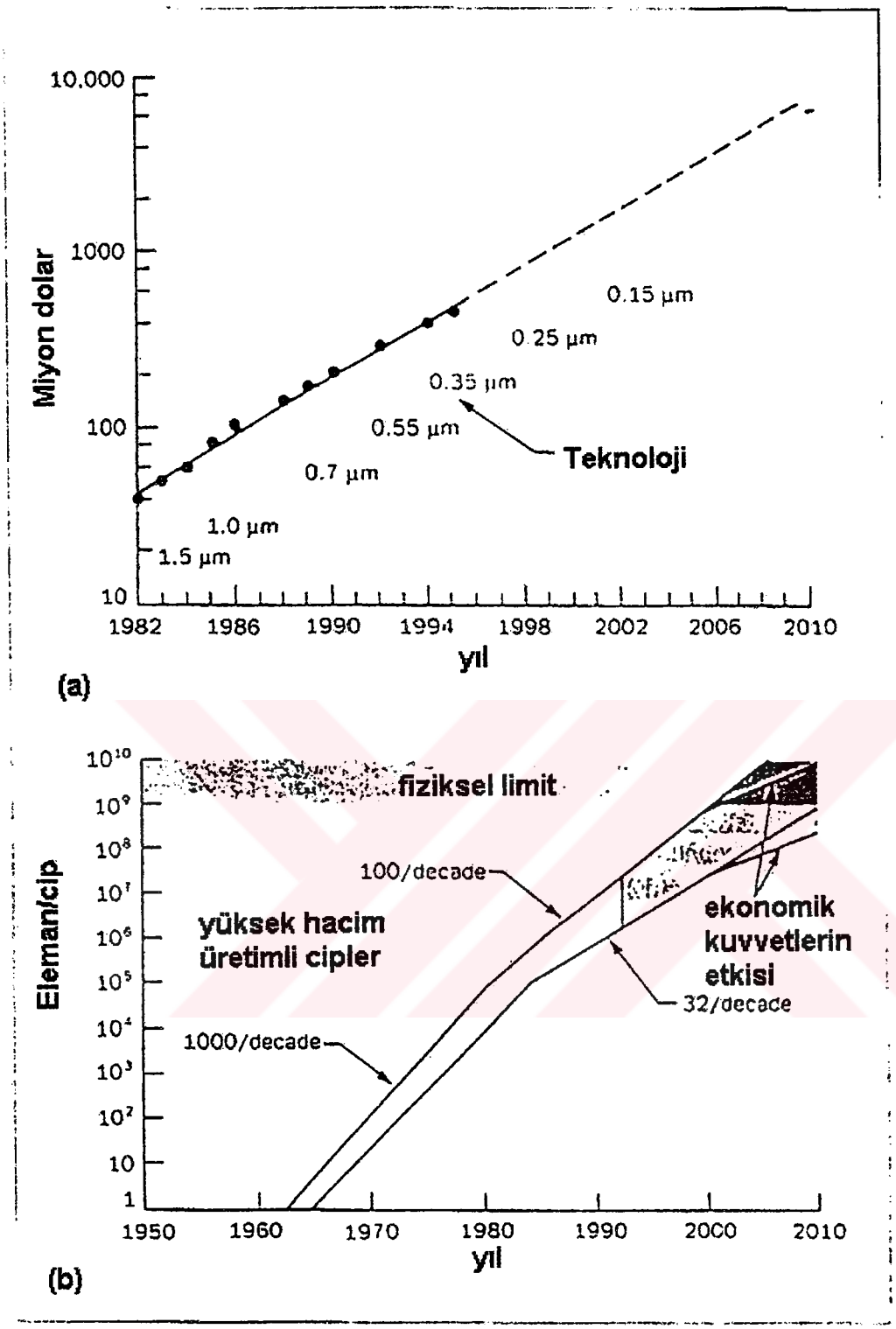
Tümleştirme seviyesinin artması işlem teknolojisinin gelişmesini sağlayan araştırma masraflarının artmasını gerektirir (Şekil 6.32.a). Üretim zincirinin geliştirilmesinde beş faktör vardır:

i. Genelleştirme ve verim: ürün karışımı genişlemektedir. Mevcut temiz oda yerleşimi ve birim işlemler seti verimsiz kılmaktadır.
ii. Çevrim zamanı: kırmık tasarımını ve işlemeyi pazar taleplerine uygun hale getirmek için üretim zincirindeki pul akış zamanının azaltılması gerekir.
iii. Pul büyüklüğü: standart pul çapı 8 inch' i (200mm) aşacak, homojenlik ve kontrol için tek pul işleme gerçekleştirilecek.
iv. İşlem kompleksliği: basit ve güçlü işlemleri işlem ve tutma temizliğinde hızlı bir evrim ile talep etmektedir.
v. Sermaye yatırımı: malzeme işlemede ve üretim metotlarında temel değişiklik yapılmazsa yüksek ekim masrafı yarıiletken teknolojisini fiziksel sınırlardan önce sınırlayacaktır (Şekil 6.32.b).

Eleman ve devre üretimi bağımsız bir işlem olarak ele alınmalıdır. Önemli parametrelerin dar bütçeleri işlem tasarımını etkiler. Mekanik bütçe pul tasarımını etkiler. Termal bütçe yüksek sıcaklık işlemini sınırlar. Partikül/kirlilik bütçesi işlem performansını belirler. Zaman bütçesi sermaye yatırımını amorte edecek verimi belirler. Hassas bilgisayar destekli işlem tasarımı 300-500 işlem adım zinciri olan ileri üretim zinciri için gereklidir. Mevcut işlem sınırlarının her bir biti zincire sıkıştırılmalıdır. IC işlemeyi sınırlayan kompleksliği ortadan kaldıran üç anahtar eleman vardır: (1) işlem modelleme, (2) işlem görüntüleme ve (3) anında işlem kontrolüdür.

Si' un Sınırı:

Si devrelerin performans gelişimi ve masraf azalması gelişmelere ayak uydurduğunu göstermektedir. 1 milyarlık üretim zinciri ve 6 cent/Mbitlik devreler 2010 yılında mümkün olabilecektir. Bununla birlikte, alan 2050 yılında 1°A (1 atomdan küçük) olacaktır. [94]




**Şekil 6. 32. Si işlemede ekonominin önemi (a) üretim zincirinde sermaye artışının önemi (b)devre entegrasyonu seviyesinin evrimini belirleyen fiziksel ve ekonomik sınırların etkileşimi [94]**

# SONUÇ

Yarı iletken endüstrisi 1940larda ticari ürünlerle başlamıştır. Yarıiletken üretimi laboratuar çalışmalarından daha önce olmakla birlikte laboratuar çalışanları teknolojistler tarafından eğitilmiştir. 1970lerde tümdevrelerin toplam fabrika masrafi yılda 1 milyar Dolar (ABD) dır. Üretim manzarası üretim çalışanlarının kullandığı çok özel oda temizleme cihazları ile değişmiştir. 2000-3000 $feet^2$ fabrikasyon bölgesi 2-3 milyon Dolar (ABD) ile kurulabilir. VLSI çağı, pul fabrikasyon bölgesinin değerini ve görünüşünü değiştirmiştir. Boyut aynı olmasına rağmen, masraf 100 milyon Dolara (ABD) çıkmıştır. Gelişmelerin çoğu 1. ve 10. sınıf temizlenen odalar, özelleştirilmiş ve otomatikleştirilmiş cihazlar ve işlem kontrol sistemleri sayesinde gerçekleştirilmiştir.

1990'ların ortalarında piyasaya yüksek bellek ve mikroişlemci tümdevreleri sunulmuştur ve 1-2 milyar Dolar (ABD) fabrikasyon masrafına ulaşılmıştır. Etiket değeri işlemleri yürüten faktörler göz önüne alındığında sürpriz değildir. Piyasa daha yüksek kabiliyetli ve daha hızlı devreler talep etmektedir. Yani daha fazla transistorlu (ve diğer elemanlar) ve daha küçük alan kaplayan kırmıklar talep edilmektedir. Bu seviyede üretkenliği ve verimi sürdürmek yüksek maliyette büyük pullar gerektirir. Küçük toleransla büyük pulları işleyecek cihazlar pahalıdır. Büyük pul boyunca (veya tek pulu işleyen cihazlarda) gereken doğrusallığı sağlayacak gelişmelere ihtiyaç vardır. Otomatik tutma cihazları bu amaca hizmet etmektedir. Küçük ve çok yakın paketlemiş elemanlar kirliliğe karşı çok duyarlı olduğundan elbette bütün malzemeler ve işleme alanı temiz tutulmalıdır. Bu seviyelerdeki testler ve tanımlamalar ürün kalitesini ve hızla büyük hacimlere doğru gelişen işlem kontrolünü arttırmaktadır.

Si devrelerin performans gelişimi ve masraf azalması gelişmelere ayak uydurduğunu göstermektedir. 1 milyarlık üretim zincirli ve 6 cent/Mbitlik devreler 2010 yılında mümkün olabilecektir. Bununla birlikte, kırmık alanı 2050 yılında 1°A (1 atomdan küçük) olacaktır.

50.yılında yarı iletken endüstrisi devrim gelişmelerinden sonra evrim gelişmesini üretimde gerçekleştirmiştir. Ürün ve işlem geliştirme endüstride fazla yer kaplamasına rağmen, iş dünyasına yenilikler getirmiştir. Yeni işlem ve cihazlar yüksek verimle ölçülmektedir. Alt çizgiyi yükseltme stratejileri; cihaz fiyatlarını maksimize etme, otomasyon, maliyet kontrolü, bilgisayar otomasyonlu üretim, bilgisayar entegrasyonlu üretim ve istatistiksel işlem kontrollerinden oluşur.

Maliyet artışı her bir kırmık fiyatı rekabeti ve geliştirilmiş üretkenlik ile birlikte azaltılmaya devam edilmektedir. Kırmık üreticileri verim, ürün ve kontrol masraflarını tüm seviyelerde geliştirmeye devam etmektedirler. İşlemlerde, maliyette ve piyasadaki değişmelere rağmen, fabrikasyon bölgesinin tüm finansal ölçümü aynıdır: Fabrikasyon pazarlanan (imalattan halka satış) zar fonksiyonu başına düşen maliyettir. Bu değer tüccar karını aştığı zaman ölçü pazarlanan zar başına düşen maliyet olur. Mega-kırmık dünyasında transistor maliyeti belirleyici parametre olmaktadır.

Elektronik, asrımızın başından beri göstermiş olduğu hızlı gelişme sonucu, ülkelerin kalkınmasında büyük rolü olan bir bilim ve endüstri kolu haline gelmiş ve en küçük laboratuardan en büyük endüstri kuruluşlarına ve hatta günlük yaşantımıza vazgeçilmez bir unsur olarak girmiş bulunmaktadır. Bunun nedeni yeni bulunan elektronik cihazlar ile daha başka yollarla elde edilen cihaz ve sistemlerin elektronik imkanlarla daha kolay ve daha üstün vasıflarla elde edilmesidir.

Elektronik endüstrisi insan gücü ve beyin potansiyelinden büyük çapta istifade etme özelliğinden dolayı gelişen ülkelerin önem ve öncelikle ele aldığı bir endüstri haline gelmiştir. Ayrıca elektronik endüstrisini diğer endüstri kollarından ayıran farklı özellikler vardır:

i. Verim /yatırım oranı yüksek olup, gelişen ülkelerde 3,5-4 civarındadır.
ii. İstihdam gücü yüksek olan bir endüstridir.
iii. İşçi başına düşen verim büyüktür.
iv. Maliyette en yüksek oran beyin gücüne aittir. Beyin gücünün katkısı dayanıklı tüketim cihazlarında imalat miktarlarına göre %50, profesyonel cihazlarda %70, özel cihaz ve sistemlerde ise %80'in üstündedir.

Son yıllarda elektronik sanayii, bilgi teknolojileri sanayiine dönüşerek büyük gelişmeler göstermektedir. Jenerik teknolojilerin en önemlilerinden birisi durumundaki bilgi teknolojileri gelişmiş ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada kullandıkları en önemli araç haline gelmiştir. Bu durum karşısında 21. yüzyılda ülkemizin gelişmiş ülkeler arasında yer almasında bilgi teknolojilerini özümseyip bir üst seviyede üretir hale gelmesi vazgeçilmez bir koşuldur.

Elektronik sanayi sektörü dünya genelinde ulaştığı 1 trilyon Dolar (ABD) pazar hacmiyle de 21. yüzyılın en fazla iş gücü barındıran sektörü olarak büyük bir gelecek vaat etmektedir. Artık elektronik tek başına bir sanayi olmaktan çıkmış ve diğer tüm sektörleri geliştiren temel ve doğurgan bir sanayiye dönüşmüştür.

Türk Elektronik Sanayii'ne dünya ölçeklerinde ve Türkiye ekonomisinde payı açısından bakıldığında her ne kadar istenilen boyutlarda olmadığı görülmekte ise de, elektronik sanayi sektörünün dinamizmi, geleceğe ümitle bakmamıza sebep olmaktadır.

1998 yılı elektronik sanayi toplam üretimi 1989 yılına göre % 102,2 bir artışla 1,157 milyar Dolardan (ABD) 2,341 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. 1998 yılı toplam üretiminin %51,9'u (1,216 milyar Dolar (ABD))tüketim cihazlarına, %26,6'sı (624,372 milyon Dolar (ABD)) telekomünikasyon cihazlarına, %8,7'si (205,000 milyon Dolar (ABD)) diğer profesyonel ve endüstriyel cihazlara, %7,1'i (168,500 milyon Dolar (ABD)) askeri elektronik ve %5,4'ü (127,152 milyon Dolar (ABD)) bileşen alt sektörüne aittir. Bilgisayar alt sektörüne ait üretim henüz yoktur.

Toplam üretim tutarındaki artışa paralel olarak dışsatım 1989 yılına göre % 574,3'lük bir artışla 186,365 milyon Dolardan (ABD) 1,256 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. Elektronik sanayi ihracatının toplam ihracattaki payı %2,7'den (1992) %4,7'ye (1998) yükselmiştir. 1989 yılından bugüne her yıl artan trend gösteren dışsatım miktarı Türk Elektronik Sanayiinin genellikle ihracata yönelik üretim yaptığını göstermektedir. 1998 yılı toplam dışsatımının % 70,5'i (884.974 milyon Dolar (ABD)) Tüketim Cihazları Alt Sektörüne aittir. Telekomünikasyon % 12 (151,815 milyon Dolar (ABD)), Bileşenler % 5,9 (74,354 milyon Dolar (ABD)), Askeri Elektronik % 4,9 (62,000 milyon Dolar (ABD)), Bilgisayar %3,9 (48,765 milyon Dolar (ABD)) ve Profesyonel ve Endüstriyel Elektronik % 2,8 (35,018 milyon Dolar (ABD)) olarak sıralanmaktadır.

Türk Elektronik Sanayiinin dışalımı ise 1989 yılına göre % 306,8'lik bir artışla 1,081 milyar Dolardan (ABD) 4,398 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. Elektronik sanayi ithalatının toplam ithalattaki payı %7,7'den (1992) %9,6'ya (1998) yükselmiştir. 1998 yılı toplam dışalımının % 27,3'ü (1,200 milyar Dolar (ABD)) Telekomünikasyon, % 21.7'si (955,557 milyon Dolar (ABD))

Diğer Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar, % 21,5'i (944,346 milyon Dolar (ABD)) Bileşenler, % 20,7 (909,703 milyon Dolar (ABD)) Bilgisayar Cihazları, % 8,8'i ise (389,006 milyon Dolar (ABD)) Tüketim Cihazları Sektörüne aittir. Askeri elektronik alt sektöründe dışalım gerçekleştirilmemektedir.

Tüketim cihazları alt sektöründe 1997 yılına göre 1998 yılı üretimi % 18,7 bir artışla 1,216 milyar Dolara (ABD) ulaşmıştır. Elektronik Sanayii içinde ise toplam üretimin % 51,9'u Tüketim Alt Sektörüne aittir. Sektörün toplam dışsatımı ise 1998 yılında % 60,6 bir artışla 555,175 milyon Dolardan (ABD) 884,974 milyon Dolara (ABD) ulaşmıştır. Sektörün toplam dışalımı 1997-1998 arasında %0,6 artış ile 386,475 milyon Dolardan (ABD) 389,006 milyon Dolara (ABD) yükselmiştir. Elektronik sanayii sektöründe dışsatımı en çok yapılan ürün, bir önceki yılda olduğu gibi 789,335 milyon Dolar (ABD) değer ve % 79,8 artışla renkli televizyon olmuştur.

Telekomünikasyon cihazları üretimi 1997-1998'de %6,1 azalarak 665,500 milyon Dolardan (ABD) 624,372 milyon Dolara (ABD) düşmüştür. Telekomünikasyon cihazları dışalımı % 47,6 bir artışla 835,279 milyon Dolardan (ABD) 1,200 milyar Dolara (ABD) yükselmiştir. Toplam dışalım tutarının % 59'luk kısmı (708,1 milyon Dolar (ABD)) telsiz-telefon verici cihazları, radar ve telsiz-telefon alıcı cihazlarına aittir. Telekomünikasyon cihazları toplam dışsatımı % 10'luk bir artış ile 137,807 milyon Dolardan (ABD) 151,815 milyon Dolara (ABD) yükselmiştir.

Profesyonel ve Endüstriyel Cihazlar Alt Sektörünün iç pazarı büyük ölçüde diğer üretim sektörleri ve tesisleriyle sınırlıdır. Sektörün tüm elektronik sektör üretimi içindeki payı son derece düşüktür. Sektörde yer alan firmaların büyük çoğunluğu küçük ölçekli firmalardır. Öte yandan kamunun profesyonel cihaz ihtiyacı için yaptığı alımlarda yerli üreticiye öncelik tanınmaması, hatta dışlanması ve yabancı firmalarla rekabet edememesi sektörün gelişmesini engelleyen önemli bir faktördür. Bu durum sektörün bazı ürün gruplarında üretim yapan yerli firmaların ticarete kayması ve üretim yapan firma sayısının hızla azalması sonucunu doğurmaktadır. Sektör üretimi 1997-1998'de %5,1 artış ile 195,000 milyon Dolardan (ABD) 205,000 milyona Dolar (ABD) yükselmiştir. Sektörün toplam dışsatım 1997 yılına göre % 11,6 bir artışla 31,372 milyon Dolardan (ABD), 35,018 milyon Dolara (ABD), dışalım ise % 4,9 bir artışla 910,231 milyon Dolardan (ABD) 955,557 milyon Dolara (ABD) ulaşmıştır.

Bilgisayar alt sektörü dışalımı 1997'ye göre %12,2 artarak 810,779 milyon Dolardan (ABD) 809,703 milyon Dolara (ABD) yükselmiştir. Dışsatım ise 1997-1998'de %59,0 artarak 30,655 milyon Dolardan (ABD) 48,765 milyon Dolara (ABD) yükselmiştir. Sektörde üretim yapılmamaktadır. Bilgisayar alt sektörü pazarı 1997'ye göre % 26,7 büyüme göstererek 1,586 milyar Dolardan (ABD) 2,010 milyar Dolara (ABD) ulaşmıştır. 1998 yılında % 71,9 oranla donanım satışları 1997 yılında olduğu gibi ilk sırada yer almıştır. Donanımı % 13,8 pay ile hizmetler ve % 11,7 pay ile yazılım satışları izlemektedir.

Askeri elektronik üretimi 1997-1998 arası %1,8 artış ile165,500 milyon Dolardan (ABD) 168,500 milyon Dolara (ABD) ve dışsatım 1997-1998 arası %73,0 artış ile 35,800 milyon Dolardan (ABD) 62,000 milyon Dolara (ABD) yükselmiştir. Askeri elektronikte dışalım yapılmamaktadır.

Bileşenler alt sektöründe üretim 1997 yılına göre % 2,2'lik bir azalma ile 130,000 milyon Dolardan (ABD) 127,152 milyon Dolara (ABD) düşmüştür. Dışalımda 1997 yılına göre fazla bir değişiklik olmamış ve toplam dışalım değeri 943,431 milyon Dolardan (ABD) 944,346 milyon Dolar (ABD),

dışsatımda ise % 19,2 bir artma ile 62,413 milyon Dolardan (ABD) 74,354 milyon Dolara (ABD) ulaşmıştır.

Dünya piyasalarında rekabetin esas tuttuğu devre elemanları (diyot, transistor, tümdevre vb.) konularında büyük sermaye kullanılarak ciddi yatırımlara girilebilir. Dünyada ancak bir kaç ülkenin tutunabildiği ve sürekli eleman teknolojisinin değiştiği bu konuda başarı sağlamak için, büyük teknolojik ve mali birikim gerekmektedir. Bugün ülkemizde baskılı devreler, elektronik cihazların üretiminde kullanılan bobin ve transformatörler, elektronik röleler ve bağlantı elemanları sektörün ihtiyacına cevap verebilecek nitelik ve nicelikte üretilmektedir.

2000'de dünya yarıiletken pazarının ABD 55,3 milyar Dolar (ABD), Avrupa 37 milyar Dolar (ABD), Japonya 37,5 milyar Dolar (ABD) ve Asya Pasifik 424 milyar Dolar (ABD) olmak üzere toplam 172,3 milyar Dolar (ABD) olması beklenmektedir. Yarıiletken pazarını ayrık elemanlar (14,5 milyar Dolar (ABD)), optoelektronik (6,5 milyar Dolar (ABD)), bipolar dijital (0,9 milyar Dolar (ABD)), analog (24,8 milyar Dolar (ABD)), MOS Mikro (60,8 milyar Dolar (ABD)), MOS lojik (27 milyar Dolar (ABD)), MOS bellek (37,7 milyar Dolar (ABD)) oluşturur. Bu hızlı büyümenin nedeni elektronik ürünlerin artması ve tümdevrelerdeki teknolojik gelişmelerdir. Dünya elektronik pazarı (yaklaşık olarak ABD'nin iki katı) benzer oranda artmaktadır. Elektronik endüstrisi 2000 yıllarında otomobil, kimya ve çelik endüstrisini de geçecektir.

1996 dünya elektronik eleman endüstrisinde dünyanın en büyük ihracatçı ülkeleri sırası ile Japonya (76,2 milyar Dolar (Kanada), ABD (66,4 milyar Dolar (Kanada)), Singapur (43,6 milyar Dolar (Kanada)), Malezya (27,5 milyar Dolar (Kanada)), G. Kore (26,4 milyar Dolar (Kanada)), İngiltere (21,0 milyar Dolar (Kanada)), Almanya (19,4 milyar Dolar (Kanada)), Fransa (13,3 milyar Dolar (Kanada)), Hollanda (13,0 milyar Dolar (Kanada)), Filipinler (10,8 milyar Dolar (Kanada)), Kanada (9,6 milyar Dolar (Kanada)), İrlanda (7,6 milyar Dolar (Kanada)), Çin H.C. (6,8 milyar Dolar (Kanada)), Meksika (6,5 milyar Dolar (Kanada)) ve Hong Kong (5,5 milyar Dolar (Kanada))dur.

Elektronik eleman endüstrisinde dünyanın en büyük ithalatçı ülkeleri ise sırası ile ABD (92,7 milyar Dolar (Kanada)), Singapur (44,0 milyar Dolar (Kanada)), Malezya (29,5 milyar Dolar (Kanada)), Japonya (29,2 milyar Dolar (Kanada)), Hong Kong (28,3 milyar Dolar (Kanada)), İngiltere (27,1 milyar Dolar (Kanada)), Almanya (24,8 milyar Dolar (Kanada)), G. Kore (19,0 milyar Dolar (Kanada)), Fransa (15,1 milyar Dolar (Kanada)), Kanada (13,8 milyar Dolar (Kanada)), Meksika (12,1 milyar Dolar (Kanada)), Çin H.C. (11,4 milyar Dolar (Kanada)), Hollanda (10,9 milyar Dolar (Kanada)), Filipinler (10,2 milyar Dolar (Kanada)) ve İrlanda (6,2 milyar Dolar (Kanada)) dır.

Analizlere göre dünya yarıiletken pazarı dünya elektronik pazarından iki kat daha hızlı büyümektedir. Tahminlere göre yarıiletken endüstrisi 10-15 yıl daha geçmişte olduğu gibi büyümeye devam etmektedir.

Elektronik endüstrisinde gelişmiş ülkeler arasında sayılan Japonya tüketici elektroniğine odaklanmıştır. Japonya elektronik endüstrisi 1998 yılı toplam üretimi 173 milyar Dolar (ABD), toplam ihracatı 93 milyar Dolar (ABD) ve toplam ithalatı 40 milyar Dolar (ABD) dır. Diğer taraftan, Japonya Bilgisayar ve ilgili cihaz üretimi (1998) 44 milyar Dolar (ABD) dır. Japonya

bilgisayar yazılım ihracatı 676 bin Dolar (ABD) iken ithalatı 4,5 milyar Dolar (ABD)dır. Japonya ithalatının %90'ını ABD'den karşılamaktadır.

Gelişmiş Japonya elektronik endüstrisi ile gelişmekte olan Türkiye elektronik endüstrisi karşılaştırılırsa Japonya elektronik endüstrisi üretiminin Türkiye elektronik endüstrisi üretiminın ve Japonya elektronik endüstrisi ihracatının Türkiye elektronik endüstrisi ihracatının yaklaşık olarak 75 katı ve Japonya elektronik endüstrisi ithalatının Türkiye elektronik endüstrisi ithalatının yaklaşık olarak 9 katı olduğu görülmektedir.

Elektronik endüstrisi gelişmenin bir ölçüsüdür. Elektroniğin kalkınma ve savunma sanayine bilimsel ve teknolojik yönlerden büyük katkıları bulunmaktadır. Aynı zamanda insan gücünden ve beyin potansiyelinden azami istifade etme özelliğinden dolayı gelişen ülkelerin önem ve öncelik verdiği bir endüstridir.

Elektronik endüstrisi Türkiye'de maalesef kısıtlı sınırlar içinde kalmıştır. Dolayısıyla, elektronik endüstrisinin alt sınıfı olan mikroelektronik endüstrisinden veya yarıiletken endüstrisinden söz etmek zordur. Süratli gelişmeler gösteren elektronik teknolojisine dayanan ve çağdaş medeniyet gereklerine uygun bir elektronik endüstrisinin gelişmesi ancak gerekli teknolojinin kısa zamanda ülkemize getirilmesi ve gerekli "know-how" yönteminin de ülke içi imkanlar ölçüsünde geliştirilmesi ile mümkün olacaktır. Gelecekte ülkemizde elektronik endüstrisinin kurulması her bakımdan zorunlu görülmektedir.

Bu zor hedefin gerçekleşmesinde ilgili kamu kurum ve kuruluşları, üniversite ve diğer akademik kuruluşlar ile özel sektöre kapsamı çok geniş, ağır görev ve yükler düşmektedir.

Endüstri-üniversite ilişkilerinin verimli ve başarılı olabilmesi için şu koşulların sağlanması gerekir:

i. Modern bir sanayi kuruluşu,
ii. Sanayi kuruluşunda Ar&Ge zihniyeti ve imkanları,
iii. Üniversitede ilgili dallarda takım oluşturabilecek sayıda ve nitelikte öğretim üyesi bulunması,
iv. Sanayide üniversitenin neyi nereye kadar yapabileceğini bilen, eğitimi ve bilgisiyle üniversitelerle işbirliği yapabilecek, ortak bir dil konuşabilecek ve akademik sonuçları uygulamaya aktarabilecek düzeyde ekip bulunması,
v. Sanayinin plan ve program yapmasına imkan sağlayacak düzeyde istikrarlı bir pazara sahip olunması.

Türkiye'nin endüstrileşmesine damgasına vurmuş tarihi üniversitemiz İTÜ, dünya ölçeğinde saygın bir yer edinmiş ODTÜ gibi lokomotif görevi yapabilecek üniversitelerimizin yeni akademisyen yetiştirme kaynakları nerede ise kurutulmuş durumdadır.

Türkiye'nin Elektrik-Elektronik alanında söz sahibi olmaya niyeti var ise hem devletin, hem de üniversite ve endüstrinin bir zihniyet reformundan geçmesi gerekir. Konunun hassasiyeti ve önemi kavranmalı, dışa bağımlılıktan kurtulup kendi ayakları üzerinde durabilen ve kendi teknolojisini üretebilen güçlü bir Türkiye için yukarıda sayıların koşulların zaman kaybetmeden yerine getirilmesi gerekir. Aksi halde, Bilgi Teknolojisini kullanamayan bir Türkiye'nin gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşması mümkün değildir.



YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

# KAYNAKLAR


[1] Hibberd, R.G., "Solid State Electronics", Texas Instrument Electronic Series, Mc Graw-Hill Book Company, 1968.

[2] Tyagı, M.S., "Introduction to Semiconductor Materials and Devices" , John Wiley & Sons, 1991.

[3] Herbst, L.J., "IC Engineering", Oxford Science Publications, 1996.

[4] Millman, J., Halkias, C.C., "Microelectronics", Mc Graw-Hill International Editions, Electronic Engineering Series, 1987.

[5] Rutkovski, G.B., Oleksy, J.E., "Solid State Electronics", 4th Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1992.

[6] Schilling, D.L., Belove, C., "Electronic Circuits Discrete and Integrated", 3rd Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1989.

[7] Kang, S.M., Leblebici, Y.,"CMOS Digital Integrated Circuit Analysis and Design", Mc Graw-Hill Companies, Inc, 1996.

[8] Ghandhi, S.K., "VLSI Fabrication Principles", 2nd Edition, Wiley, 1994.

[9] Frederikson, T.M., "Intuitive IC electronics", B.S.E.E., Mc Graw-Hill Book Company, 1982.

[10] Hnatek, E.R., "Application of Linear ICs", A Wiley- Inter Science Publication, USA, 1975.

[11] Spinks, B., "Introduction to IC Layout", Motorola Inc, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1985.

[12] Wolf, S., Tauber, R.N., "Silicon Processing for the VLSI Era V.1 -Process Technology", Lattice Press, Sunset Beach, California, 1986.

[13] McGuire, G.E., "Semiconductor Materials and Process Technology Handbook", Noye Pub., Park Ridge, New Jersey, USA,1988.

[14] Toeger, R.C., "Introduction to Microelectronic Fabrication, Volume IV", Addison Wesley Pub., Com. Inc., USA, 1988.

[15] Soane, D.S., Martynenko, Z., "Pollymers in Microelectronics", Elsevier Sci. Pub. Com. Inc., Netherlands, 1989.

[16] Luryi, S., Xu, J., Zaslovsky, A., "Future Trends in Microelectronics, Reflections the Road to Nanotechnology", NATO ASI Series, Series E Applied Sciences, Vol. 323, 1996.

[17] Beach, D.P., Foraker, W.J., "Electronics Fundamentals&Every Applications", Delmar Pub. Inc., 1991.

[18] Murago, S., "VLSI System Design", A Wiley Inter Science Publication John&Wiley Sons, 1982.

[19] Zant, P.V., "Microchip Fabrication", 2nd Edition, McGrawHill, 1997.

[20] "Elektronik Araştırma Ünitesinin Kuruluş ve Amaçları ile Çalışma ve Gelişme Programı Hakkında Rapor", TÜBİTAK, Ocak 1972.

[21] TESİD Elektronik Sanayii Almanağı 1999, TESİD, Yayın No:20, Suadiye, İstanbul, Ağustos, 1999.

[22] www.jeida.or.jp, 14.02.2000.

[23] www.strategis.ic.gc.ca, 11.02.2000.

[24] www.wk.or.at/feei/, 10.02.2000.

[25] www.aiia.com.au, 10.02.2000.

[26] www.doe.ernet.in, 03.03.2000.

[27] www.gm.hu, 11.02.2000.

[28] www.mpo.cz, 11.02.2000.

[29] "Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi", 11-17 Eylül 1995, Uludağ, Bursa.

[30] www.wsts.org, 10.02.2000.

[31] "Semiconductor Internatıonal Capacity Statistics", Lantie4 5512, NG VESSEM, Hollanda 31.
[32] www.sia.org, 03.03.2000.
[33] Sze, S.M., "VLSI Technology", 2nd Edition, Mc-Graw-Hill B. C., 1988.
[34] American Electronics Association, U.S. Embassy Tokyo 1-10-5 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japonya.
[35] "International Conference on Microelectronics (ICM) 16 th ", September 5-7th , 1994, İstanbul, Türkiye.
[36] "Yarıiletken Teknolojisi ve Mikroelektronik Kongresi", TÜBİTAK, 26-27 Aralık, 1985, Gebze, KOCAELİ
[37] Çalışkan, A.U., Konur, E., "TÜBİTAK'ta Tümdevre Üretim Teknolojisi Alanındaki Çalışmalar", TÜBİTAK MAM UEKAE, YİTAL Bölümü.
[38] İTÜ, KOSGEB, ETA(Tümdevre Tasarım Merkezi) Bölümü, Ayazağa Kampusu, Ayazağa, Beşiktaş, İstanbul.
[39] www.boun.edu.tr, 02.12.1999
[40] www.netas.com.tr, 28.09.1999
[41] www.alcatel.com.tr, 28.09.1999
[42] www.bilten.metu.edu.tr, 25.10.1999
[43] www.aselsan.com.tr, 28.09.1999
[44] Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı:370-371, Cilt: 34, Yıl: 1989.
[45] www.nsf.gov, 02.12.1999
[46] www.goesser.mit.edu, 06.03.2000
[47] www.cnf.cornell.edu, 15.11.1999
[48] www.nanotech.ucsb.edu, 02.12.1999
[49] www.nanonet.msrce.howard.edu, 10.12.1999
[50] www.emprl.psu.edu, 06.03.2000.
[51] www.mosis.org, 06.03.2000.
[52] www.eecs.mit.edu, 06.03.2000.
[53] www.umich.edu, 06.03.2000.
[54] www.auburn.edu, 07.02.2000.
[55] www.mtl.umn.edu, 06.03.2000.
[56] www.ccsm.uiuc.edu, 03.01.2000.
[57] www.ee.princeton.edu, 06.03.2000.
[58] www.engr.sjsu.edu, 06.03.2000.
[59] www.ece.louisville.edu, 06.03.2000.
[60] www.nd.edu/~ee/, 06.03.2000.
[61] www.ecn.purdue.edu, 06.03.2000.
[62] www.utexas.edu, 06.03.2000.
[63] http://ceaspub.eas.asu.edu/csser, 06.03.2000.
[64] www.idbsu.edu, 06.03.2000.
[65] www.eeel.nist.gov, 06.03.2000.
[66] www.vrg.utoronto.ca, 06.03.2000.
[67] www.lisa.polymtl.ca, 06.03.2000.
[68] www.doe.carleton.ca, 06.03.2000.
[69] www.cs.sfu.ca, 06.03.2000.
[70] www.ee.ed.ac.uk, 10.12.1999
[71] http://eleceng.ukc.ac.uk, 03.01.2000.
[72] www.sees.bangor.ac.uk, 03.01.2000.
[73] www.ecs.soton.ac.uk, 10.12.1999
[74] www.umist.ac.uk, 10.12.1999
[75] www.ee.surrey.ac.uk, 10.12.1999
[76] www.iis.fhg.de, 07.02.2000.

[77] www.imec.be, 14.02.2000.
[78] www.delta.dk, 14.02.2000.
[79] www.nvlsi.no, 14.02.2000.
[80] www.dimes.tudelft.nl, 07.02.2000.
[81] www.erso.itri.org, 14.02.2000.
[82] www.ee.cuhk.edu.hk, 03.03.2000.
[83] http://ime.pku.edu.cn, 03.03.2000.
[84] www.tsinghua.edu.cn, 14.02.2000.
[85] www.vtt.fi, 14.02..2000.
[86] www.philips.com, 14.02.2000.
[87] http://www.sssl.co.uk, 14.02.2000.
[88] Gentili, M., Giovannella, C., Selci, S., "Nanolithography: A Borderland between STM, EB, and X- Ray Lithographies", NATO ASI Series, Series E, Applied Science, Vol 264, , K. A. P. , London, 1993.
[89] Eberl, K., Petroff, P.M., Demeestar, P., "Low Dimensional Structures Prepared by Epitaxial Growth or Regrowth on Patterned Substrates", NATO ASI Series, Series E: Applied Science, Vol 298, K. A. P. ,Boston/London, 1995.
[90] Luryi, S., Xu, T., Zaslovsky, A., "Future Trends in Microelectronics Reflections on the Road the Nanotechnology", NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences Vol 323, K. A. P., London, 1996.
[91] "Bell Labs Technical Journal Multi-Theme Issue", Volume 3, Number 3, July, September, USA, 1998.
[92] Nebel, W., Memer, J., "Low Power Design in Deep Submicron Electronics", NATO ASI Series: Applied Sciences, Series E, Vol 337,K. A. P. , London, 1997.
[93] Binh, V.T., Garcia, N., Dransfeld, K., "Nanosources and Manipulation of Atoms Under High Fields and Temperatures: Applications", NATO ASI Series, Series E, Vol 235, K. A. P. , London, 1993.
[94] Coffa, S., Priolo, F., Rimini, E., Poate, J.M., "Crucial Issues in Semiconductor Materials and Processing Technologies", NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences, Vol 222, K. A. P. , London, 1991.

# ÖZGEÇMİŞ

1974'de Trabzon'un Akçaabat ilçesinin Gökçekaya köyünde doğdu. İlk öğrenimini Gökçekaya Köyü İlkokulunda, Orta öğrenimini Akçaabat İmam-Hatip Lisesinde ve Lise öğreniminin ilk yılını Akçaabat Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünde ve kalan 3 yılını Trabzon Teknik Lisesi Elektronik Bölümünde tamamladı. 1992-1993 Eğitim - Öğretim yılında T.C. Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik - Bilgisayar Öğretmenliği Bölümünü kazandı. Bu bölümün Elektronik Programından 1997' de mezun oldu. 1997-1998 Eğitim - Öğretim yılında T.C. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Haberleşme Eğitimi Programını kazandı. Halen kazanmış olduğu programın Elektronik Dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

**KAYNAK GÖSTERİLMEDEN HİÇBİR ŞEKİLDE KULLANILAMAZ.**

Güngör DURDU