



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK ARAYÜZEYLİ GaAs SCHOTTKY
DİYODLARIN ELEKTRİKSEL
KARAKTERİZASYONU

Feza BOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalını

ŞUBAT-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Feza BOY tarafından hazırlanan "ORGANİK ARA YÜZEYLİ GaAs SCHOTTKY DİYODLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU" adlı tez çalışması 26/02/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü FİZİK Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Haluk ŞAFAK

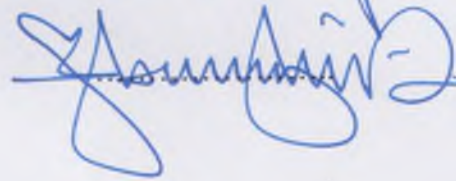
Danışman

Doç.Dr. Mehmet ŞAHİN

Üye

Yrd.Doç.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması S.Ü. BAP Koordinatörlüğü tarafından 11201013 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Feza BOY

05.02.2013

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORGANİK ARAYÜZEYLİ GaAs SCHOTTKY DİYODLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Feza BOY

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ŞAHİN

2013, 57 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Haluk ŞAFAK

Doç. Dr. Mehmet ŞAHİN

Yrd.Doç.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

Bu tez çalışmasında organik (perylene-diimide) ara yüzeyli Ag/n-GaAs yarıiletken Schottky diyodun elektriksel karakterizasyonu geniş bir sıcaklık aralığında sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama aşamasında öncelikle (100) doğrultusunda büyütülmüş n-GaAs tabakaya, In ohmik kontak yapılmıştır. Daha sonra spin kaplama yöntemiyle, n-GaAs tabakanın diğer yüzeyi perylene-diimide ile kaplanmış ve bunun üzerine Ag doğrultucu Schottky kontaktları ısıl buharlaştırma yöntemiyle oluşturulmuştur. İlk olarak, hazırlanan diyodların 75-350 K sıcaklık aralığında akım-gerilim (I-V) ölçümleri gerçekleştirilmiş ve diyod karakteristiği sergiledikleri görülmüştür. I-V karakteristiklerinden idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç gibi diyota ait bazı parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler, Cheung-Cheung yöntemiyle de hesaplanmış ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca perylene ara yüzeyli Schottky diyodun ara yüzey durumlarını belirlemek için oda sıcaklığında 1MHz frekansında sığa-gerilim (C-V) karakteristikleri de incelenmiştir. Bu ölçümlerden, taşıyıcı yoğunluğu, engel yüksekliği gibi diyota ait bazı elektriksel parametreler belirlenmiştir. I-V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği ile C-V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Sonuçta her iki yöntem ile belirlenen değerlerin uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: organik yarıiletkenler, metal-yarıiletken kontaktlar, Schottky kontak, elektriksel özellikler, Perylene-diimide.

ABSTRACT

MS THESIS

ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF GaAs SCHOTTKY DIODES WITH ORGANIC INTERFACE

Feza BOY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN DEPARTMENT OF PHYSICS**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

2013, 57 Pages

Jury

Prof.Dr. Haluk ŞAFAK

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

Ass. Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

In this thesis, electrical characterization of an Ag/n-GaAs semiconductor Schottky diode with organic (perylene-diimide) interface has been systematically carried out over a wide temperature range. In sample fabrication stage, first, the ohmic In contact has been performed on one surface of n-GaAs wafer grown in direction of (100). Later, the other surface of the wafer has been coated with perylene-diimide by spin-coating method and then the Schottky contacts have been constituted on the organic material via thermal evaporation method. The current-voltage (I-V) characteristics of prepared Schottky diodes have been measured at a temperature range of 75-350 K and it has been observed that the diode have a rather good rectification behavior at all temperature. By using the I-V characteristics, the idealite factor, barrier height and some other diode parameters have been calculated for all temperatures. These parameters have also been calculated by means of Cheung-Cheung methods and given as comparatively. Besides, for determine the interface states of Schottky diode with perylene interface, capacitance-voltage (C-V) characteristics have been investigated at room temperature at 1MHz frequency. From these measurements, the concentration of carriers, barrier height and some other diode parameters have been obtained. The barrier heights of diode have been compared with the results obtained by I-V and C-V methods. It has been seen that there is a good agreement with each other.

Keywords: organic semiconductors, metal-semiconductor contacts, Schottky contacts, electrical properties, Perylene-diimide.

ÖNSÖZ

Schottky diyodlar, teknolojik alanda sürekli olarak ihtiyaç duyulan bir aygıt olması nedeniyle, her zaman ilgi çeken ve üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Bu teknolojik öneminden dolayı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyodun elektriksel karakterizasyonu farklı sıcaklıklarda ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında, ilgi ve alakalarından dolayı bana elinden gelen gayreti gösteren ve beni sürekli motive eden danışman hocam Doç. Dr. Mehmet ŞAHİN'e teşekkürü bir borç bilir, minnetlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca numunelerin hazırlanmasında, deneylerin yapılmasında ve sonuçların değerlendirilmesindeki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ö. Faruk YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım. Organik malzeme temininde destek veren Doç. Dr. Mahmut KUŞ'a teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için imkân sağlayan Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümüne ve Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne teşekkür ederim. Diğer taraftan sığa-gerilim ölçümlerinin değerlendirilmesinde katkılarından dolayı Türkiye Atom Enerjisi Kurumundan Doç. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU'na da teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu tez çalışması süresince benden manevi desteklerini esirgemeyen ve beni sabırla sürekli destekleyen sevgili eşime ve çocuklarıma şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması S.Ü. BAP Koordinatörlüğü tarafından 11201013 nolu proje ile desteklenmiştir.

Feza BOY
KONYA 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	1
2. TEORİK BİLGİ.....	3
2.1. Metal - Yarıiletken Kontakların Teorisi	3
2.1.1. n-tipi doğrultucu kontak.....	4
2.1.2. n-tipi omik kontak.....	7
2.1.3. p-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar	8
2.1.4. p-tipi yarıiletken omik kontaklar	11
2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları	12
2.2.1. Termiyonik emisyon teorisi (TE)	13
2.3. Organik Yarıiletkenler	17
2.3.1. Organik yarıiletkenlerin temel özellikleri.....	18
2.3.2. Organik yarıiletkenlerde akım iletim mekanizması.....	19
2.3.3. Organik yarıiletken aygıtlar	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Giriş	21
3.2. GaAs Kristalinin Temizlenmesi.....	21
3.1.1. Numune yüzeylerini kimyasal olarak temizleme aşamaları	21
3.2. Omik Kontakın Oluşturulması.....	22
3.3. Organik Filmin Hazırlanması ve Schottky Kontakın Yapılması	24
3.4. Deneyleerde Kullanılan Ölçüm Düzenekleri.....	25
4. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE TARTIŞMA	28
4.1. Sıcaklığa Bağlı Akım-Gerilim (I-V) Karakteristikleri.....	28
4.2. Cheung-Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Akım-Gerilim Karakteristikleri.....	33
4.2. Sığa-Gerilim Karakteristikleri	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamaları
A	Alan
Å	Angström
Al	Alüminyum
Ag	Gümüş
A*	Etkin Richardson sabiti
C	Sığa
CH₃OH	Metanol
D_n	Elektron difüzyon sabiti
D_p	Deşik difüzyon sabiti
D_s	Arayüzey durum yoğunluğu
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_f	Fermi enerjisi
E(x)	Schottky bölgesindeki elektrik alan
E_a	Aktivasyon enerjisi
ε₀	Boşluğun dielektrik geçirgenliği
ε_i	Yalıtkan malzemenin dielektrik geçirgenliği
ε_s	Yarıiletken malzemenin dielektrik geçirgenliği
Hz	Hertz (Frekans birimi)
H₂O	Su
H₂O₂	Hidrojen peroksit
H₂SO₄	Sülfirik asit
HNO₃	Nitrik asit
HCl	Hidroklorikasit
HF	Hidroflorik asit
h	Planck sabiti
ħ	İndirgenmiş Planck sabiti (h/2π)
I	Akım
I₀	Doyma akımı
I_{gr}	Üretim- yeniden birleşme (rekombinasyon) akımı
I_{Ro}	Üretim-yeniden birleşme akımı yoğunluğu
J_{sm}	Yarıiletkenden metale doğru doyma akımı
J_{ms}	Metalden yarıiletkene doğru doyma akımı
J_o	Doyma akım yoğunluğu
J_{Fn}	Doğru beslem altında metalden yarıiletkene geçen elektron akım yoğunluğu
J_{Fp}	Doğru beslem altında metalden yarıiletkene geçen deşik akım yoğunluğu

K	Kelvin
k	Boltzmann sabiti
m_e[*]	Elektron etkin kütlesi
m_h[*]	Deşik (Hole) etkin kütlesi
m_o	Serbest elektron kütlesi
N_d	Verici (donor) atom yoğunluğu
N_a	Alıcı (akseptör) atom yoğunluğu
N_c	İletkenlik bandındaki etkin durumların yoğunluğu
N_v	Değerlik bandının etkin durumların yoğunluğu
N_{ss}	Yüzey durum yoğunluğu
N_{sb}	Yarıiletken ile dengede olan ara yüzey durumlarının yoğunluğu
N_{sa}	Metal ile dengede olan ara yüzey durumlarının yoğunluğu
n(x)	Elektron yoğunluğu
p(x)	Deşik yoğunluğu
n	İdealite faktörü
n_i	Saf elektron yoğunluğu
Q_m	Metal üzerindeki yük
Q_{ox}	Oksit tabaka yükü
q	Elektrik yükü
R_s	Seri direnç
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık
V	Voltaj
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru beslem
V_R	Ters beslem
W_d	Tüketim tabakasının kalınlığı
υ_x	Taşıyıcı hızı
Φ_o	Nötral enerji seviye
Φ_B	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bo}	Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_e	Etkin potansiyel engel yüksekliği
d	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	Ohm
ρ	Özdirenç
χ_s	Elektron ilgisi
ψ_s	Yüzey potansiyeli

π	pi sayısı
μ_n	Elektron mobilitesi
μ_h	Deşik (hole) mobilitesi
Ag/PDI/n-GaAs	Gümüş/Perylene-diimide/n-tipi GalyumArsenik Schottky diyot
a.c.	Alternatif akım/gerilim sinyali
d.c.	Doğru akım/gerilim sinyali
FE	Alan emisyonu
MIS	Metal/yalıtkan/yarıiletken
MS	Metal/yarıiletken
TFE	Termiyonik alan emisyonu
TE	Termiyonik emisyon
I-V	Akım-Gerilim
C-V	Sığa-Gerilim

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektrik keşfedildikten sonra, katıların iletkenliği hakkında yapılan araştırmalarda bazı katıların elektriği iyi iletmediği, bazılarının kısmen ve bazılarının da hiç iletmediği gözlemlendi. Genel olarak iletkenliğin tanımlanması, iletim ve valans bantlarındaki taşıyıcı (elektron ve deşik) yoğunluğu ile bu iki bant arasındaki yasak enerji bant aralığına göre yapılır. Buna göre katılar; iletken, yalıtkan ve yarı-iletken olmak üzere üç gruba ayrılır. Eğer valans bandı tamamen dolu değilse ya da iletim ve valans bandı birbirine çok yakın veya üst üste binmiş ise bu tür katılara iletken denir. Valans bandı tamamen dolu ve yasak enerji band aralığı çok geniş olan katılara yalıtkan denir. Taşıyıcı sayısı az, yasak enerji bandı yalıtkan ile iletken arasında bir bölgede ise, bu tür katılara yarı-iletken adı verilir (Kittel, 1996). Yarıiletkenlerin iletkenliği genellikle; sıcaklığa, aydınlanma şiddetine, elektrik alana, manyetik alana ve safsızlık atomlarının yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak önemli ölçülerde değişir.

Metal-yarıiletken doğrultucu sistemler üzerindeki ilk sistematik araştırma Braun tarafından yapılmıştır. Braun, 1874'de toplam direncin uygulanan gerilim polaritesine ve yüzey durumlarına bağımlı olduğunu kaydetmiştir (Braun, 1874). Değişik biçimlerdeki nokta-kontakt doğrultucuların pratik uygulamaları, 1900 yılının başlarında yapılmıştır (Bose, 1904). 1931 yılında Wilson, katıların band teorisine dayalı olarak yarıiletkenlerin akım iletim teorisini formüle etti (Wilson, 1931). Bu teori, daha sonra, metal-yarıiletken kontaklara uygulandı. 1938'de Schottky, metal yarıiletken yapıdaki potansiyel engelin, kimyasal bir tabaka olmayıp, sadece yarıiletken içerisindeki kararlı uzay yüklerinden kaynaklandığını ileri sürdü (Schottky, 1938). Bu düşünceden doğan model Schottky engeli olarak bilinir. 1938'de Mott, Mott engeli olarak bilinen, yarıiletken kontaklar için teorik bir model geliştirdi (Mott, 1966). 1957 yılında Henisch tarafından, doğrultucu metal-yarıiletken kontakların temel teorisi ve tarihi gelişimi, "Doğrultucu Yarıiletken Kontaklar" adlı bir kitapta toplandı (Henisch, 1984).

Doğru akım ve mikrodalga uygulamalarındaki öneminden ve diğer temel fiziksel parametrelerin analizinde araç olarak kullanılmasından dolayı, metal yarıiletken kontaklar üzerinde yoğun şekilde çalışma yapılmıştır. Yapılan son çalışmalarda, modern transistor teknolojisi ve düzeltilmiş vakum teknolojisi yardımı ile ideale yakın metal-yarıiletken kontaklar üretilmiştir.

Son zamanlarda birçok araştırmacı Schottky kontağın elektriksel özelliklerini modifiye etmek için ara yüzey malzemesi olarak organik yarıiletken malzeme kullanımı

üzerine çalışmalar yapmaktadır (Yakuphanoglu ve ark., 2010; Aydoğan ve ark., 2010; Okur ve ark., 2009; Gupta ve ark., 2005, Aydın ve ark., 2011; Yahia ve ark., 2011; Yüksel ve ark., 2011). Araştırmacıları organik yarıiletken üzerine çalışmaya yönelten birçok sebep vardır. Bunlar; organik yarıiletkenlerin spin kaplama ve baskı gibi ucuz ve tek seferde oldukça fazla üretim yapılabilen kaplama teknikleriyle ucuz maliyetle üretilibilmeleri, bükülebilir olmaları ve yüksek nonlineerlik gibi daha birçok özelliğe sahip olmaları şeklinde sıralanabilir (Güllü ve ark., 2010). Bu özellikleri sayesinde elektronik ve optoelektronik alanında organik ışık yayan diyot (Organic Light Emitting Diode-OLED), organik Schottky engel diyotları, organik alan etkili transistörler (Organic Field Effect Transistor-OFET), fotovoltaik güneş pilleri ve spintronik gibi teknolojik uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır (Yahia ve ark. 2011).

Yarıiletken güneş pillerinin belirli bir sınıfını metal-yarıiletken kontaklı piller oluşturmaktadır. Bu güneş pillerini daha da geliştirebilmek için benzer temel yapı olan metal-yarıiletken diyotların akım iletim ve kapasitif özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

GaAs, III-V grubu yarıiletkeni olup, diyod, transistor ve güneş pilleri gibi yarıiletken aygıtların yapımında önemli bir malzeme olarak göze çarpmaktadır (Wang, 2004). Özellikle GaAs tabanlı olarak yapılan aygıtların yüksek hızlı, düşük güç tüketimli aygıtlar olduğu tespit edilmiştir (Ambica, 2005). Dolayısıyla farklı GaAs metal-yarıiletken yapılar üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar genellikle Au/GaAs yapısı üzerinde yoğunlaşmıştır (Karataş, 2005).

Bu tez çalışmasında Ag/peryleneimide/n-GaAs (Ag/PDI/n-GaAs) organik arayüzeyli Schottky diyodunun Akım-Gerilim (I-V) ve Sığa-Gerilim (C-V) ölçümleri, geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen veriler kullanılarak bu yapıya ait idealite faktörü, engel yüksekliği, kontak direnci, doyma akımı gibi çeşitli diyot parametreleri belirlenmiştir. Sonuçlar sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmiş ve olan fiziksel etkileri tartışılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde organik yarıiletkenlerin tarihsel gelişimi ve literatür özeti verilmiştir. İkinci bölümde Schottky diyotların özellikleri ve organik yarıiletkenlerin genel özellikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan malzemenin temizlenme ve üretim aşamaları belirtilmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde yapılan ölçümler de bu bölümde anlatılmıştır. Sonuçlar ve tartışma başlığı ile verilen dördüncü bölümde, ölçümlerden alınan veriler değerlendirilmiştir. Son bölümde, genel bir değerlendirme yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

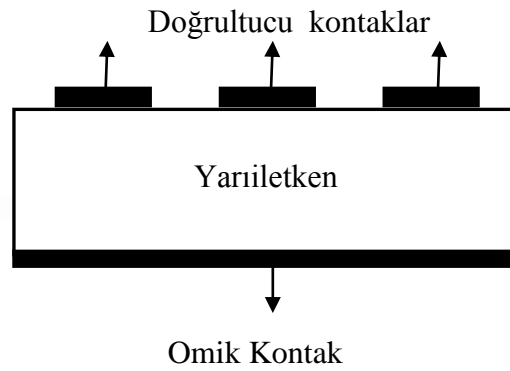
2. TEORİK BİLGİ

2.1. Metal - Yarıiletken Kontakların Teorisi

Schottky diyotların karakteristik özelliklerinin anlaşılabilmesi için yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özellikleri bilinmelidir. Bunun için kristale uygun kontaklar yapılmalıdır. Yarıiletken kristal ile kontak yapılacak malzeme, mümkün olduğunca çok küçük bir dirençle atomik boyutta temas etmelidir. Kontak, genel anlamıyla iki maddenin birbiriyle temas etmesidir. İdeal kontak oluşturmak için, kontak olarak kullanılan malzemelerin yüzeylerinin yeteri kadar temiz ve pürüzsüz olması gerekir. Metal ve yarıiletken kontak yapıldığında, termodinamik denge kuruluncaya kadar, yani her iki maddenin Fermi enerji seviyeleri eşit oluncaya kadar, hem metalden yarıiletkene hem de yarıiletkenden metale doğru yük alışverişi olur. Dolayısıyla, metal-yarıiletken ara yüzeyinde yüklerin ayrışmasıyla bir potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) oluşur. Bu bölgeye, hareketli yükler olmadığından, yüksek dirençli bir yalıtkan tabaka denir. Aynı zamanda bu bölgeye, bu konuda ilk çalışan bilim adamına atfen Schottky tabakası da denir. Schottky-Mott modeline göre potansiyel engel, iki maddenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

Metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ve yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) olmak üzere, bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan minimum enerji olarak tanımlanır. Fermi seviyesi, katılan alıcı veya verici atomların miktarına göre değiştiği için değişken bir yapıya sahip niceliktir. Diğer taraftan, yarıiletkenlerde katkı miktarına bağlı olmayan ve χ_s ile gösterilen elektron ilgisi önemli bir parametredir. χ_s , iletkenlik bandının en üst sınırından, bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji miktarıdır.

Metal-yarıiletken kontaklar, doğrultucu ve omik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Akım taşıyıcılarını (elektron ve deşik) bir doğrultudan diğerine göre daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontak denir. Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları kontakın omik kontak veya doğrultucu kontak olmasını belirler. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise omik kontak oluşur. Metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m > \Phi_s$ olması halinde omik kontak ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise doğrultucu kontak oluşur. Şekil 2.1 de, bir metal/yarıiletken kontak şematik olarak gösterilmiştir (Li, 2006).



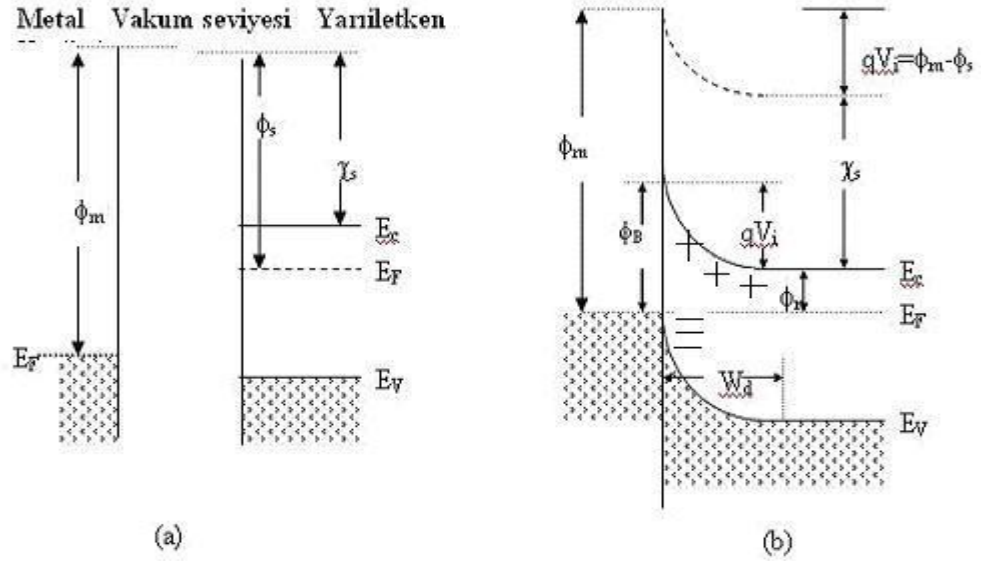
Şekil 2.1. Bir Schottky kontağın şematik görünümü

n-tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	doğrultucu kontak
	$\Phi_m < \Phi_s$	omik kontak
p-tipi	$\Phi_m < \Phi_s$	doğrultucu kontak
	$\Phi_m > \Phi_s$	omik kontak

2.1.1. n-tipi doğrultucu kontak

n-tipi yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m > \Phi_s$ ise, metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak oluşur. Kontak oluşturulmadan önce, metal ve n-tipi yarıiletken malzemenin enerji bant diyagramı Şekil 2.2.a'da görülmektedir. Şekil 2.2.a, yarıiletken yüzey durumlarını içermez, bunun sonucu olarak yüzeyin band yapısı, yarıiletkenin gövde (bulk) band yapısı ile aynı olup bandlarda bir eğilme yoktur. Şekil 2.2.b'de kontak oluşturulup termodinamik dengeye ulaşıldıktan sonraki enerji bant diyagramı görülmektedir. Burada, metal ve yarıiletken arasında yük alışverişi olduğu için bandlarda bir bükülme söz konusudur.

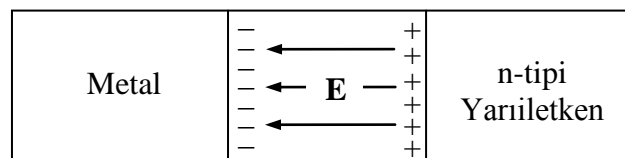
Metal, yarıiletkenle kontak yapıldığında, metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip olan yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, yarıiletkenin Fermi seviyesiyle metalin Fermi seviyesi eşit olana kadar metale doğru akarlar (Shroder, 2006). Yarıiletkendeki elektronlar metale gittiği için, yarıiletkenin sınıra yakın bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu azalır. İletkenlik band kenarı E_c ile Fermi seviyesi E_F arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile arttığı ve termal dengede E_F tamamen serbest kaldığı için iletkenlik ve valans band kenarı Şekil 2.2.b'deki gibi eğilir. Metale geçen iletkenlik band elektronları, arkalarında pozitif yüklü verici (donor) iyonları bırakırlar, böylece yarıiletkenin metale yakın kısmında



Şekil 2.2. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji-band diyagramı. (a) Birbirinden ayrılmış nötral malzemeler (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu (Sze, 1981).

hareketli yükler tüketilir. Ara yüzeyin yarıiletken tarafında pozitif yükler oluşur ve metale gelen elektronlar, ince bir negatif yük tabakası oluştururlar. Bu tabaka ara yüzeyden Thomas-Fermi film mesafesi ($\approx 0,5\text{\AA}$) kadar uzakta bir uzunluğun içinde kalır. Sonuçta metal tarafındaki yüzey yükleri ile n-tipi yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakası, kontakta bir potansiyel engelinin oluşmasına yani yarıiletken tarafında bantların yukarı doğru bükülmesine neden olur. Bu durumda Şekil 2.3’de görüldüğü gibi yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alan oluşur.

Yarıiletkenin yasak enerji aralığı kontak sebebiyle değişmediği için valans bant kenarı E_V , iletkenlik band kenarı E_C ’ye paralel olarak kayacaktır. Yarıiletkenin vakum seviyesi de aynı şekilde değişecektir. Bunun sebebi, yarıiletkenin elektron yakınlığının kontak ile değişmemesidir. Böylece termal dengedeki metal-yarıiletken sistemde, engel yüksekliğini belirlemek için önemli bir nokta olan geçiş bölgesinde vakum seviyesinin sürekliliği sağlanmış olur. Metal-yarıiletken arayüzeyinde oluşan bu engelin yüksekliği



Şekil 2.3. Metal ve yarıiletken kontakın termal denge durumu

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.1)$$

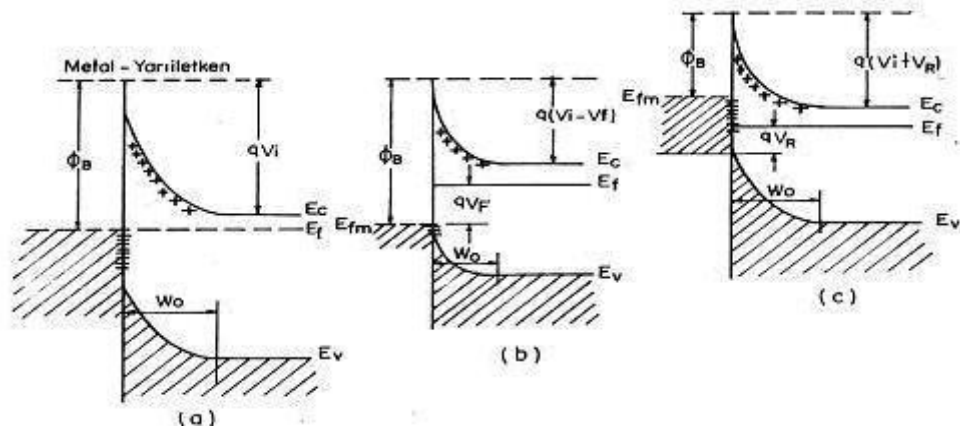
ile verilir (Wilson, 1931). $\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ ve $\Phi_m = qV_i + \Phi_s$ olduğu için ,

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.2)$$

elde edilir. Burada $\Phi_n = (E_c - E_F)$ olup, q elektronik yüküdür. Denk.(2.1), birbirlerinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir. Potansiyel engeli, uzay yük bölgesindeki yük dağılımından hesaplanabilir. Pek çok durumda engelin ϕ_B yüksekliği, termal enerji kT/q 'dan çok büyüktür. Yarıiletkenin uzay yükü bölgesi hareketli yüklerden yoksundur ve bunun sonucunda yüksek dirençli yalıtkan bir tüketim bölgesi oluşmaya başlar. Bu sabit uzay yükleri için elektrik alanın büyüklüğü, uzay yük tabakası kenarından olan uzaklıkla lineer olarak artar. Bunun sonucu olarak engel yüksekliği parabolik olur (Henisch, 1984). Mott, yarıiletken içinde yüklerin bulunmadığı ince bir bölge olduğunu kabul eder. Bu ince bölgede elektrik alanın büyüklüğü sabittir ve potansiyel, bu bölge boyunca lineer olarak artar. Bu Mott engeli olarak bilinir (Mott, 1966). Mott engeli, yüksek yoğunlukta katkılanmış yarıiletken ile metal arasına, az katkılanmış ya da katkılanmamış saf bir yarıiletken konulduğu zaman kullanılır.

Şekil 2.4.a'da termal denge durumunda doğrultucu kontağın enerji band diyagramı görülmektedir. Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale geçen elektronlarla metalden yarıiletkene geçen elektronlar dengelenir ve net bir akım oluşmaz. Yarıiletkenin tüketim tabakası çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için, bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötr kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir. Bu yüzden dışarıdan uygulanan voltajın tamamı bu bölgeye düşer. Dışarıdan uygulanan bu voltaj termal dengedeki band diyagramını değişikliğe uğratar. Bu değişimin sebebi, tüketim bölgesine düşen potansiyelin değişmesi ve band bükülmelerindeki değişikliklerden dolayı oluşur.

Metal tarafı pozitif, yarıiletken tarafı negatif olacak şekilde $V = V_F$ voltajı uygulandığında, tüketim bölgesinin genişliği azalır. Şekil 2.4.b'de gösterildiği gibi bu bölgedeki voltaj, qV_i 'den $q(V_i - V_F)$ 'ye azalır. Bu durumda yarıiletkendeki elektronların önündeki engel yüksekliği azalmış olacaktır, Bunun sonucu olarak da yarıiletkenden metale doğru elektron akımı termal denge değerine göre artacaktır. Metalden yarıiletkene elektron akımı termal denge değerine göre değişmez.



Şekil 2.4. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji Band diyagramı. (a) Termal denge durumu; (b) doğru beslem; ve (c) ters beslem (Sze, 1981).

Metal tarafı negatif, yarıiletken tarafı pozitif olacak şekilde $V=V_R$ voltajı uygulandığında, tüketim bölgesinin genişliği artar. Şekil 2.4.c'de gösterildiği gibi bu bölgedeki voltaj, qV_i 'den $q(V_i+V_R)$ 'ye artar. Bu durumda yarıiletkendeki elektronların önündeki engel yüksekliği artmış olacaktır. Bunun sonucu olarak da yarıiletkenden metale doğru elektron akımı termal denge değerine göre iyice azalacaktır ve herhangi bir akım geçişi gözlenmeyecektir (Balkanski ve Wallis, 2000).

2.1.2. n-tipi omik kontak

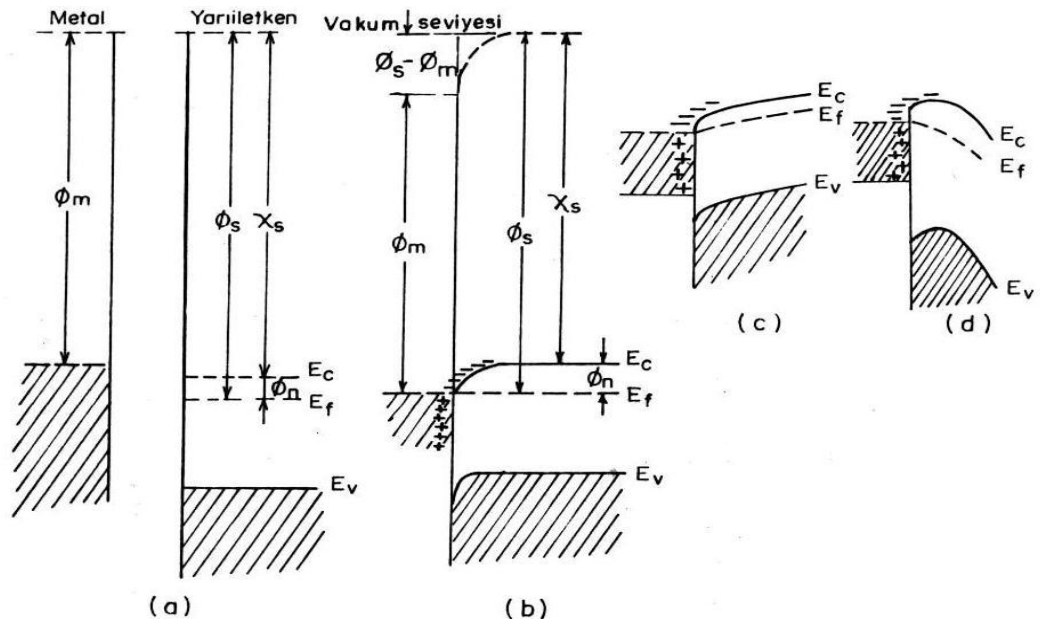
n-tipi yarıiletken iş fonksiyonu Φ_s metalin iş fonksiyonu Φ_m 'den büyük ise ($\Phi_m < \Phi_s$) omik kontak oluşur. $\Phi_m < \Phi_s$ olan n-tipi yarıiletken ile oluşturulan omik kontakın enerji band diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Malzemeler aynı durumda iken enerji band diyagramı Şekil 2.5.a'da görüldüğü gibidir.

Metal/n-tipi yarıiletken omik kontak oluşturulduktan sonra elektronlar metalden yarıiletkenin içine, geride pozitif bir yüzey yükü bırakarak akarlar ve kontakın yarıiletken tarafında bir negatif yüzey yüküne sebep olurlar (Neaman, 2003). Termal dengeye ulaşıldığında yarıiletkenin Fermi seviyesi Şekil 2.5.b'de gösterildiği gibi $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükselir. Yarıiletkende negatif yüklerin yığılması ile oluşan tabaka, Debye mesafesi kadar bir kalınlık içinde sınırlanır ve bunlar yüzey yükleridir. Metal içindeki elektronların konsantrasyonu çok fazla olduğu için metal tarafındaki pozitif yükler, metal-yarıiletken arayüzeyinden yaklaşık $0,5\text{\AA}$ bir uzaklık içinde sınırlanmış olan yüzey yükleridir. Yarıiletken içinde oluşan bir tüketim bölgesi yoktur ve yarıiletkenden metale ya da tersi yönde elektronların akması için bir potansiyel engeli yoktur. Arayüzey yakınındaki

bölgede elektron konsantrasyonu artırılır ve sistemin en yüksek dirençli bölgesi, yarıiletken bölgesinde oluşur. Şekil 2.5.c ve 2.5.d'de, doğru ve ters beslem altında yarıiletken bölgesi görülmektedir. Akımın, bu bölgenin direnci ile belirleneceği açıktır ve uygulanan voltajın yönünden bağımsızdır. Böyle doğrultucu olmayan kontaklar, omik kontak olarak isimlendirilir ve akımı iki yönlü iletir (Henisch, 1984).

Yarıiletkene pozitif ve metale negatif bir voltaj uygulandığında, metaldeki elektronlar yarıiletken tarafına kolay bir şekilde geçerler ve bundan dolayı omik kontaklara enjeksiyon kontakları da denir (Sze, 1981).

Pratikte omik kontak elde edilebilmek için n-tipi yarıiletken yüzeyine buharlaştırılan metal, yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Böylece yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşur. Bu tabaka yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından çok daha zengindir.



Şekil 2.5. $\Phi_m < \Phi_s$ için metal/n-tipi yarıiletken omik kontak için elektron enerji band diyagramı. (a) Birbirinden ayrı nötral materyaller; (b) termal dengede kontak; (c) yarıiletken negatif beslemde ve (d) yarıiletken pozitif beslemde (Sze, 1981).

2.1.3. p-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Metal ve p-tipi yarıiletken malzemenin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m < \Phi_s$ ise bu kontak doğrultucu olacaktır. Şekil 2.6'da, p-tipi bir yarıiletken için doğrultucu kontak enerji-band diyagramı gösterilmektedir. Uzay yük bölgesindekideşiklerin yoğunluğu, akseptör konsantrasyonu ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar azdır. Böylece

kontakın yarıiletken tarafında, uzay yük bölgesi, iyonize akseptör atomlarının konsantrasyonuna bağlı olarak W_o genişlikli bir tüketim tabakası içerir. Bu durum Şekil 2.6.b'dekine benzer şekilde, sadece iyonize donörlerin rolünü, iyonize akseptörler üstlenmiştir. p-tipi yarıiletkende akım,deşikler tarafından taşındığı için Şekil 2.6.b'dedeşikler için bir engel yüksekliği aramalıyız.

Oda sıcaklığında metalin iş fonksiyonu, yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük ise ($\Phi_m < \Phi_s$), kontak yapılmadan önce, Şekil 2.6.a'da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinin altındadır. Bu durumda, Fermi seviyeleri arasındaki fark, $\Phi_s - \Phi_m$ kadar olur (Rhoderick, 1988). Metal ile yarıiletken arasında kontak yapıldıktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi enerji seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metaldeki fazla elektronlar, yarıiletkene doğru akarlar. Böylece elektron akışından dolayı yarıiletken tarafındakideşikler iyonize olurlar.

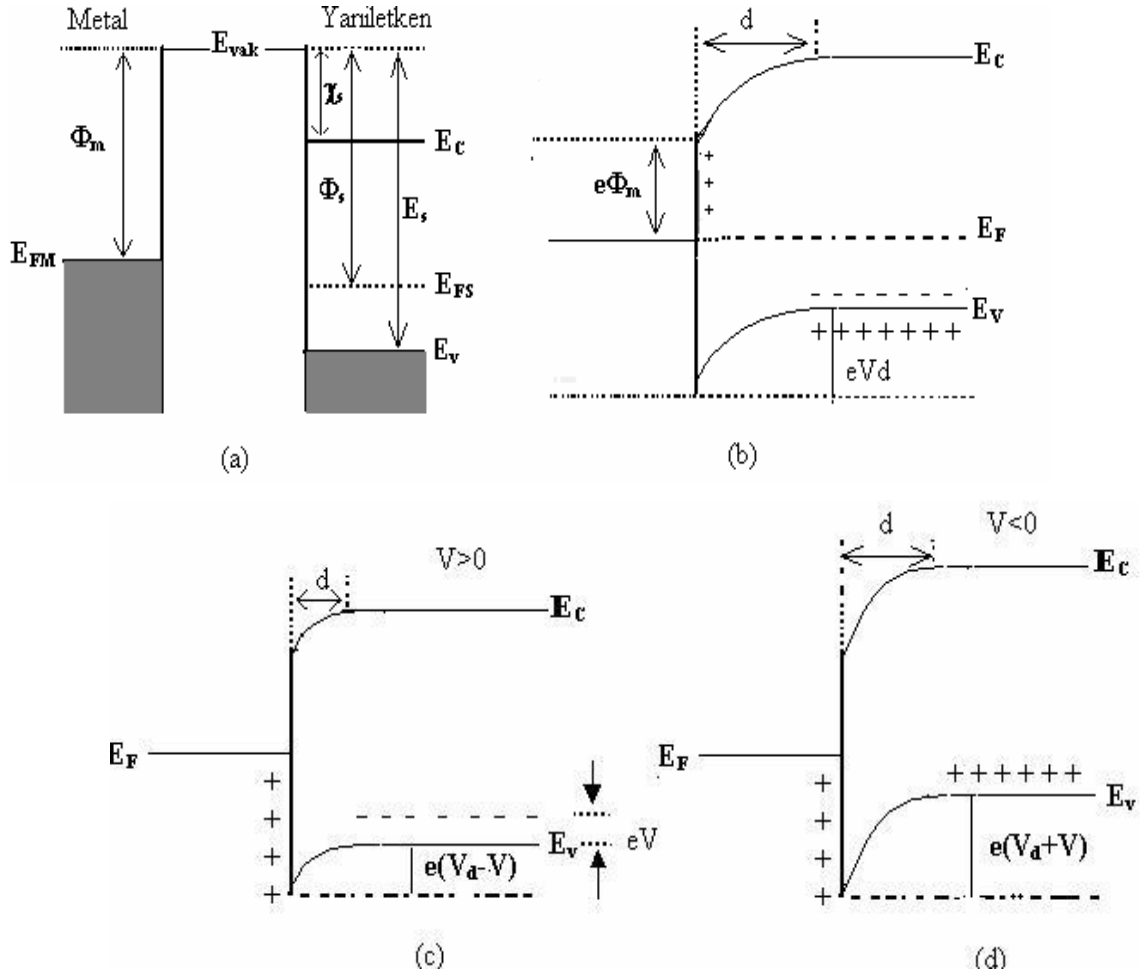
Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki negatif yüklü iyonize olmuş alıcılar (akseptör), d kalınlığındaki bir uzay yük tabakası içerisinde dağılırlar. Kontakten sonra yarıiletkenin enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındakideşikler için görülen engel yüksekliği,

$$eV_d = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.3)$$

olacaktır. Burada V_d kontak potansiyel farkı veya eklemi oluşturan potansiyel olarak bilinir. Yarıiletken içerisindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır (Neamen, 2003). Metal-yarıiletken kontakın metal tarafındakideşikler için görülen engel yüksekliği ise,

$$e\Phi_B = E_s - \Phi_m \quad (2.4)$$

olur. Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletken ve metal tarafındaki bazıdeşikler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanıp yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçebilirler. Bu durum sonucunda termal denge oluştuğunda, metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale olan akımlar eşit olur. Dengeyi bozmak için yarıiletkene pozitif V gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.2.c), yarıiletkenden metale oluşandeşik akımında $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar bir değişme olurken, metalden yarıiletkene olandeşik akımında bir değişiklik olamaz.



Şekil 2.6. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-band diyagramı.
a) Kontakdan önce, b) Kontakdan sonra ve termal dengede, c) $V \neq 0$ olması (pozitif gerilim),
d) $V \neq 0$ durumunda (negatif gerilim) (Sze, 1981).

Bu değişimden dolayı yarıiletkendeki bütün enerji seviyeleri, eV kadar düşer ve yarıiletkenden metale geçen deşikler için potansiyel engel yüksekliği eV kadar azalır. Yarıiletkenden metale akan deşiklerden dolayı oluşan akım pozitif olarak alınırsa, metal yarıiletken kontak için akım,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

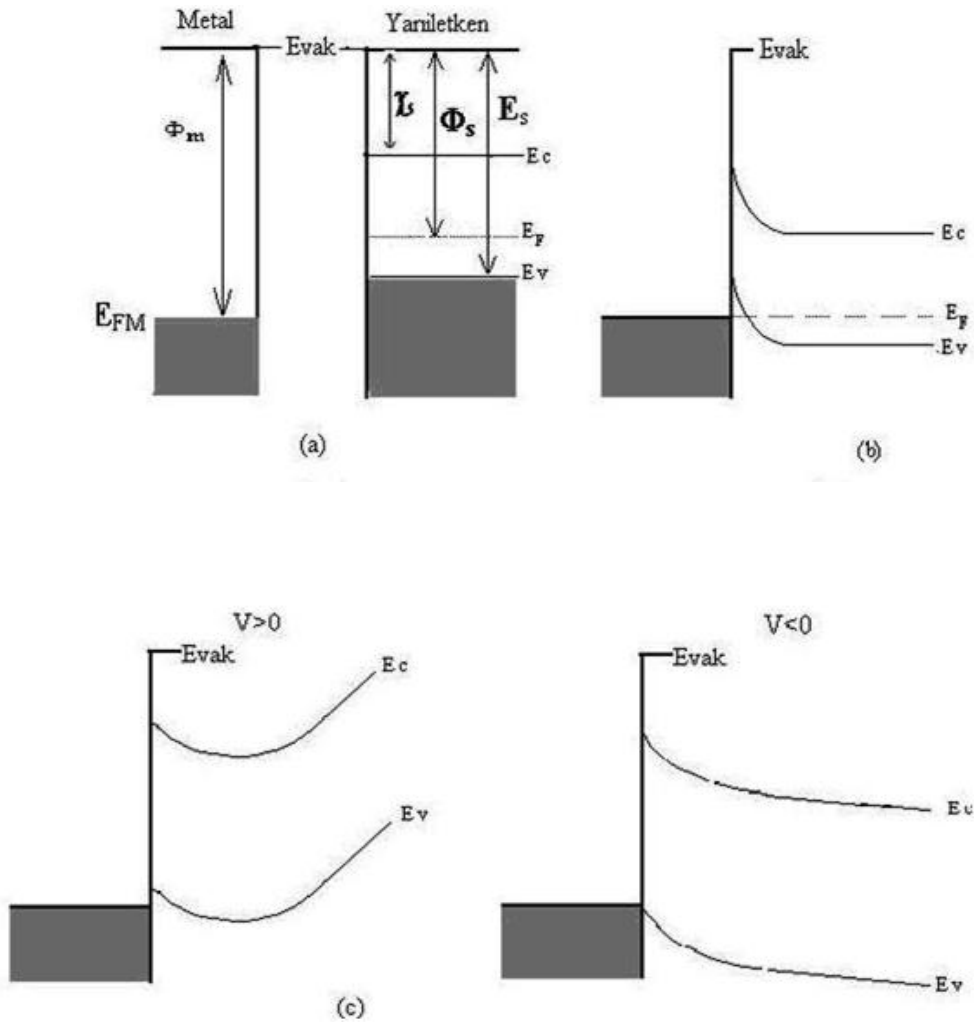
olur ve bu kontak doğrultucu bir kontaklıdır (Sze, 1981). Burada $V > 3kT/q$ olması durumunda yukarıdaki denklem,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir.

2.1.4. p-tipi yarıiletken omik kontaklar

Metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu ($\Phi_m > \Phi_s$) durumunu ele alalım. Bu durum, Şekil 2.7.a da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi, metalin Fermi enerjisi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ farkı kadar yukarıdadır. Yarıiletken içindeki elektronlar, yarıiletkenden ayrılarak arkalarında pozitif yükler bırakarak metal tarafına geçerler ve böylece metalin ön yüzeyinde negatif yükler oluşur. Ohm kanununa uyan ve her iki doğrultuda akım geçirebilen kontaklar, omik kontak diye adlandırılırlar. Dolayısıyla kontak direnci mümkün olduğu kadar düşüktür ve ancak birkaç mili ohm mertebesindedir. Uygun bir omik kontak için aygıtın performansı çok önemli değildir, düşük bir voltaj uygulanması ile akım geçirilebilir (Milnes ve Feucht, 1972).



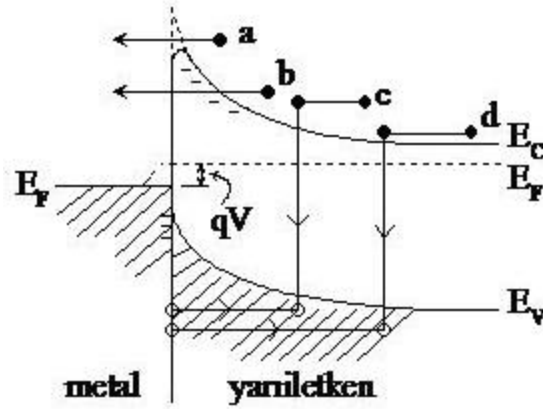
Şekil 2.7. Metal/p-tipi yarıiletken ohmik kontakın enerji-bant diyagramı. a) Kontak öncesi b) Kontak sonrası ve termal denge, c) $V \neq 0$ olması durumunda (Sze, 1981).

Yarıiletken tarafında azalan elektron konsantrasyonundan dolayı yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi Şekil 2.7.b’de görüldüğü gibi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı düşer. Yarıiletkende deşik yoğunluğunun artmasından dolayı da, yarıiletken ön yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Metaldeki elektronlar, yarıiletkenin içindeki izinli durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi deşiklerin yarıiletkenden metale doğru akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen deşikler (yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı) nötralize olurlar. Ters beslem altında, metalin iletkenlik bandından termal olarak oluşan deşikler de kolayca yarıiletken tarafına geçebilirler. Böylece hem metalden yarıiletkene hem de yarıiletkenden metale doğru kolayca akım geçebildiğinden bu tür kontaklar, omik kontaklar olarak bilinir (Sze, 1981). Şekil 2.7.c ise metal-yarıiletken omik kontakın doğru ($V > 0$) ve ters beslemdeki ($V < 0$) enerji bant diyagramlarını göstermektedir.

2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontakların dış gerilim altında akım-iletim mekanizmalarının tayini önemlidir. Kontakta arayüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerin Schottky diyotlardaki etkisini dikkate alarak, hangi durumda, hangi iletim mekanizmasının oluştuğunu belirlemek, sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. MS ve MIS yapılı kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları (Henisch, 1984; Ambica, 2005)

- Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- Difüzyon Teorisi
- Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- Kuantum Mekaniksel Tünelleme Termiyonik Alan Emisyonu (TAE)
- Alan Emisyonu (AE), Çok katlı tünelleme
- Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme
- Yüksüz bölgede yeniden birleşme
- Deşik enjeksiyonu



Şekil 2.8. Metal/yanıiletken (MS) kontaklarda doğru beslem altındaki akım iletim mekanizmaları (Sze, 1981).

Şekil 2.8’de doğru beslem altında metal/n-tipi yanıiletkende termal iletim mekanizması gösterilmiştir. Burada, (a) potansiyel engelin tepesini aşan elektronların iletimi, (b) elektronların kuantum mekaniksel tünellemesi, (c) Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme (yüksek katkılı yanıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygundur), (d) doğal bölgede deşik enjeksiyonunu ifade eder (Kutluca, 2007).

2.2.1. Termiyonik emisyon teorisi (TE)

Termiyonik emisyon sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların (elektronlar-deşikler) yayınlanması anlamına gelir. Bu olay metal-yanıiletken doğrultucu kontaklarda, yeterince (engeli aşmaya yetecek kadar) termal enerji kazanan taşıyıcıların, potansiyel engel üzerinden, metalden yanıiletkene veya yanıiletkenden metale geçmeleri olarak bilinir (Crowell ve Sze, 1966). Metal/n-tipi yanıiletken yapılarda bu mekanizma elektronlar, metal/p-tipi yanıiletken yapılarda ise bu mekanizma deşikler tarafından sağlanır (Bengi ve ark, 2007; Ziel, 1968). Metal tarafı uygulanan voltajdan bağımsızdır. Bundan dolayı termal enerjileri nedeniyle metal tarafındaki engeli aşan elektronların oluşturduğu bu akım yoğunluğu, J_0 termiyonik akım yoğunluğudur. Beethe’nin MS kontaklarda akımın, çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu Termiyonik Emisyon Teorisinin varsayımları şunlardır (Sharma, 1984; Sze, 1981; Schroder, D. K., 2006).

- Potansiyel engelinin yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.

-Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Kontak yüzeyini x-yönüne dik olarak alırsak, kontak yüzeyine dik doğrultuda elektronların x yönündeki hız bileşeni v_x olacaktır. Dolayısıyla yarıiletken gövdede hızları v_x ile $v_x + \Delta v_x$ arasında olan elektronların yoğunluğu,

$$dn_x = N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} dv_x \quad (2.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada N_d verici atomların yoğunluğu, m_n^* elektronun etkin kütlesi, k Boltzman sabiti ve T ise Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Eğer yarıiletkene bir gerilim uygulandığı zaman elektronların yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu, hızları $\frac{1}{2} m_n^* v_x^2 > qV_d$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımı;

$$\begin{aligned} j_{S \rightarrow M} &= \int_{v_{ox}}^{\infty} qV_x dn_x = \int_{v_{ox}}^{\infty} qN_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} v_x \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \\ &= qN_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) = qN_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{qV_d}{2kT} \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $v_x = \left(\frac{2qV_d}{m_n^*} \right)^{1/2}$ olup taşıyıcının, qV_d yüksekliğindeki potansiyel engelini aşması için sahip olması gereken minimum hızdır. Eğer iletkenlik bandının alt kenarı sıfır enerji seviyesi olarak referans alınır, verici katkı atomlarının birim hacimdeki yoğunluğu;

$$N_C = \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left(-\frac{E_f}{kT} \right) \quad \text{ve} \quad N_V = \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left(\frac{E_f}{kT} \right) \quad (2.8)$$

eşitliği ile verilir (Shuer, 1990). Bu ifade, Denk. (2.4)'de yerine konular ve gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$J_{S \rightarrow M} = \left(\frac{4\pi q m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp \left(-\frac{qV_d + E_f}{kT} \right) \right) \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre

görülen potansiyel engel yüksekliği;

$$q\Phi_B = qV_d + E_f \quad (2.10)$$

$$A^* = \frac{4\pi q m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.11)$$

ifadesi elektronlar için etkin Richardson sabiti olmak üzere, yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi için

$$J_{S \rightarrow M} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (2.12)$$

eşitliği elde edilir. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemde iken engel yüksekliği azalacağından dolayı, akım yoğunluğu değeri $\exp(eV/kT)$ çarpanıyla orantılı olarak artar. Böylece yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu

$$J_{S \rightarrow M} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.13)$$

şekline dönüşür. Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunlukları eşit olur. Dolayısıyla toplam akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.14)$$

şeklinde olacaktır. Burada köşeli parantez önündeki tüm ifade sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğudur. Yani,

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (2.15)$$

şeklinindedir. Burada Denk.(2.15)'de doyma akım yoğunluğu normalde, uygulanan gerilimden bağımsız olması beklenirken, hayali-kuvvet etkisinden dolayı uygulanan gerilime bağlı olarak kısmen değişim göstermektedir. Şekil 2.11'de görülen Schottky etkisi, uygulanan gerilim ve deşikler ile elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşmeden dolayı engel yüksekliğinde, $q(\Delta\Phi_B)$ kadar bir alçalma olur. Bu engel

alçalması ise,

$$q(\Delta\Phi_B) = \alpha_0(V_d + V)^{1/4} \quad (2.16)$$

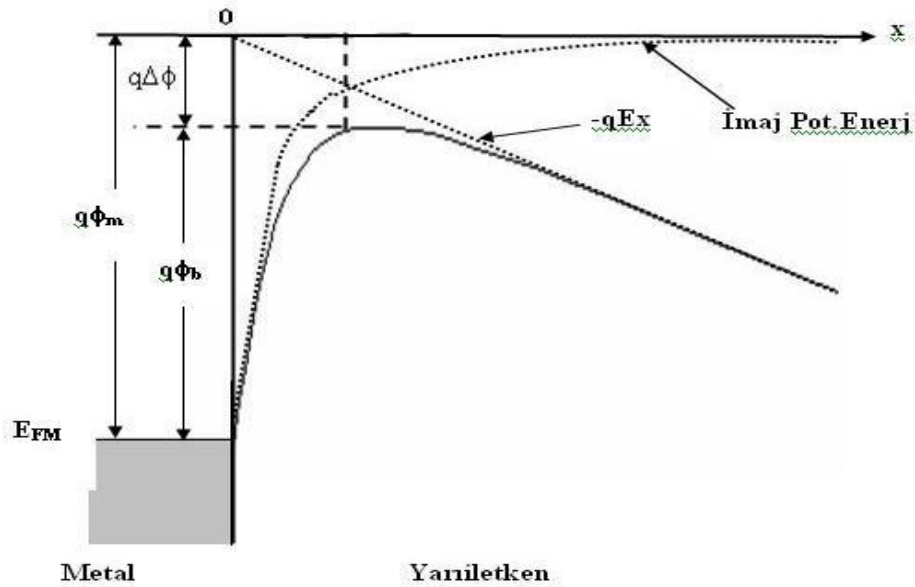
şeklinde yazılır. Dolayısıyla akım yoğunluğu ifadesinde $q\Phi_B$ 'nin yerine $\Phi_B - \Delta\Phi_B$ yazılırsa,

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \exp(\alpha_0(V_d + V)^{1/4}) \quad (2.17)$$

eşitliği elde edilir. Görüldüğü gibi doyma akım yoğunluğu gerilime bağlıdır. Burada Φ_B sıfır beslemde ve Schottky etkisi olmadığı durumdaki engel yüksekliği, α_0 sabiti ifadesi ise,

$$\alpha_0 = \left\{ \frac{q^4 N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2} \right\}^{1/4} \quad (2.18)$$

olup buradaki ϵ_s ve ϵ_0 sırasıyla yarıiletkenin ve boşluğun dielektrik sabitleridir.

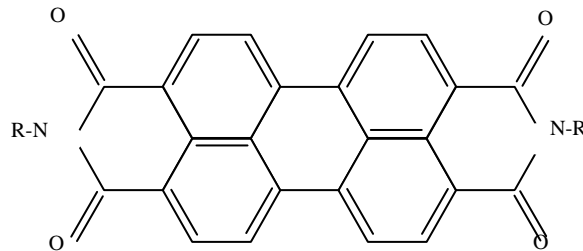


Şekil 2.11. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel azalması (Sze, 1981).

2.3. Organik Yarıiletkenler

Organik elektronik aygıtlar optoelektronik teknolojisinde oldukça dikkat çekmektedir. Bu aygıtlar fonksiyonlarına göre üç başlıkta incelenebilir. Bunlar; organik ışık yayan diyot (OLED), organik güneş pilleri ve organik ince film transistörler (OTFT)'dir. Bu aygıtlar genelde anot/organik malzeme/katot şeklindeki bir sandviç yapıya sahiptirler. OLED'ler genelde, aygıtın ışıkla temasına izin veren ve mekanik desteği sağlayan düz bir cam üzerine büyütülür. Ortadaki aktif organik malzeme, organik yarıiletken olarak adlandırılır. Bu moleküller elektriksel iletimden sorumlu olan gevşek π -elektronları içerir. OLED ve güneş pillerinde, organik yarıiletkenler genellikle normal yarıiletkenlerin aksine bir yalıtkan gibi davranır. Şekil 2.12'de bir organik yarıiletken olan PDI'nin moleküler yapısı görülmektedir.

Kristal olarak bilinen inorganik malzemeler, elektronik aygıtlarda (ışık yayan diyotlar-LED, Si tabanlı alan etkili transistörler, vb.) aktif malzeme olarak kullanılır (Sze, 1981). İnorganik yarıiletkenler yapısı çok serttir. Organik aygıtlarda ise amorf denilen organik yarıiletkenler ya da polikristal yarıiletken malzemeler kullanılır. İnorganik yarıiletkenlere göre organik yarıiletkenlerin bazı üstün özellikleri vardır. İlk olarak, organik yarıiletkenler esnek yapıdadır. Bu özelliklerinden ötürü bükülebilir elektronik aygıtlar elde etmek için plastik bir yüzey üzerine büyütülebilirler. Böylece bükülebilir ve taşınabilir organik güneş pilleri elde edilir. Ayrıca zayıf bağlı Van Der Waals kuvvetlerinden dolayı organik yarıiletkenlerin sıcaklık süreçleri, inorganiklere göre daha zayıftır. Bundan dolayı belli bir süre içinde çok fazla üretim yapılabilir. Organik sentezindeki çok yönlülüğünden dolayı, organik malzemeler aygıtın uygulamasına göre farklı özelliklerde sentezlenebilir. Örneğin molekülün moleküler ağırlığı, yasak enerji aralığı, moleküler orbital enerji seviyeleri, yapısal özellikler ve katkılama gibi malzemeye ait birçok özellik ve parametreleri değiştirilebilir (So, 2010).



Şekil 2.12. PDI'nin moleküler yapısı.

Organik elektronik malzemelerin avantajlarının olduğu gibi bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu durum, organik malzemenin kararlılığını etkilemektedir. Organik yarıiletken malzemelerin yapısındaki Van Der Waals kuvvetlerinin etkilerinden dolayı, organik yarıiletkenler üzerinde bir esnekliğine yol açar. Buna bağlı olarak bu malzemelerin erime noktasını ve cam geçiş sıcaklığını T_g 'yi düşürür. Genel olarak organik malzemelerde T_g sıcaklığı 100°C 'den daha düşük olduğundan dolayı, organik yarıiletkenlerin ince filmleri ısıya dayanıklı değildir. İnce film, T_g sıcaklığına ulaştığında, organik film kristal olma eğilimindedir. Bundan dolayı organik filmin ısısal olarak daha dayanıklı olmasını sağlayacak çalışmalar devam etmektedir. Diğer bir zorluk ise organik elektronik aygıtlardaki elektriksel süreçlerin anlaşılmasında yatar.

Çizelge 2.1'de bazı organik ve inorganik yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları, erime noktası ve mobiliteleri verilmiştir. Çizelgeden anlaşılacağı gibi organik yarıiletkenlerin taşıyıcı mobiliteleri inorganiklere göre çok daha küçüktür.

Çizelge 2.1. Bazı inorganik ve organik malzemelerin band aralığı, erime noktası ve mobiliteleri

	Malzeme	Band Aralığı (eV)	Erime Noktası $^\circ\text{C}$	Mobilite (cm^2/Vs) Deşik	Mobilite (cm^2/Vs) Elektron
İnorganik Yarıiletkenler	Si	1.11	1685	500	1900
	GaAs	1.35	1510	400	8800
	GaP	2.24	1750	150	300
	Ge	0.67	1231	1820	3800
Organik Yarıiletkenler	TPD	3.2	176	10^{-3}	10^{-7}
	α -NPB	3.0	280	10^{-4}	10^{-4}
	m-MTDATA	3.2	205	10^{-5}	-
	Alq_3	2.7	>300	$10^{-8} - 10^{-9}$	10^{-6}

2.3.1. Organik yarıiletkenlerin temel özellikleri

Organik yarıiletkenler iki guruba ayrılır. Bunlar karbon tabanlı küçük moleküller ve polimerlerdir. Monomerler, kendisini tekrarlamayan oldukça küçük moleküllerdir ve aynı zamanda moleküler organik elektronik materyaller olarak da adlandırılırlar. Polimer organik elektronik materyaller ise tekli, ikili veya daha çok monomerin (kopolimer) bağlı zincirlerinden oluşur. Hem monomer hem de polimer malzemeler, konjuge bantların bel kemiğini içerir. Moleküldeki iletim, bu bantlar sayesinde gerçekleşir. Polimerlerin, küçük moleküllere göre daha çok çözelti durumunda olmasından dolayı spin kaplama yöntemiyle büyütülmesini gerektirirler. Buna karşılık küçük moleküller, genellikle vakumda buharlaştırma ya da süblimleşme gibi yöntemler

ile büyütülmektedirler. Ayrıca polimerlerin bir üstünlüğü de, ince aktif tabakada pinholler ve küçük molekül filmlerdeki diğer kusurlar olmadan üretilebilmesidir. Bu durum, aygıtın daha düşük potansiyel altında oluşumunu kolaylaştırır (Rockett, 2008).

Organik elektronik malzemeler kendi yapıları boyunca devamlı bir çift bağ yapısına sahiptir. Yani tamamen konjuge yapıdadır. Konjuge moleküller, çiftli bağları kırarak yükleri iletebilir. Kırılan bandın yeniden oluşturulması ışık yayınımına sebep olabilir.

Konjuge organik malzemelerde temel özellik molekülün uzunluğu boyunca çift bağların sürekli bir seri olmasıdır. Burada zincirdeki her bir karbon atomu, yakın komşularıyla bir bağ yapar ve ikili bağ zincirleri oluştururlar. Çünkü her bir karbon atomu ikili bağ yapısına bir bağ katkı yapar (Rockett, 2008).

2.3.2. Organik yarıiletkenlerde akım iletim mekanizması

Organik katı bir molekülde deşik ve elektronların geçişini incelemek için iyonik moleküler seviyelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Örneğin, M nötr molekülünden bir katyon M^+ oluşturularak bir elektron kopartılabilir. Hareket eden bu elektron, bir molekülden diğerine geçer. Elektron geçişi aynı zamanda, negatif yüklü bir M^- iyonu gerektirir. Polimerlerde bu durum pozitif ve negatif polaronlar tarafından gerçekleştirilir. Moleküler krsitallerden düzensiz organik katılara gidildiğinde, farklı moleküler düzenlemelerden dolayı bölgesel değişen polarizasyon enerjisi göz önüne alınır (Brütting, 2005).

Organik yarıiletkenlerde taşıyıcı yük geçiş mekanizması aşamaları, band ve hopping geçişi olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Band geçişi genellikle çok yüksek sıcaklıklarda olmayan yüksek saflıktaki organik kristallerde gözlenir. Bununla birlikte, elektronik lokal bozulmalar zayıf olduğundan, band genişliği inorganik yarıiletkenlerle kıyaslanacak kadar küçüktür (oda sıcaklığında birkaç kT civarında). Bu yüzden moleküler bir kristalde oda sıcaklığındaki mobiliteler $1 - 10 \text{ cm}^2/Vs$ arasındaki değerleri alır. Bant geçişinin karakteristik bir özelliği olarak sıcaklık bağımlılığı, düşük sıcaklıklara gidildikçe $\mu \propto T^{-n}$ şeklinde daha güçlü bir davranış izler (Brütting, 2005). Diğer bir geçiş türü olan hopping geçiş mekanizması ise 1993'te Landau tarafından önerilen bir mekanizmadır. Organik bir yarıiletkende yük taşıyıcıları hareket ettiği zaman kusurlardan, düzensizliklerden ya da polarizasyondan kaynaklanan potansiyel tarafından lokalize olurlar. Yük iletimi, ısısal olarak aktiflendirilmiş örgü

titreşimlerinden dolayı iki komşu molekül arasındaki yüklerin zıpladığı bir molekül içi süreçtir. Hopping hareketi, adyabatik olmayan elektron transfer reaksiyonu olarak bilinir (So, 2010). Bu tür geçişlerde mobilite değeri düşerek $10^{-3} \text{cm}^2/\text{Vs}$ değerine yaklaşır.

Organik yarıiletkenlerdeki taşıyıcı yoğunluğunu arttırmak için

- Elektrokimyasal katkılama
- Kontaklardan taşıyıcı enjektəsi
- Taşıyıcıların fotonlarla oluşturulması
- Alan etki katkılama

gibi işlemler yapılabilir (Brütting, 2005).

2.3.3. Organik yarıiletken aygıtlar

Son zamanlarda organik yarıiletkenler avantajlarından dolayı organik yarıiletken aygıt yapım çalışmaları farklı bir ivme kazandı. Elektronik ve optoelektronik teknolojilerinde daha çok, OLED, OFET ve organik güneş pilleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

OLED'ler elektrik akımı uygulandığında ince bir film tabakası halinde organik moleküller kullanılarak imal edilmiş ışık üretebilen cihazlardır. İki metal arasına bir ya da daha fazla organik yarıiletken tabaka konulmasıyla hazırlanır. Anot ve katot iş fonksiyonları bakımından farklıdır. Hem anot hem katot yarı geçirgen olabilir. Elektrolüminesans durumunda cihaz ışık yayan diyot (OLED) olarak adlandırılır. OLED'ler çoğunlukla düz ekran için kullanılmaktadır. LCD teknolojisine alternatif olarak sunulmaktadır. Düşük enerji tüketmesi, ince ve hafif olması gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle son zamanlarda cep telefonlarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Başlangıçta gösterge uygulamaları için geliştirilen OLED'ler parlak renkli görüntüleri ile düşük güçte geniş görüş açısı sağlayan ekranların yapılabilmesini sağladılar (Zafer, 2006; El-Nahass ve ark., 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotlarının yapımında kullanılacak malzemeler, numunelerin hazırlanmasında izlenecek yollar, numunelerin hazırlanması, temizlenmesi ve yapımı için takip edilen aşamalar anlatılacaktır. Ayrıca, yapılan deneysel çalışmalarda alınan I-V ve C-V ölçülerinin değerlendirilmesine ait bilgiler yer almaktadır. Bununla birlikte Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotlar ile yarıiletkenlerin elektriksel karakterizasyonu için gerekli olan parametrelerin hesabında kullanılan yöntemlerden de bahsedilecektir.

3.2. GaAs Kristalinin Temizlenmesi

Bu çalışmada hazır olarak alınmış, (100) doğrultusunda büyütülmüş 1,5 cm x 1,5 cm boyutlarında, yaklaşık olara 500 μm kalınlığında ve 1 – 20 Ωcm öz direncine sahip Tellür (Te) katkılı n-tipi GaAs (n-GaAs) kristali kullanılmıştır.

Diyot yapımında kullanılacak numunelerin yüzeyinin organik ve mekanik kirlere iyice temizlenmiş olması, alınacak sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Yarıiletken yüzeyinin parlatılma işlemi fabrikada üretim işlemi esnasında yapıldığından dolayı ayrıca mekanik temizleme işlemi yapılmadı ve doğrudan kimyasal temizleme yapıldı. Numune yüzeylerinin kimyasal temizlenmesinde aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanarak tamamlanmıştır.

3.1.1. Numune yüzeylerini kimyasal olarak temizleme aşamaları

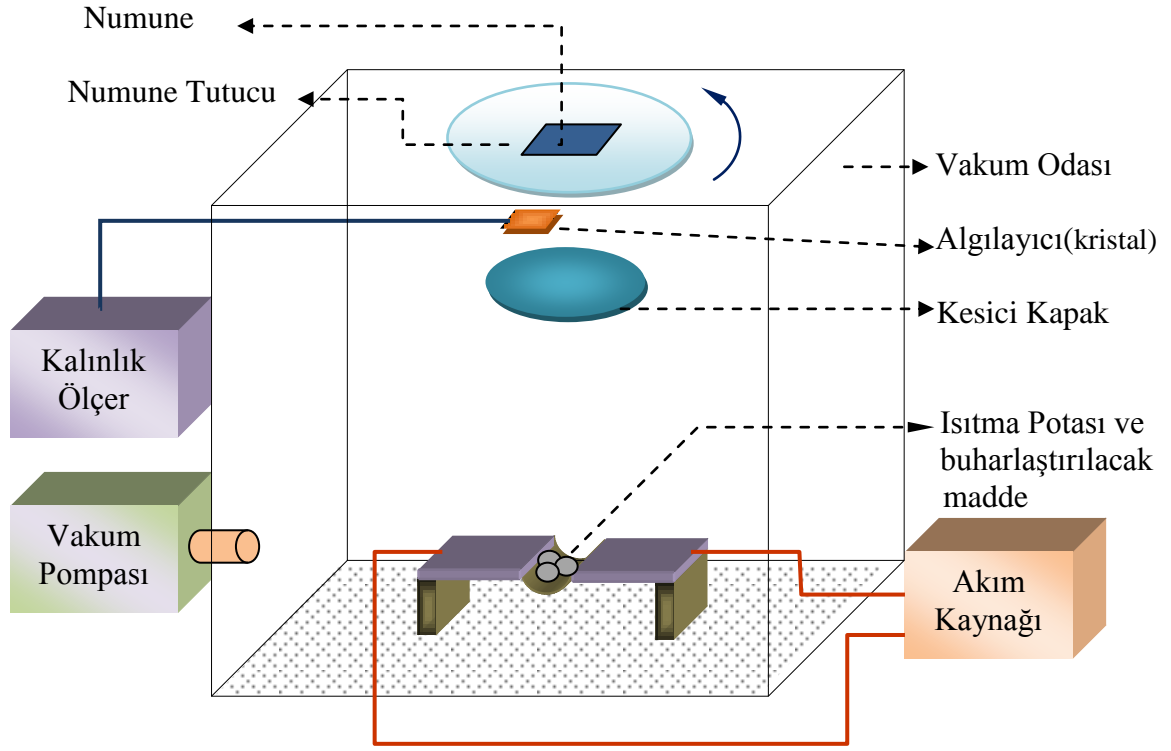
1. Kristali yağdan ve diğer kirlere arındırmak için Trikloretilen (C_2HCl_3) ile 10 dakika ultrasonik temizlemede tutuldu.
2. Aseton (CH_3COCH_3) ile 10 dakika ultrasonik temizleme yapıldı.
3. Propanol ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$) ile 10 dakika ultrasonik temizleme gerçekleştirildi.
4. 20 hacim Sülfirikasit (H_2SO_4) ve 20 hacim Hidrojen peroksit (H_2O_2) karışımında 10 dakika ultrasonik olarak temizleme yapıldı.
5. Amonyak (NH_3), hidrojen peroksit ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$) ve deiyonize su karışımında 10 dakika ultrasonik olarak temizleme gerçekleştirildi.

6. 15 hacim deiyonize su ve 1 hacim %38-40'lık *HF* karışımında 2 dakika yıkama yapıldı.
7. 2 hacim Nitrik asit (*HNO₃*), 1 hacim %38-40'lık *HF* ve 1 hacim Asetik asit (*CH₃COOH*) karışımında 4 dakika tutularak kristal yüzeyi parlatıldı.
8. 15 hacim deiyonize su ve 1 hacim %38-40'lık *HF* karışımında 2 dakika yıkama gerçekleştirildi.
9. Numuneler Azot gazı (*N₂*) ile kurulandı.

Ayrıca, kristal her temizleme aşamasında *18 MΩ*'luk deiyonize su ile durulandı.

3.2. Omik Kontağın Oluşturulması

Yüzey temizlendikten sonra %99,99 saflığındaki indiyum (In) metali termal buharlaştırma yöntemi ile n-GaAs kristali üzerine büyütülmüştür. MS kontağın oluşturulmasında Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümü İnce Film Laboratuvarında bulunan ince film ünitesi (Nanovak NVTS21) kullanılmıştır. Bu ince film ünitesinin blok diyagramı Şekil 3.1'de, fotoğrafı ise Şekil 3.2'de verilmektedir. Kimyasal olarak temizlenen In, maskeler yardımıyla ince film ünitesi içindeki potalara, kaplanmak istenen miktar kadar konulup sistem kapatılmıştır. Ünite içindeki vakumun istenilen değere düşürülmesi için bir süre beklenmiştir. 5.10^{-6} Torr basınçta buharlaştırma işlemi başlatılmıştır. Kaplanan In yaklaşık olarak 1500 Å kalınlığındadır. Daha sonra düşük özdirençli omik kontak elde etmek için vakumda 340°C sıcaklığında yaklaşık 3 dakika ısısal işleme tabi tutulmuştur.



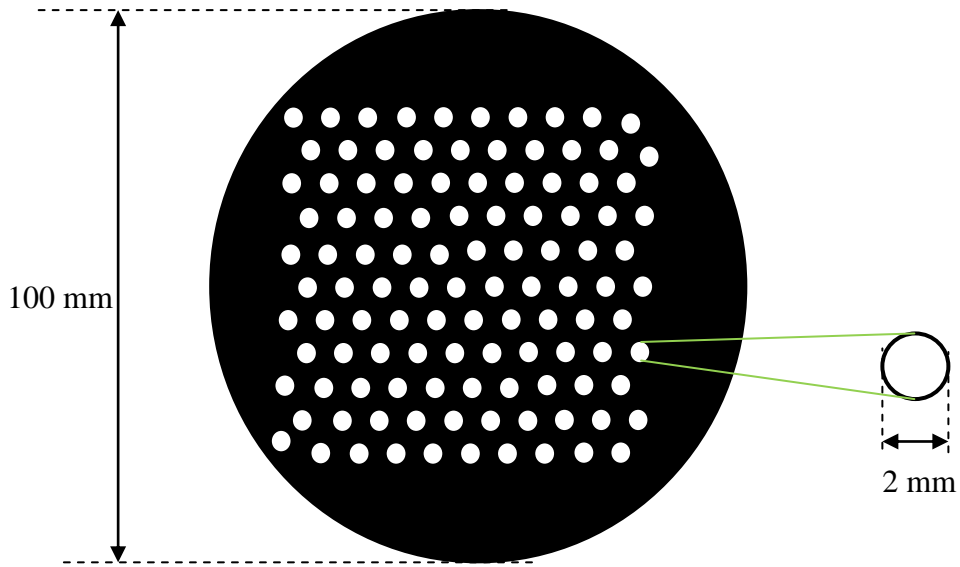
Şekil 3.1. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan termal buharlaştırma sisteminin blok diyagramı.



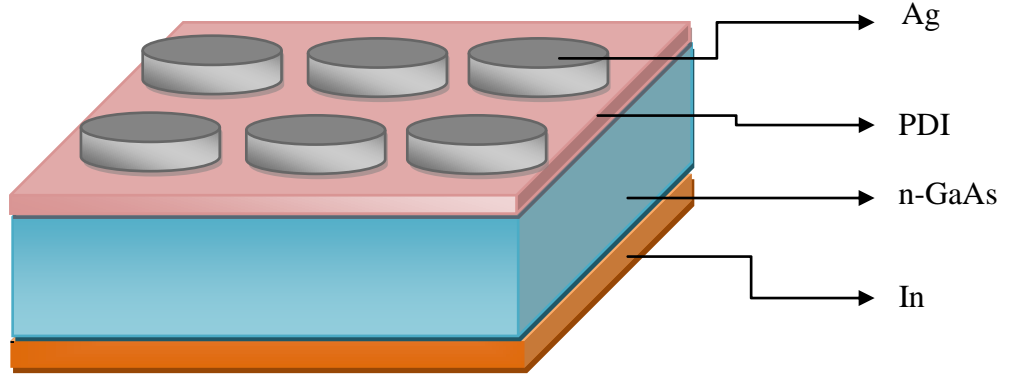
Şekil 3.2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan buharlaştırma sisteminin fotoğrafı.

3.3. Organik Filmin Hazırlanması ve Schottky Kontakın Yapılması

Omik kontak yapılmış olan numune üzerine, drop casting kaplama metodu ile organik perylenediimide (PDI) kaplanmıştır. PDI kaplanmış numuneler, Schottky kontaktarı oluşturmak için bir maske kullanılarak termal buharlaştırma metodu ile %99,99 saflıktaki gümüş (Ag) metali ile kaplanmıştır. Burada kullanılan maske, Şekil 3,3'te görüldüğü gibi 2 mm çaplı deliklerden oluşmuştur. Buharlaştırma sistemi 5×10^{-6} Torr basınca ulaşıldığında içerisinde Ag bulunan molibdenyum telden akım geçirilmeye başlanır. Akım geçen tel ısınmaya başlar ve üzerindeki gümüşü ısıtır. Sistemde ki molibdenyum telden akım geçerken tel yüksek sıcaklık değerlerine ulaşır ve Ag'nin sıcaklık erime noktasına (962°C) gelindiğinde gümüş erimeye, daha sonra kaynama noktasında (2212°C) buharlaşmaya başlar. Buharlaşan gümüş, yarıiletken numunenin yüzeyine yapışarak ince film tabakasını oluşturur. Sonuç olarak, 1500 \AA kalınlığında Ag kaplanmış ve doğrultucu kontak işlemi sonlanmış olmaktadır. Bu son işlemle birlikte Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu elde edilmiştir. Schottky diyotun aygıt yapısı Şekil 3.4' de gösterilmiştir.



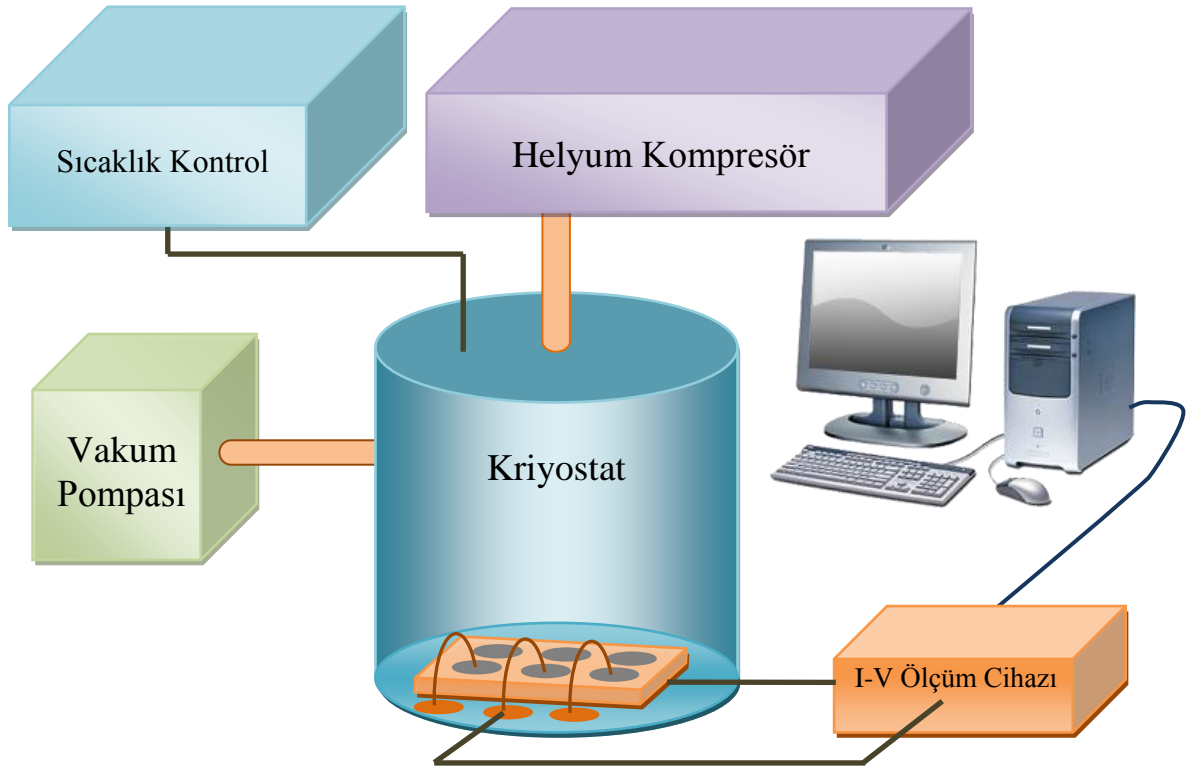
Şekil 3.3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.



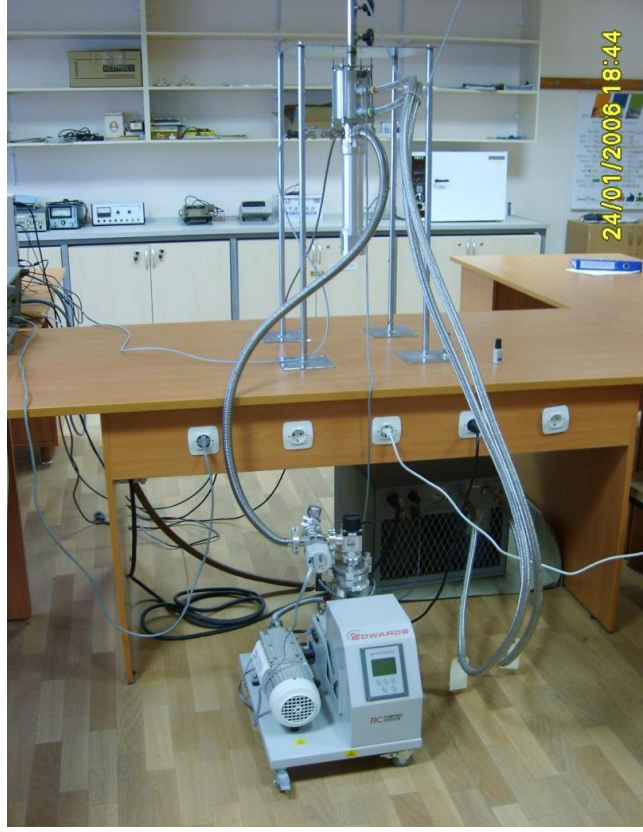
Şekil 3.4. Ag/PDI/n-GaAs (MIS) diyodun şematik gösterimi.

3.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

Elektriksel karakterizasyon ölçümleri, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi İnce Film Karakterizasyon Laboratuvarında yapılmıştır. Akım-gerilim (I-V) ölçümlerinde Keithley 2410 programlanabilir sabit akım kaynağı kullanıldı. Kapasite-gerilim (C-V) ölçümlerinde ise Hewlett Packard 4192 LF Empedans Analizörü (5 Hz –13MHz) kullanıldı. Tüm bu ölçümler laboratuardaki bilgisayarda yüklü olan labview programı yardımıyla gerçekleştirildi. Farklı sıcaklık bölgelerindeki ölçümler için ARS Kapalı devre Kriyostat (Model: DE202 AI) kullanıldı. Sıcaklık denetimi Lake Shore 331 sıcaklık kontrol sistemi kullanılarak sağlandı. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri ve sığa-gerilim (C-V) ölçümlerinin yapıldığı düzenekler sırasıyla Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri için kullanılan deneysel düzeneğin blok diyagramı.



Şekil 3.6. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri için kullanılan düzeneğin fotoğrafı.



Şekil 3.7. Kapasite-gerilim (C-V) ölçümleri için kullanılan empedans analizörünün fotoğrafı.

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, materyal ve metot kısmında anlatıldığı gibi numune temizlenerek oluşturulan Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotlarının farklı sıcaklıklarda belirlenen akım-gerilim (I - V) karakteristikleri değerlendirilecektir. Ayrıca, oda sıcaklığında belli bir frekans değerinde ölçülen sığa-gerilim (C - V) karakteristikleri analiz edilecektir. Bu değerlendirmeler sonucunda diyoda ait birçok parametre belirlenecek ve bu parametrelerin sıcaklıkla değişimi yorumlanacaktır.

4.1. Sıcaklığa Bağlı Akım-Gerilim (I - V) Karakteristikleri

Hazırlanan metal/organik/yarıiletken (Ag/PDI/n-GaAs) Schottky diyotlarının doğru beslem akım-gerilim (I - V) karakteristikleri, termo-iyonik emisyon teorisine (TE) (Rhoderick ve Williams, 1988) göre incelendi. Bu teoriye göre akım ifadesi,

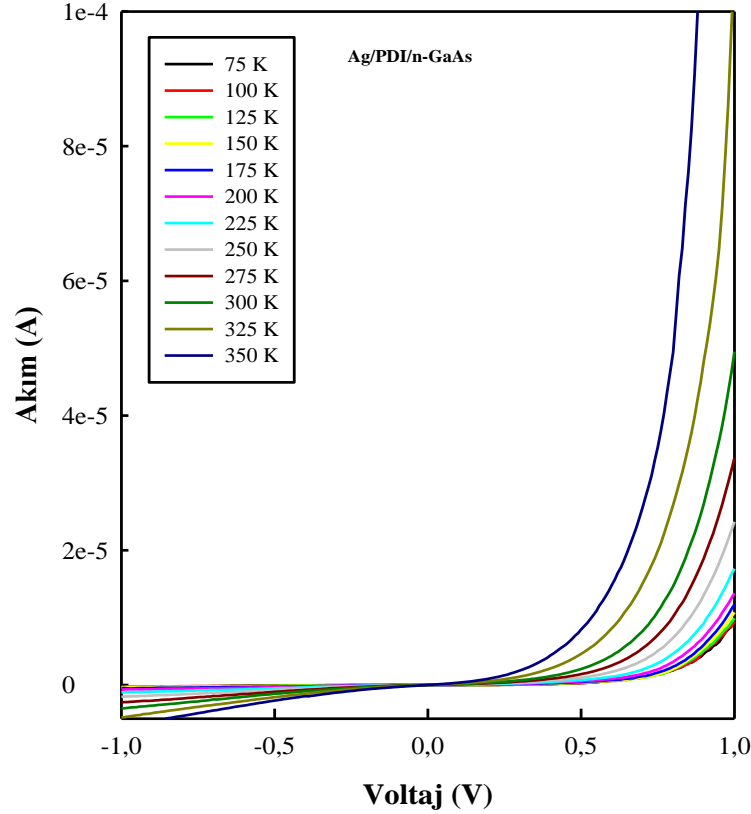
$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

olur. Burada I_0 doyma akımı olup yarı-logaritmik $\ln I - V$ grafiğinde, eğrinin lineer kısmının sıfır gerilimde ($V = 0$) akım eksenine fit edilerek bulunur ve

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada q elektronun yükü, V uygulanan doğru beslem gerilimi, A diyodun alanı, k Boltzmann sabiti, A^* n-tipi GaAs için etkin Richardson sabiti ($A^* = 8.16 A cm^{-2} K^{-2}$), Φ_{B0} sıfır beslemdeki engel yüksekliği, n diyotun idealite faktörü ve T ise Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Şekil 4.1'de, bu Schottky diyodun farklı sıcaklıklardaki I - V eğrileri çizilmiştir. Grafiğin doğru beslem kısmından, akımın artan sıcaklıkla üstel olarak arttığı görülmektedir. Yine grafikten, düşük sıcaklıklarda bu akım artışının daha az, oda sıcaklığına yakın sıcaklıklar ve bunun daha üzeri sıcaklıklarda ise artışın daha dik olduğu görülmektedir.

Denk. (4.1) yardımıyla Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için elde edilen 75-350 K sıcaklık aralığındaki tipik yarı-logaritmik doğru beslem I - V karakteristikleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



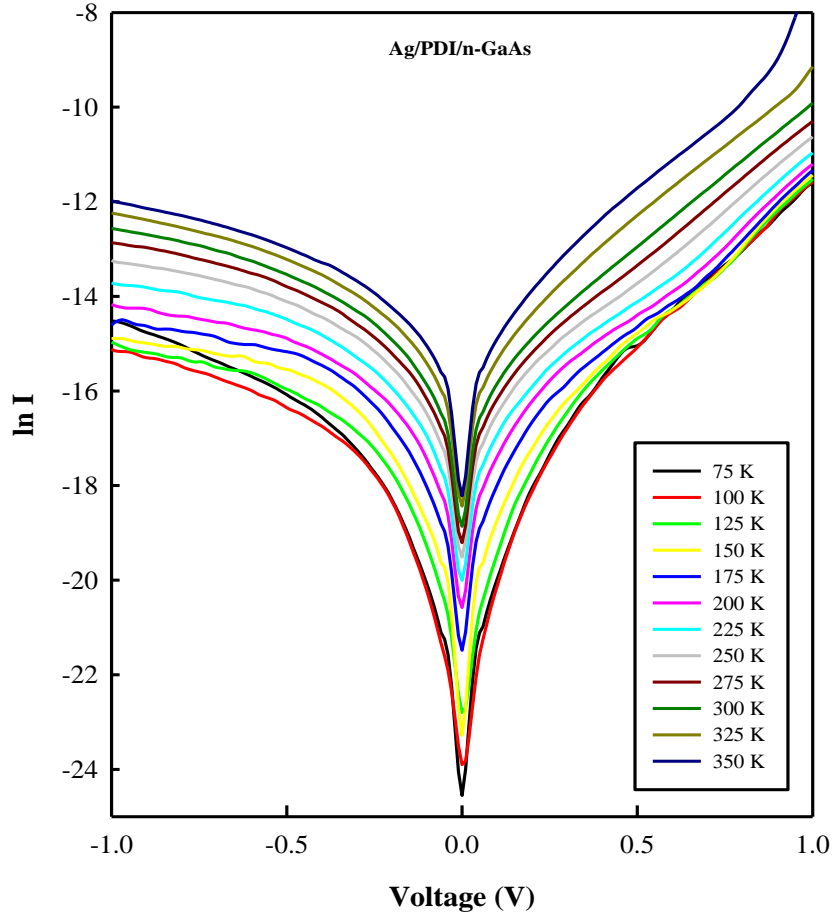
Şekil 4.1. Ag/PDI/GaAs Schottky diyodunun ters ve doğru beslem $I-V$ grafikleri

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi yarı logaritmik doğru beslem $\ln I - V$ eğrileri geniş bir bölgede lineerdir. Ayrıca bu $\ln I - V$ eğrileri özellikle düşük sıcaklıklarda iki lineer bölgeye sahiptir. Birinci bölge artan sıcaklıklarda kaybolma eğilimindedir. Hesaplamalarda orta gerilim bölgesi olan ikinci bölge dikkate alınmıştır. Yine şekilde görüldüğü gibi $\ln I - V$ eğrilerinin bu bölgedeki eğimi, sıcaklıkla hemen hemen hiç değişmemektedir.

İdealite faktörünün değeri, yarı-logaritmik akım-voltaj grafiğinin orta gerilim bölgesinde, Denk. 4.1’den faydalanılarak lineer kısmının eğiminden ($dV/d\ln(I)$) her sıcaklık için ayrı ayrı hesap edilmek üzere,

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d\ln I} \right) \quad (4.3)$$

denkleminde elde edilir. İdealite faktörü, doğru beslemde akım-gerilim karakteristikleri kullanılarak hesaplanan ve diyotun ideallikten sapma miktarını gösteren boyutsuz bir parametredir. Potansiyel engel yüksekliği (Φ_{B0}) ise; $\ln I - V$ grafiğinde, lineer kısmının sıfır besleme extrapole edilmesiyle bulunan I_0 doyuma akım



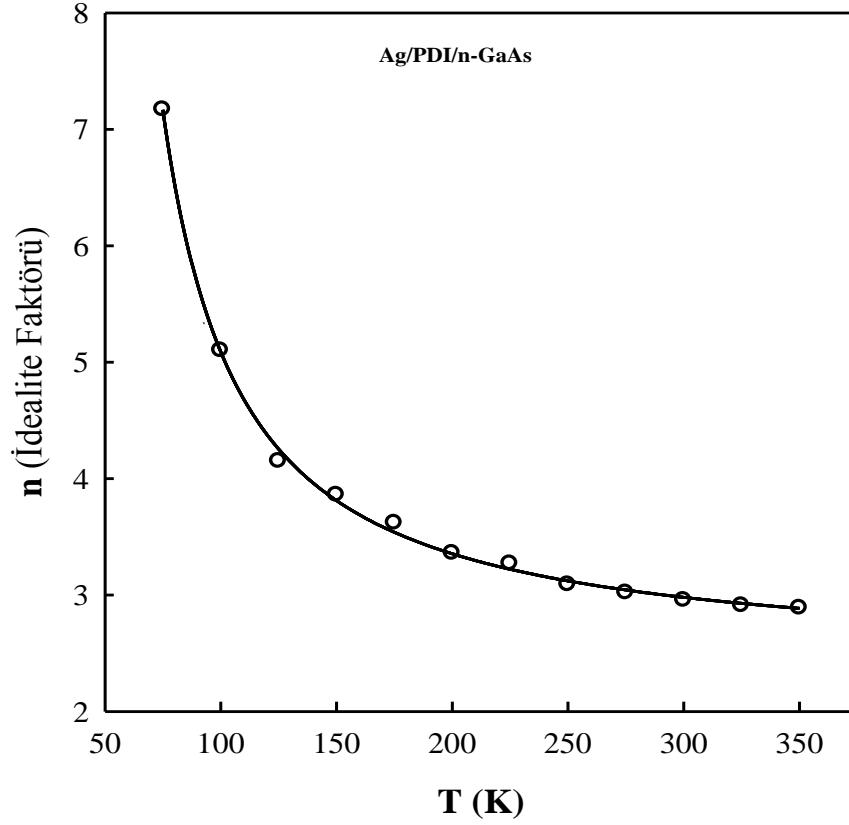
Şekil 4.2. Ag/PDI/GaAs Schottky diyodunun ters ve doğru beslem $\ln I - V$ grafikleri

değeri ve diyotun alanı kullanılarak denk. (4.2)'den bulunur. $\ln I - V$ eğrilerinin eğiminden Denk. (4.3)'e göre elde edilen idealite faktörü değerleri artan sıcaklıkla azalmakta ve sıcaklığın tersi ile Şekil 4,3'de görüldüğü gibi lineer olarak,

$$n(T) = n_0 + T_0/T \quad (4.4)$$

şeklinde değişmektedir. Bulunan değerler Denk.(4.3) ifadesinde yerine yazılıp her bir sıcaklık için n değeri belirlenmiştir.

Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi yarı-logaritmik doğru beslem $\ln I - V$ eğrilerinden elde edilen Φ_{Bo} ve n değerleri, sıcaklığa çok sıkı bir şekilde bağlıdır. Artan sıcaklıkla Φ_{Bo} değeri artarken, n değeri azalmaktadır. Sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{Bo}) ve diyot idealite faktörünün (n) sıcaklığa bağlı değişimi sırasıyla Şekil.4.3 ve Şekil.4.5'de verilmektedir. Denk. (4.2) eşitliğinin her iki tarafının logaritması alınıp ϕ_{Bo} 'a göre çözümlerse Denk. (4.5) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.



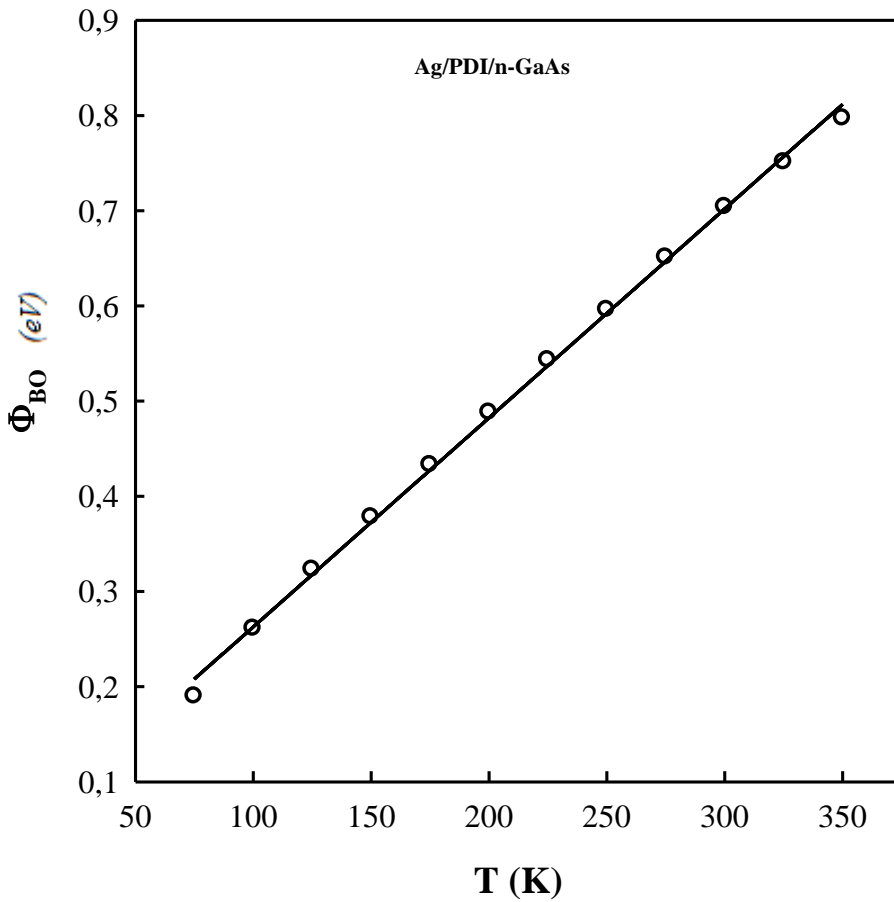
Şekil 4.3. Ag/PDI/n-GaAs (MS) Schottky diyotunun idealite faktörünün sıcaklıkla değişim grafiği.

$$\phi_{Bo} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.5)$$

Bu denklem yardımıyla her bir sıcaklık değeri için elde edilen engel yüksekliği değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir. İdealite faktörü ile engel yüksekliği için, en düşük (75 K) ile en yüksek (350 K) sıcaklıkları için bu değerler, sırasıyla $n=7,17-2,89$ ve $\Phi_{Bo} = 0,190-0,797$ eV arasında elde edilmiştir. İdealite faktörünün değerinin ideal durumda ($n=1$) olması beklenir. Ancak pratikte bu duruma hemen hemen hiç rastlanmaz. Çünkü engel yüksekliği uygulanan gerilime bağlıdır. Bu bağımlılık, yalıtkan tabaka üzerinde potansiyel düşmesine, dolayısıyla $I-V$ karakteristiğinin değişimine ve idealite faktörün 1'den büyük çıkmasına neden olur. İdealite faktörünün 1'den büyük değerler çıkması, pratikte ideal diyot elde edilmesinin zor olduğu anlamına gelmektedir. İdealite faktöründeki bu artış, organik film kalınlığındaki homojensizlikler, ara yüzey durumları ve ara yüzey yüklerinin düzgün olmayan dağılımları ile açıklanabilir (Güllü ve ark., 2010). Ayrıca görüntü yük düşmesi ve üretim-yeniden birleşme süreçleri de idealite faktörünün büyük çıkmasını açıklayan sebepler arasında yer almaktadır (Tung ve ark.,

1992; Crowell ve ark., 1966; Card ve ark., 1971). İdealite faktörünün normalden büyük çıkması, akım taşıma özelliklerinin sadece termo-iyonik emisyon modeli ile açıklanamayacağını ifade eder. Bu durumda ara yüzeyde ikincil bir mekanizmanın varlığından söz edilebilir. Organik-inorganik ara yüzeyin keskin aktif olmayan yapıda oluşmasına rağmen, metal ile yarıiletken arasındaki organik tabakanın ara yüzey durumlarında önemli bir modifikasyona sebep olduğu görülmektedir. Bu yüzden engel yüksekliğindeki değişim, organik tabaka pasivasyonu yoluyla ara yüzey dipolü ile açıklanabilir (Bolognesi ve ark., 2003).

Ag/PDI/n-GaAs diyotunun oda sıcaklığında idealite faktörü 2,96 ve engel yüksekliği 0,704 eV olarak hesaplanmıştır. Daha önce yapılan ve rapor edilen bir çalışmada, Au/PMI/n-Si Schottky kontakın sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu yapılmış, yapılan değerlendirmelerde oda sıcaklığında idealite faktörü ve engel yüksekliği sırasıyla 5,08 ve 0,675 eV olarak bulunmuştu (Yüksel ve ark., 2011).



Şekil 4.4. Ag/PDI/n-GaAs (MS) Schottky diyotunun Φ_{B0} -T değişim grafiği.

Her iki çalışmada da benzer organik malzeme kullanılsa da, farklı değerler elde edilmesi, kontaklar için kullanılan alt tabaka ve omik kontak malzemesinin farklılığına bağlı olabilir. Buradan anlaşılacağı üzere idealite faktörü açısından bakıldığında Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotunun, Ag/PMI/n-GaAs (MS) Schottky diyotuna göre, ideal diyot davranışına daha yakın olduğu söylenebilir (Şimşir ve ark., 2012).

4.2. Cheung-Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Akım-Gerilim Karakteristikleri

Diyodun $I - V$ grafiğinin karakteristik linear bölgesinde termo-iyonik emisyon teorisi kullanılır. Bu bölge $kT/q \ll V \ll IR_s$ şeklinde yüksek seri direnç ile sınırlıdır. Bu bölge I_0 ve ϕ_B nin güvenilir değerlerini hesaplamak için çok dardır. Düşük gerilim bölgesinde yeniden birleşme süreçlerinin katkısı, yüksek gerilim bölgesinde ise seri direncin büyük olması halinde, diyotun üzerine düşmesi gereken gerilimin çoğunluğu seri direnç üzerine düşeceğinden lineerlik bozulur. Bu nedenle termo-iyonik emisyon modelinin tek başına kullanılması yetersiz kalacaktır (Kutluca H., 2007). Cheung-Cheung tarafından önerilen modelde seri direnç katkısı da göz önüne alınarak akım ifadesi Denk (4.6) eşitliği ile verilmiştir (Cheung ve Cheung, 1986).

$$I = \left[AA^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (4.6)$$

Bu ifadenin her iki tarafın \ln 'ini alıp, $dV/d\ln(I)$ ifadesini çekecek olursak

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (4.7)$$

sonucu elde edilir. Benzer şekilde Denk(4.6)'in \ln 'ini alıp bazı düzeltmeler yapılırsa,

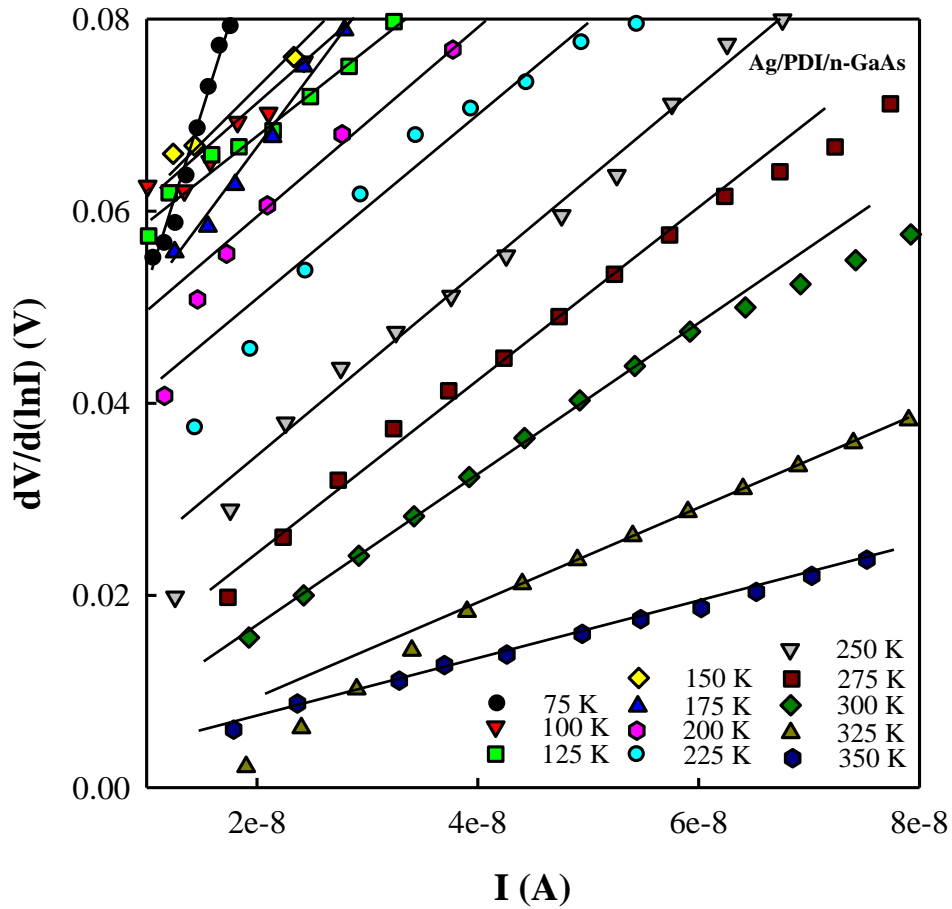
$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) = n\phi_B + IR_s \quad (4.8)$$

İfadesi elde edilir. Burada Denk (4.7) ifadesine göre $\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ grafiğindeki linear bölgenin eğimi, diyotun R_s seri direncini verir. Yine aynı grafiğin koordinat eksenini kesim noktası ise n idealite faktörünü verir. Şekil 4.5'de Ag/PDI/n-GaAs Schottky engel

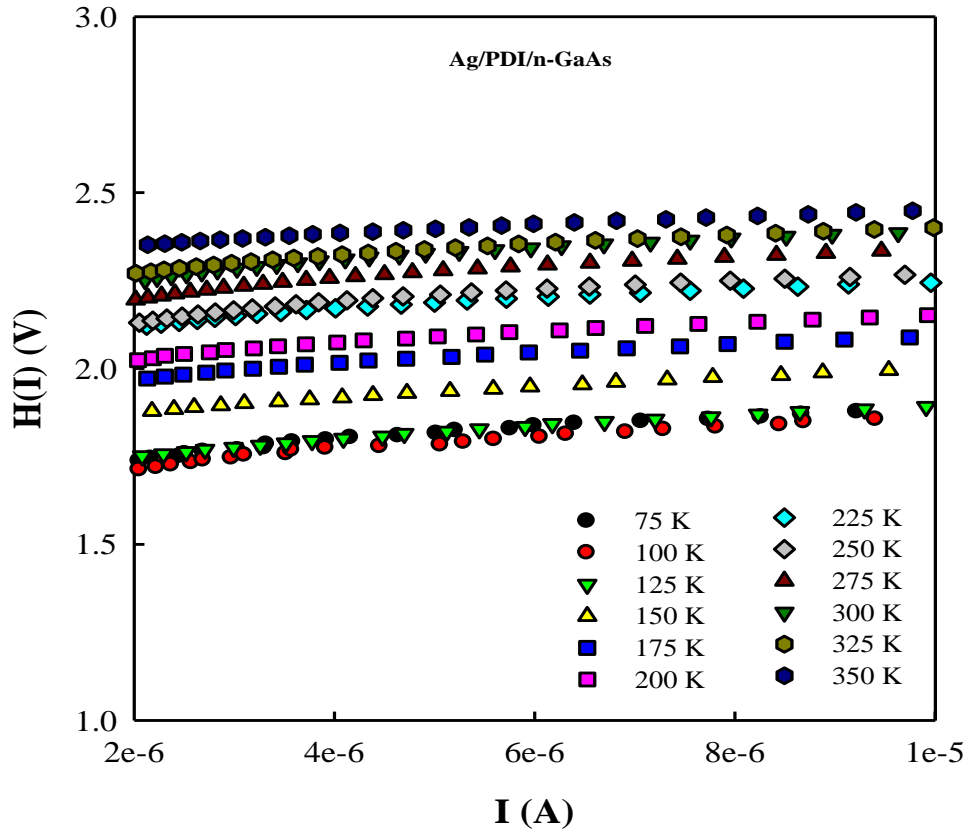
diyotu için $\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ eğrisi verilmiştir. Benzer şekilde Denk. (4.8)'nin akıma göre grafiği çizilirse, elde edilen eğrilerin eğimi seri direnci, eğrinin düşey eksenini kestiği nokta ise Φ_B engel yüksekliğini verir. Şekil 4.6'da Ag/PDI/n-GaAs diyotunun farklı sıcaklıklarda $H(I)$ - I grafiği görülmektedir.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi eğriler, her bir sıcaklık değeri için iyi bir lineerlik göstermektedir. Şekil 4.5 de sıcaklık arttıkça karşılık gelen akım değeri azalmaktadır. Oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda bu artış değerinin biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.5 de aynı eğilim gözlenmekte, akım değeri sıcaklıkla azalmaktadır.

Burada Cheung ve Cheung fonksiyonları bize alternatif olarak bazı diyot parametrelerinin hesaplanması için bir yöntem sunar. Çizelge de Cheung-Cheung metoduyla $H(I) - I$ grafiğinin kesim noktasında elde edilen engel yüksekliği (ϕ_B) ve



Şekil 4.5. 75-350 K sıcaklık aralığında Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için $dV/d\ln I - V$ grafiği.



Şekil 4.6. Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu farklı sıcaklık değerleri için $H(I) - V$ grafiği.

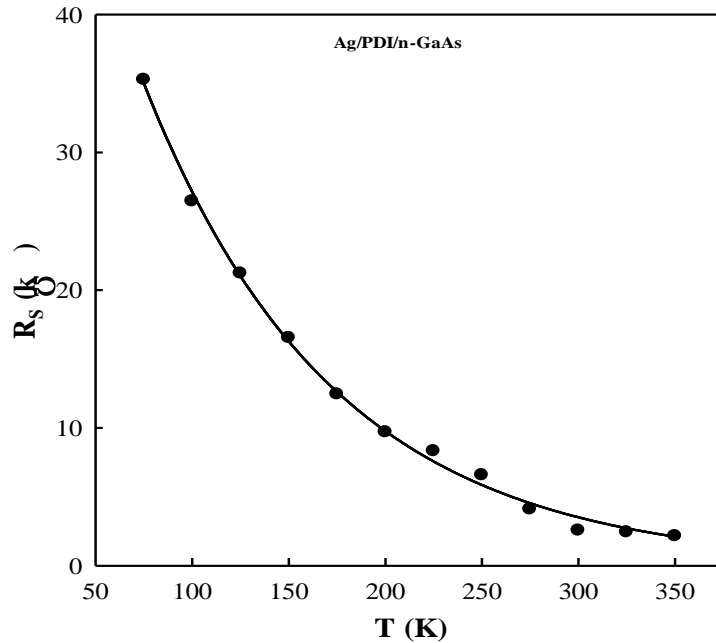
$\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ grafiğinin kesim noktasından elde edilen idealite faktörü (n) değerleri, akım-gerilim karakteristiklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada metotlar farklı da olsa bulunan değerlerin iyi bir uyum gösterdiği gözlenmektedir. $I-V$ ölçümlerinin oda sıcaklığındaki ölçümlerinden hesaplanan idealite faktörü ile Cheung-Cheung fonksiyonları yardımıyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin 2,96 olduğu görülmektedir. Bu sonuçların aynı çıkması ölçümlerdeki hassasiyetin yüksek olduğunu göstermektedir. Yine $I - V$ ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliğinin (ϕ_{Bo}) değeri ile Cheung-Cheung fonksiyonlarından hesaplanan engel yüksekliğinin (ϕ_{Bo}) değerinin yaklaşık olarak aynı olduğu ve 0,704 eV olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Seri direncin sıcaklıkla değişimi, Şekil 4.7’de Cheung-Cheung fonksiyonları yardımıyla $\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ ve $H(I) - V$ grafiklerinin eğiminden hesaplanarak bulunmuştur. Çizelge 4.1’de, farklı metotlarla hesaplanan R_s değerleri verilmiştir. Çizelgede hem $dV/d\ln I - V$ grafiğinden hem de $H(I) - V$ grafiğinden elde edilen seri direnç

değerlerinin uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.7'den görüldüğü gibi seri direnç, artan sıcaklıkla üstel olarak azalmaktadır. Burada idealite faktörünün sıcaklıkla düşmesi, seri dirençteki azalmadan kaynaklanmaktadır. Bu değişim, serbest taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklıkla artış ya da azalışının bir sonucudur (Chand ve Kumar 1996). Ayrıca iletim bandındaki taşıyıcı sayısının artması ya da azalması seri direnci değiştirecektir (Soylu 2007).

Çizelge 4.1. Ag/PDI/n-GaAs (MS) Schottky engel diyotu için farklı metotlarla elde edilen diyot parametreleri.

T (K)	I-V		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
	n	ϕ_{B0} (eV)	n	R_s (k Ω)	ϕ_B (eV)	R_s (k Ω)
75	7.17	0.190	7.18	35.270	0.189	35.122
100	5.10	0.261	5.10	26.450	0.260	26.523
125	4.15	0.323	4.17	21.221	0.322	21.280
150	3.86	0.378	3.87	16.539	0.378	16.519
175	3.62	0.433	3.61	12.442	0.431	12.421
200	3.36	0.488	3.36	9.692	0.487	9.717
225	3.27	0.543	3.27	8.317	0.540	8.318
250	3.09	0.596	3.09	7.604	0.594	7.629
275	3.02	0.651	3.03	4.092	0.650	4.077
300	2.96	0.704	2.96	2.552	0.703	2.578
325	2.91	0.751	2.91	2.430	0.750	2.441
350	2.89	0.797	2.90	2.145	0.796	2.161



Şekil 4.7. Ag/PDI/n-GaAs engel diyotu için seri direncin sıcaklıkla değişimi.

4.2. Sığa-Gerilim Karakteristikleri

Schottky engel diyotta ara yüzey durumlarını belirlemek için sığa-gerilim (C-V) karakteristikleri önemli yere sahiptir. Engel yüksekliği, sığa ölçümleri ile de tayin edilebilmektedir. Bir dc besleme üzerine küçük bir ac gerilim bindirildiği zaman, metal üzerinde bir işaretli, yarıiletken ise zıt işaretli yükler meydana gelir. MS diyotlar için tüketim tabakası sığası,

$$C = \frac{\partial Q_{sc}}{\partial V} = \sqrt{\frac{q \varepsilon_0 \varepsilon_s N_d}{2 \left(V_{bi} - V - \frac{kT}{q} \right)}} \quad \text{Farad/ cm}^2 \quad (4.8)$$

ile verilir. Burada V_{bi} sıfır beslemdeki built-in potansiyeli, ε_0 boşluğun dielektrik geçirgenliği, ε_s yarıiletken malzemenin dielektrik sabiti (n-GaAs için 13,1) ve N_d donör yoğunluğudur. Bir takım aritmetik işlemlerden sonra Denk. (4.8)

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi}-V)}{A^2 \varepsilon_s \varepsilon_0 q N_d} \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki V_{bi} potansiyeli, $C^{-2} - V$ grafiğinin lineer kısmının ekstrapole edilmesiyle elde edilir. Denk. (4.9)'un gerilime göre türevini alınırsa,

$$\frac{\partial(1/C^2)}{\partial V} = \frac{2}{A^2 \varepsilon_s \varepsilon_0 q N_d} \quad (4.10)$$

elde edilir. Denk. (4.10)

$$N_d = \frac{2}{A^2 \varepsilon_s \varepsilon_0 q \frac{\partial(1/C^2)}{\partial V}} \quad (4.11)$$

biçiminde yazılabilir.

Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için $C - V$ ölçümleri, 1 MHz frekansta, $V_{rms}=50$ mV ve oda sıcaklığında alınmıştır. Kaplanan ince filmin kalınlığı bu ölçümden, PDI'nın dielektrik sabiti 3,4 alınarak (Nalçacıgil, 2011) 61 nm olarak bulunmuştur. Numune için $C - V$ grafiği Şekil 4.8'de ve $C^{-2} - V$ grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi sığa değeri, düşük gerilim değerlerinde yavaşça artmakta fakat bu durum belli bir gerilim değerinden sonra keskin bir artış göstermektedir. Yüksek frekanslardaki sığa değeri, sadece uzay yük sığası olarak tanımlanırken bu

durum düşük frekanslarda, uzay yük sığası ve ara yüzey sığasının toplamı olarak tanımlanmaktadır (Yakuphanoglu ve ark., 2010). Yüksek frekanslarda hesaplanan parametreler ideal duruma daha yakın çıkmaktadır. Şekil 4.9'un lineer kısmının ekstrapole edilmesiyle $V_{bi} = 1,405$ eV bulunmuştur. Aynı eğrinin lineer kısmının eğiminden (Denk.(4.11)) donör yoğunluğu $N_d = 4,282.10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elde edildi.

Sığa-gerilim ölçümlerinden engel yüksekliği,

$$\phi_B(C - V) = V_{bi} + E_F - \Delta\phi_B \quad (4.12)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada $\Delta\phi_B$ band kenarı engel azalması olup

$$\Delta\phi_B = \left(\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (4.13)$$

şeklinde verilir. Burada E_m , maksimum elektrik alan,

$$E_m = \left(\frac{2qV_{bi}N_A}{\epsilon_s\epsilon_0} \right) \quad (4.14)$$

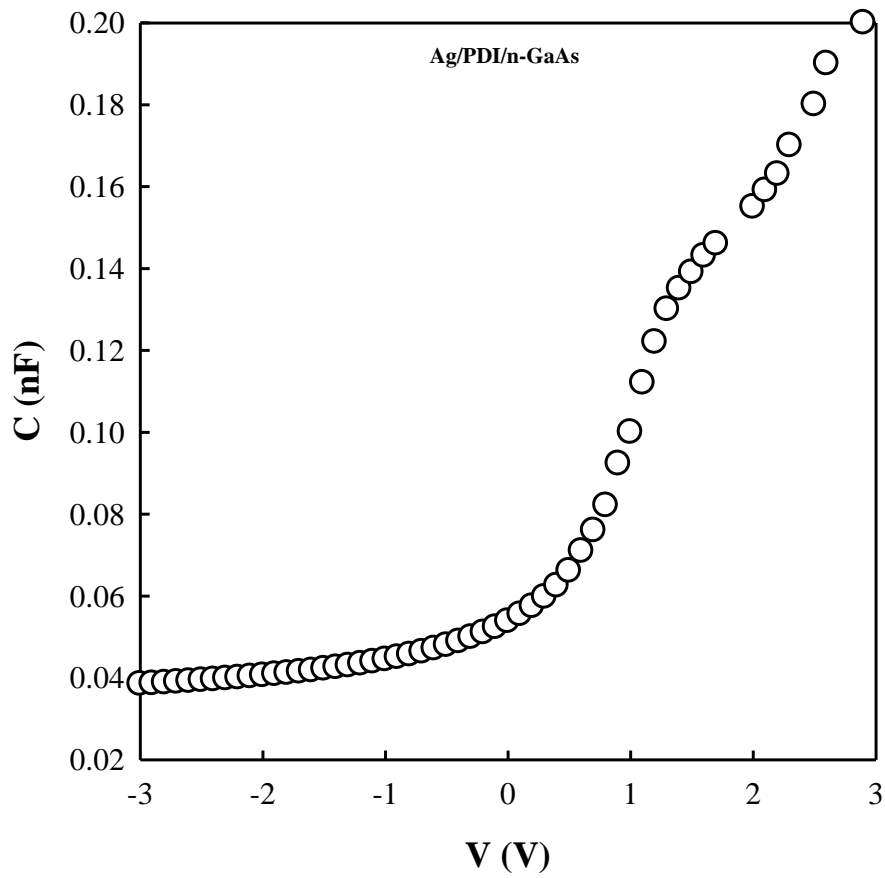
şeklinde verilir. Fermi enerjisi ise,

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \quad (4.15)$$

şeklinde tanımlanır. Eşitlikteki N_c n-GaAs'ın iletim bandındaki durum yoğunluğu olup $N_c = 4.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 'dür (Aydın ve ark., 2011).

Ag/PDI/n-GaAs Schottky yapı için Denk. (4.13), Denk. (4.14) ve Denk. (4.15) kullanılarak, $\Delta\phi_B = 6,866.10^{-3}$ eV, $E_m = 4,292.10^3$ V/cm, $E_F = 0,272$ V/cm elde edilmiştir. Bulunan bu değerlerin Denk (4.12)'de yerine konulması ile Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotun engel yüksekliği $\phi_B = 1,69$ eV bulunmuştur. Engel yüksekliği, sığa-gerilim karakteristiklerinden bulunan değerle akım-gerilim karakteristiklerinden bulunan değer karşılaştırılacak olursa, sığa-gerilimden elde edilen engel yüksekliğinin literatüre uygun değerden daha büyük olduğu görülmektedir. Engel yüksekliğindeki bu artış ara yüzeydeki homojensizliklerle ara yüzeydeki yüklerin dağılımıyla ilgili olduğu şeklinde yorumlandı. Güllü ve ark. (2010) Al/NF/n-Si diyotu ile yaptıkları bir çalışmada 10 kHz

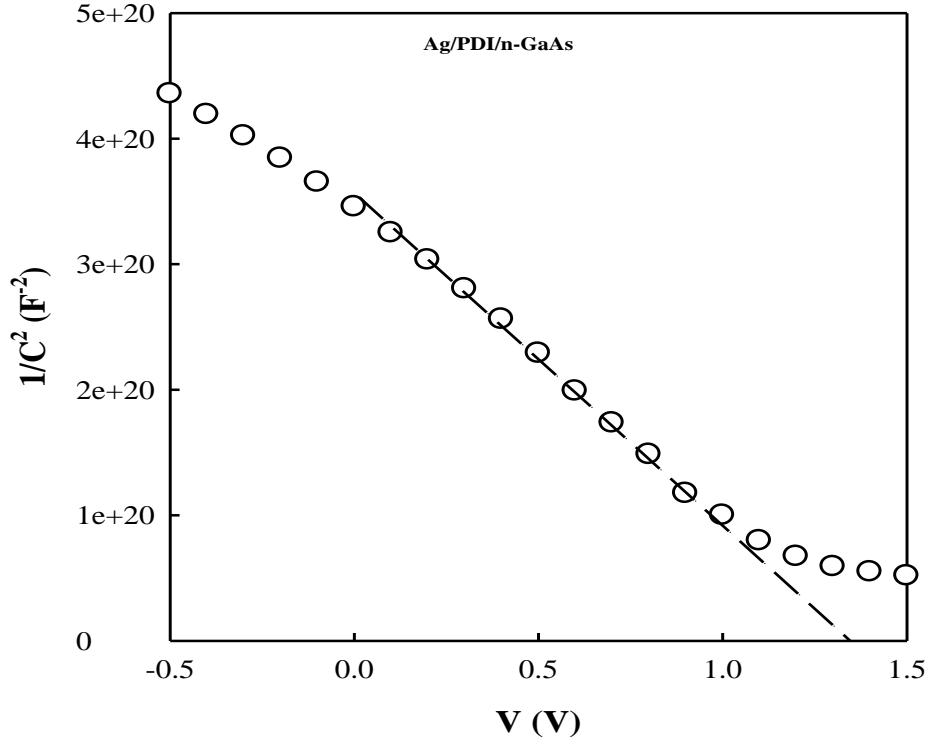
de alınan sığa-gerilim karakteristiklerinden engel yüksekliğini $1,42 \text{ eV}$ ve akım-gerilim karakteristiklerinden engel yüksekliğini $0,82 \text{ eV}$ olarak hesaplamışlar. C - V ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği ile I - V den hesaplanan değerden büyük olması, ara yüzeydeki düzensizliklerle açıklanabilir. Ayrıca donör veya akseptör yoğunluğunun bu tip organik Schottky diyotlarda $10^{10} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ aralığında değerler aldığı bilinmektedir. Buna göre Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için bulunan donör yoğunluğu literatüre uygun çıkmıştır. Sığa-gerilim karakteristiklerinden elde edilen diyota ait birçok parametre Çizelge 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.8. Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için C-V ve grafiği.

Çizelge 4.2. Ag/PDI/n-GaAs engel diyotu için C-V karakteristiklerinden elde edilen diyota ait bazı parametreler

$N_d \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$E_F \left(\frac{\text{V}}{\text{cm}} \right)$	$V_{bi} \text{ (V)}$	$\phi_B \text{ (eV)}$	$\Delta\phi_B \text{ (eV)}$	$W_d \text{ (cm)}$	$E_{\max} \text{ (V/cm)}$
4.282×10^{13}	0.272	1.405	1.69	6.866×10^{-3}	6.9×10^{-4}	4.072×10^3



Şekil 4.9. Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için $C^{-2} - V$ grafiği.

W_d tüketim tabakası genişliği iyonize donör yoğunluğundan N_d ve built-in potansiyelinden hesaplanabilir.

$$W_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_s}{qN_d}(V_{bi} - V)} \quad (4.16)$$

Burada V uygulanan potansiyel olup ters beslem durumunda negatif, doğru beslem durumunda pozitif işaretini almaktadır. Sıfır beslemdeki Schottky ara yüzeyi için maksimum alan (maksimum engel alanı),

$$E_{max} = \frac{2V_{bi}}{W_d} \quad (4.17)$$

ifadesi ile verilir (El-Nahass ve ark., 2005).

Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotu için sığa-gerilim karakteristiklerinden ve 1 MHz frekansında hesaplanan tüketim tabakası genişliği Denk (4.16)'dan $6.9 \times 10^{-4} cm$ olarak tayin edilmiştir. Oda sıcaklığındaki numune için E_{max} değeri ise $4.072 \times 10^3 V/cm$ değerinde bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyodların elektriksel karakterizasyonu sıcaklığa bağlı olarak ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Bu Schottky diyod numunelerinin, hazırlanmasında (100) doğrultuda büyütülmüş, yaklaşık olarak 500 μm kalınlığında ve 1-20 $\Omega\text{-cm}$ öz dirence sahip Tellür katkılı n-tipi GaAs (n-GaAs) kristali kullanılmıştır. Hazırlanan bu Ag/PDI/n-GaAs organik arayüzeyli Schottky diyotların, akım-gerilim (I - V) karakteristikleri 75 –350 K aralığında ve sığa-gerilim (C - V) karakteristikleri ise oda sıcaklığında ve 1 Mhz frekansta incelendi. Bu incelemelerden idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç, donör yoğunluğu gibi diyota ait birçok parametre hesaplandı.

Akım-gerilim karakteristikleri geniş bir sıcaklık aralığında (75–350 K) alınıp, sıcaklıkla değişimleri yorumlanmıştır. Burada Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyodunun artan sıcaklıkla daha iyi bir doğrultucu özellik gösterdiği görülmüştür. Böylece akımın, sıcaklıkla üstel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ancak burada 75 K'den daha düşük sıcaklıklarda ölçüm yapılmamıştır. Diyodun daha düşük sıcaklıklarda farklı bir yönelim gösterebileceği tahmin edilmektedir. Hazırlanan bu yapıların elektriksel karakteristiklerinin termiyonik emisyon teorisinden sapma gösterdiği gözlemlendi. Potansiyel engel yüksekliği sıcaklığın artışı ile artarken, idealite faktörünün ise sıcaklığın artışı ile azaldığı ve tüm sıcaklıklar için değerinin 1 den büyük olduğu gözlemlendi. Bu Schottky diyod parametrelerinin tayininde kullanılan klasik termiyonik emisyon teorisinden sapmalarının nedeni, metal/yarıiletken ara yüzeyindeki yüzey ve engel homojensizlikleri ile yalıtkan/yarıiletken arasındaki ara yüzey durumlarından kaynaklanmaktadır.

Araştırmacılar düşük sıcaklıklarda Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyodun akım-gerilim karakteristiklerini inceleyip diyodun bu farklı davranışını yorumlayabilirler. Ayrıca I - V karakteristiklerinden hesaplanan idealite faktörü değerleri sıcaklık artışıyla 1'e yaklaşmakta olup yaklaşık ideal diyot davranışı göstermektedir. Burada diyod, 350 K sıcaklığında ideal diyot davranışına en uygun durumda olduğu gözlemlenmiştir. Hem akım-gerilim ölçümlerinden hem de Cheung-Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü, engel yüksekliği değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu durum, yapılan ölçüm ve hesaplamaların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Yine Cheung-Cheung fonksiyonlarından hesaplanan seri direncin sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, idealite faktörünün sıcaklıkla azalmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Öte yandan, hazırlanan diyodun ara yüzey durumlarını incelemek için sığagerilim karakterizasyonu yapılmıştır. Sığa değerinin düşük gerilim değerlerinde gerilimle daha yavaş artarken yüksek gerilim değerlerinde bu artış daha keskin olmaktadır. C-V ölçümlerinden engel yüksekliği, taşıyıcı yoğunluğu gibi diyota ait birçok parametre hesaplanmıştır. Taşıyıcı yoğunluğunun ara yüzey malzemesi olarak organik malzeme kullanımına bağlı olarak beklenen aralıkta olduğu görülmektedir (Şimşir ve ark., 2012).

Sonuç olarak perylene-diimide organik yarıiletkeni ile modifiye edilmiş diyotun elektriksel karakterizasyonu yapılmış diyot parametreleri elde edilmiştir. Bu ölçümlerden diyotun ideal davranış sergilediği görülmektedir.

Bundan sonraki aşamalarda, organik yarıiletken malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişimler incelenebilir. Ayrıca, bu organik malzeme ile farklı kontak malzemelerinin kullanıldığı diyod yapılar incelenebilir. İncelenebilecek bir diğer yapı ise, perylene-diimide yarıiletkeninin, farklı alt taş yarıiletken malzemeler ile kullanılması olabilir.

KAYNAKLAR

- Ambrico, M., Losurdo, M., Capezzuto, P., Bruno, G., Ligonzo, T., Schiavulli, L., Farella, I., Augelli, V., 2005, *Solid State Electronics*, **49**, 413-419.
- Aydın, M. E., Soylu, M., Yakuphanoğlu, F., Farooq W. A., 2011, Controlling of electronic parameters of GaAs Schottky diode by poly(3,4-ethylenedioxiophene)-block-poly(ethylene glycol) organic interlayer, *Microelectronic Engineering*, **88**, 867-871.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Deniz, A. R., Türüt, A., 2010, Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Indigotindisulfonate Sodium (IS), *Solid State Communications*, **150**, 1592-1596.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Deniz, A.R., Türüt, A., 2010, Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Orcein, *Microelectronic Engineering*, **87**, 2525-2530.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Türüt A., 2010, Determination of contact parameters of Au/Carmine/n-Si Schottky device, *Thin Solid Films*, **518**, 7156-7160.
- Balkanski, M., Wallis, R. F., 2000, *Semiconductor Physic and Applications*, Oxford Univ. Press, New York.
- Bengi, A, Altındal, S, Özçelik, S., Mammadov, T.S., 2007, Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al_{0.24}Ga_{0.76}As/GaAs structures, *Physica B: Condensed Matter*, **396**, 22-28.
- Bose, J.C., 1904, U.S. Patent, 775. 840.
- Braun, F., 1874, Über die Stromlcitung durch Schwefelmetalle, *Ann. Physik Chem.*, **153**, 556-563.
- Brütting, W., 2005, *Physics of organic semiconductors*, Wiley-Vch-Verlag, Weinheim.
- Card, H.C., Rhoderick, E.H., 1971, Studies Of Tunnel MOS Diodes I. Interfaces Effects In Silicon Schottky Diodes, *J.Phys.D:Appl. Phys.*, **4**, 1589-1601.
- Chand, S., Kumar, J., 1996, On the existence of a distribution of barrier heights in Pd₂Si/Si Schottky diodes, *Journal Applied. Physics*, **80**, 288-292.
- Cheung, S. K., Cheung, N. W., 1986, Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, *Applied Physics Letters*, **49**, 85-87.

- Crowell, C. R., Sze, S. M., 1966, Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers , *Solid State Electron*, **9**, 1035-1048.
- El-Nahass, M. M., Zeyada, H. M., Aziz, M. S., El-Ghamaz, N. A., 2005, Carrier transport mechanisms and photovoltaic properties of Au/p-ZnPc/p-Si solar cell, *Solid-State Electronics*, **49**, 1314-1319.
- Gupta, R. K., Singh, R. A., 2004, Schottky diode based on composite organic semiconductors, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **7**, 83-87.
- Gupta, R. K., Singh, R. A., 2005, Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organics semiconductor, *Composites and Science and Technology*, **65**, 677-681.
- Güllü, Ö., Asubay, S., Aydoğan, Ş., Türüt, A., 2010, Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device, *Physica E*, **42**, 1411-1416.
- Hensch, H. K., 1984, Semiconductor Contacts ,*Celerndon Press*, New York.
- Karataş, Ş., Altındal, Ş., 2005, *Materials Science and Eng.B*, **122**, 133-139.
- Karataş, Ş., Altındal, Ş., 2005, *Solid State Electronics*, **49**, 1052-1054.
- Kittel, C., 1996, Katıhal Fiziğine Giriş, Çev: B. Karaoğlu, *Güven Kitap Yayın Dağıtım*, İstanbul.
- Korucu, D., Efeoğlu, H., Türüt, A., 2012, Evaluation of Lateral Barrier Height Of Inhomogeneous, photolithography-fabricated Au/n-GaAs Schottky Barrier Diodes Form 80 K to 320 K, *Materials Science In Semiconductor Processing*, **15**, 480-485.
- Kuş, M., 2006, Sıvı özellikli Perilendimidlerin sentezi ve organik fotosensörlerin fotofiziksel fotokimyasal parametrelerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Kutluca, H., 2007, Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Li, S. S., 2006, Semiconductor Physical Electronics, *Springer*, New York.
- Milnes, A. G., Feucht, D. L., 1972, Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junction, *Academic Press Inc.*, New York.

- Mott, N. F., 1938, Note on the Contact Between a Metal and an Insulator or Semiconductor, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **34**, 568-572.
- Nalçacıgil, Z., 2011, Perylene Türevi Organik Yarıiletken İnce Filimlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Neaman, D. A., 2003, Semiconductor Physical and Devices, *Mc Graw Hill*, New York.
- Okur, S., Yakuphanoğlu, F., Özsöz, M., Kadayıfçılar, P. K., 2009, Electrical and interface properties of Au/DNA/n-Si organic-on-inorganic structures, *Microelectronic Engineering*, **86**, 2305-2311.
- Rhoderick, E. H., Williams R. H., 1988, Metal Semiconductor Contacts , *Clarendon Press*, New York.
- Rockett, A., 2008, The materials science of semiconductors, *Springer-Verlag*, New York.
- Schottky, W., 1938, Halbleitertheorie der Sperrschicht, *Naturwissenschaften.*, **26**, 843-843.
- Schroder, D. K., 2006, Semiconductor Material and Device Charakterization , *John Wiley and Sons Inc.*, New Jersey.
- Sharma, B. L., 1984, Metal-Semiconductor Shottky Barrier Junction and Their Applications, *Plenum Press*, New York.
- Shuer, M., 1990, Physics of Semiconductor Devices, *Prentice-Hall, Int. Inc.*, New Jersey.
- Şimşir, N., Şafak, H., Yüksel, Ö. F., 2012, Investigation Of Current-Voltage Characteristic Of Ag/Perylene-monoimide/n-GaAs Schottky Diode, *Current Applied Physics*, **12**, 1510-1514
- So, F., 2010, Organic Electronics; Materials, Processing, Devices and Applications, *CRC Press*, Boca Raton.
- Soylu, M., 2007, Au/n-InP ve Au/Pyronine-B/n-InP Schottky yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu, Doktora tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Sze, S. M., 1981, Physics of Semiconductor Devices , 2nd Ed., *John Wiley*, New York.

- Tugluoglu, N., Karadeniz, S., 2012, Analysis Of Current-Voltage and Capacitance-Voltage Characteristics Of Perylene-monoimide/n-Si Schottky Contacts, *Current Applied Physics*, **12**, 1529-1535.
- Tunc, T., Gokcen, M., 2012, Preparation and Electrical Characteristic of Au/n-Si (110) Structure With PVA-Nickel Acetate Composite Film Interfacial Layer, *Journal Of Composite Materials*, **46**, 2843-2850.
- Wang, C.C., Huang, H. K., Wang, Y. H., Hwang, M. P., Wu, C. L., Chang, C. S., 2004, *Solid State Electronics*, **48**, 1683-1686.
- Wilson, A.H., 1931, The Theory of Electronic Semi-Conductor, Proc. Roy. Soc. A, **133**, 458-491.
- Yahia, I. S., Farag A. A., Yakuphanoglu, F., Farooq, W. A., 2011, Temperature dependence of electronic parameters of organic Schottky diode based on fluorescein sodium salt, *Synthetic Metals*, **161**, 881-887.
- Yakuphanoglu, F., Okur, S., 2010, Analysis of electronic parameters and interface states of boron dispersed triethenolemine/p-Si structure by AFM, I-V, C-V-f and G/w-V-f techniques, *Mikroelektronik Engineering*, **87**, 30-34.
- Yüksel, Ö. F., Kuş, M., Şimşir, N., Şafak, H., Şahin, M., Yenel, E., 2011, A detailed analysis of current-voltage characteristics of Au/perylene-monoimide/n-Si Schottky barrier diodes over a wide temperature range, *Journal of Applied Physics*, **110**, 024507.
- Yüksel, Ö. F., Tuğluoğlu, N., Şafak, H., Kuş, M., 2013, The modification of Schottky barrier height of Au/p-Si Schottky devices by perylene-diimide, *Journal of Applied Physics*, **113**, 044507.
- Zafer, C., 2006, Organik boya esaslı nanokristal yapılı ince film güneş pili üretimi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Ziel, A.V., 1968, Solid State Physical Electronics, *Prentice Hall Inc.*, New Jersey.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Feza BOY
Uyruğu : T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kulu 09.01.1972
Telefon : 505 355 85 15
Faks :
e-mail : fezaboy@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Teknik End. Mes. ve Teknik Lisesi	1989
Üniversite	: S.Ü. Fen-Edebiyat Fak.	1994
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi	Devam Ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1995-D. Ediyor	M E B	Öğretmen

UZMANLIK ALANI

Fizik, Elektronik

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

“Detailed current-voltage and capacitive-voltage characteristics of Ag/PDI/n-GaAs Schottky diodes” başlıklı bir makale çalışması hazırlanmaktadır.