

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nihal TOZLU**

**ZnO TABANLI YARIİLETKENLERDE METAL KONTAK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2011**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZnO TABANLI YARIİLETKEN METAL KONTAK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nihal TOZLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

Bu Tez 07/02/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Hamide KAVAK  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. Ramazan ESEN  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Gülfeza KARDAŞ  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.  
**Kod No:**

**Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: FEF2009YL69**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların  
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere  
tabidir.

**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZnO TABANLI YARIİLETKENLERDE METAL KONTAK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Nihal TOZLU**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Hamide KAVAK  
Yıl : 2011, Sayfa: 75  
Jüri : Prof. Dr. Hamide KAVAK  
Prof. Dr. Ramazan ESEN  
Doç. Dr. Gülfeza KARDAŞ

Bu çalışmada Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama (PFCVAD) sistemi kullanılarak cam alt tabanlar üzerine oda sıcaklığında çinko nitrür ve çinko oksit ince filmler üretildi. Çinko nitrür filmlerin 450 °C de tavlama ile p-tipi ZnO (Çinko Oksit) ince filmler elde edildi. Doğal olarak n-tipi olan çinko oksit ince filmler de 450 °C de tavlama ile p-tipi yapıldı. İnce filmlerin optik özellikleri belirlendi. Bu ince filmler üzerine Ag (Gümüş), Al (Alüminyum), In (İndiyum) metalleri Vakum Termal Evaporasyon sistemi ile kontaklar yapıldı. Bu örneklerin I-V ölçümleri yapılarak kontakların özellikleri araştırıldı. Kontaklar omik olarak bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** PFCVAD, ZnO, omik Kontak, Doğrultucu (Schottky) Kontak

## **ABSTRACT**

### **MASTERS THESIS**

# **INVESTIGATION OF METAL CONTACT PROPERTIES AT ZnO BASED SEMICONDUCTORS**

**Nihal TOZLU**

**ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Advisor :Prof. Dr. Hamide KAVAK  
Year :2011, Page: 75  
Jury :Prof. Dr. Hamide KAVAK  
Prof. Dr. Ramazan ESEN  
Doç. Dr. Gülfeza KARDAŞ

In this study thin zinc nitride and zinc oxide films were deposited at room temperature on glass substrates by a pulsed filtered cathodic vacuum arc deposition (PFCVAD) system. The zinc nitride thin films changed into p-type ZnO (Zinc Oxide) thin films by annealing at 450 °C. As deposited n-type ZnO (Zinc Oxide) thin films annealed at 450 °C. Optical properties of these thin films were determined. The metal contacts were made on these thin films with Ag (Silver), Al (Aluminium), In (Indium) by Vacuum Thermal Evaporation system. The contact properties of these films were investigated by I-V measurements. The contact types were found to be ohmic.

**Key Words:** PFCVAD, ZnO, ohmic Contact, Schottky Contact

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana ZnO Tabanlı Yarıiletkenlerde Metal Kontak Özelliklerinin Araştırılması konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hamide KAVAK'a ve hocam Prof. Dr. Ramazan ESEN'e, deneylerim ve ölçümlerim sırasında bana yardımcı olan Arş. Gör. İlker Özşahin'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezim süresince bana her türlü destek veren sevgili eşim Durmuş Agah TOZLU' ya, bugüne kadar başarılı ve mutlu bir insan olarak ulaşmamda emeği olan babam Veli YILDIZ'a, annem Leyla YILDIZ'a, ve ayrıca ablam Dr. Hilal YILDIZ'a ve kardeşim Büşra YILDIZ'a sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| ÖZ                                                           | I    |
| ABSTRACT .....                                               | II   |
| TEŞEKKÜR.....                                                | III  |
| İÇİNDEKİLER.....                                             | IV   |
| TABLolar DİZİNİ.....                                         | VI   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                        | VIII |
| SEMBOLLER .....                                              | X    |
| 1.GİRİŞ .....                                                | 1    |
| 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                     | 3    |
| 3.MATERYAL VE METOD .....                                    | 11   |
| 3.1. İnce Film Depolama Teknikleri.....                      | 11   |
| 3.1.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD) .....         | 11   |
| 3.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği (PVD) .....         | 13   |
| 3.1.3. Atmalı Katodik Vakum Ark Depolama Sistemi .....       | 15   |
| 3.1.3.1. Reaksiyon Odası .....                               | 18   |
| 3.1.3.2. Turbomoleküler Pompa Sistemi .....                  | 19   |
| 3.1.3.3. Atmalı Plazma Ark Kaynağı .....                     | 20   |
| 3.1.3.4. Gaz Akış-Basınç Kontrol Sistemi .....               | 21   |
| 3.1.3.5. Oksijen Tüpü .....                                  | 22   |
| 3.1.3.6. Katot ve Alt Tabaka .....                           | 22   |
| 3.1.4. PFCVAD Sisteminin Çalışma Prensibi .....              | 22   |
| 3.1.5. PFCVAD Sistemin Karakteristikleri .....               | 23   |
| 3.2. Yarıiletkenler İle İlgili Genel Bilgiler.....           | 24   |
| 3.2.1. ZnO'nun Kristal Yapısı .....                          | 25   |
| 3.2.2. Zn <sub>3</sub> N <sub>2</sub> in Kristal Yapısı..... | 26   |
| 3.2.3. Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi.....      | 28   |
| 3.2.3.1. Soğurma Katsayısının Hesaplanması.....              | 29   |
| 3.2.3.2. Yasak Enerji Aralığının Bulunması.....              | 33   |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.3.3. Film Kalınlığının Belirlenmesi.....                                                                                         | 35 |
| 3.2.3.4. Kırılma İndisi Hesabı.....                                                                                                  | 36 |
| 3.2.4. Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Hall Etkisi ile Belirlenmesi.....                                                        | 36 |
| 3.3. Metallerle İlgili Genel Bilgiler .....                                                                                          | 38 |
| 3.4. Isısal Buharlaştırma (Thermal Evaporation) .....                                                                                | 39 |
| 3.4.1. Mekanik Pompalar .....                                                                                                        | 40 |
| 3.4.2. Difüzyon Pompaları .....                                                                                                      | 41 |
| 3.4.3. Isısal Buharlaştırma Sisteminin Çalışma Prensibi .....                                                                        | 43 |
| 3.5. Kontak .....                                                                                                                    | 44 |
| 3.5.1. n-Tipi Yarıiletken/Metal Kontaklar.....                                                                                       | 46 |
| 3.5.2. p-Tipi Yarıiletken/Metal Kontaklar.....                                                                                       | 50 |
| 3.5.3. Kontakların Karakterizasyonu .....                                                                                            | 52 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                                                                                         | 55 |
| 4.1. Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi ile Elde Edilen ZnO<br>İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi..... | 55 |
| 4.2. Filmlerin Elektriksel Özellikleri.....                                                                                          | 60 |
| 4.3. Isısal Buharlaştırma ile Yapılan Kontakların I-V Özellikleri.....                                                               | 61 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                                                                        | 69 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                                       | 71 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                       | 75 |

**TABLolar DİZİNİ****SAYFA**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 4.1. İnce filmlerin optik karakterizasyonu .....          | 58 |
| Tablo 4.2. N2 isimli ince film için kırılma indisi hesabı ..... | 59 |
| Tablo 4.3. N3 isimli ince film için kırılma indisi hesabı ..... | 59 |
| Tablo 4.4. N4 isimli ince film için kırılma indisi hesabı. .... | 59 |
| Tablo 4.5. N5 isimli ince film için kırılma indisi hesabı ..... | 60 |
| Tablo 4.6. Filmlerin elektriksel karakterizasyonu .....         | 60 |
| Tablo 4.7. Omik kontakların direnç değeri.....                  | 67 |



|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. PFCVAD sisteminin şematik gösterimi .....                                                                    | 17 |
| Şekil 3.2. Reaksiyon Odası .....                                                                                        | 18 |
| Şekil 3.3. Turbomoleküler pompa sistemi .....                                                                           | 19 |
| Şekil 3.4. (a) Atmalı Plazma Ark Güç Kaynağı, (b) Plazma kaynağının şematik ...                                         | 20 |
| Şekil 3.5. Gaz Akış-Basınç Kontrol Sistemi.....                                                                         | 21 |
| Şekil 3.6. Film üretiminde kullanılan Oksijen tüpü ve Gaz Vanası .....                                                  | 22 |
| Şekil 3.7. ZnO'nun kristal yapısı .....                                                                                 | 26 |
| Şekil 3.8. Zn <sub>3</sub> N <sub>2</sub> 'in kristal yapısı .....                                                      | 27 |
| Şekil 3.9. Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi .....                                                            | 28 |
| Şekil 3.10. İnce bir tabakadaki soğurma. (Meyer, 1972).....                                                             | 30 |
| Şekil 3.11. İnce bir filmde çok yansımali ışık geçirimi. (Pankove, 1971) .....                                          | 31 |
| Şekil 3.12. Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi. (Mott)                                    | 34 |
| Şekil 3.13. Hall Ölçüm Sistemi.....                                                                                     | 37 |
| Şekil 3.14. Jee-4X Vakum Evaporatör .....                                                                               | 43 |
| Şekil 3.15. (a) Yarıiletkenin enerji-bant diyagramı (b) Saf yarıiletken için Fermi<br>dağılım fonksiyonun değişimi..... | 45 |
| Şekil 3.16. Metal-yarıiletken doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı.....                                            | 47 |
| Şekil 3.17. Omik kontağın enerji-bant diyagramı.....                                                                    | 49 |
| Şekil 3.18. p-tipi yarıiletken kontakların Enerji-Band diyagramı.....                                                   | 50 |
| Şekil 3.19. Metal/p-tipi yarıiletken kontakların Enerji-Band diyagramı.....                                             | 52 |
| Şekil 3.19. hp4156C ile ölçüm yapmak kullanılan kurulum ekranı.....                                                     | 54 |
| Şekil 4.1. 450 °C de tavllanmış ince filmlerin dalga boyuna karşı geçirgenlik<br>eğrileri.....                          | 56 |
| Şekil 4.2. 450 °C de tavllanmış filmlerin $\alpha$ - E değişimi .....                                                   | 57 |
| Şekil 4.3. 450 °C de tavllanmış filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ -E değişimi .....                                           | 58 |
| Şekil 4.4. N3 ince filmi ile Gümüş(Ag) kontaklarının akım-gerilim değişimi.....                                         | 62 |
| Şekil 4.5. N3 ince filmi ile Alüminyum(Al) kontaklarının akım-gerilim değişimi....                                      | 63 |
| Şekil 4.6. N3 ince filmi ile Indium(In) kontaklarının akım-gerilim değişimi.....                                        | 64 |
| Şekil 4.7. N5 ince filmi ile Gümüş(Ag) kontaklarının akım-gerilim değişimi.....                                         | 65 |

Şekil 4.8. N5 ince filmi ile Alüminyum(Al) kontaklarının akım-gerilim değişimi....66

Şekil 4.9. N5 ince filmi ile Indium(In) kontaklarının akım-gerilim değişimi.....67

## **SEMBOLLER**

PFCVAD: Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Tekniği

MOCVD : Metal Oksit Kimyasal Buhar Depolama

MBE : Moleküler Demetli Epitaksi

CVD : Kimyasal buhar Depolama

PVD : Fiziksel buhar Depolama

TEM : Taramalı elektron mikroskobu

PL : Fotolüminesans

RF : Radyo Frekans

XPS : Foto Elektron Spektroskopisi

XRD : X-Işın Kırınımı

AC : Alternatif Akım

DC : Doğru Akım



## 1. GİRİŞ

Günümüzde yoğun madde fiziğinin en çok ilgi gören araştırma dalları arasında ince film teknolojisi ve bu teknoloji için üretilen filmlerin özelliklerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Üretilen bu yarıiletkenler çok küçük hacimler içinde birçok işleve sahip olan, hızlı elektronik devre elemanlarının meydana getirilmesini kolaylaştırır ve bu teknolojinin gelişimine katkıda bulunmaktadır.

II-VI grup elementleri kendi aralarında ikili bileşik meydana getirirler, II. grup elementi olan Zn ve VI. grup elementi olan O, ZnO bileşik yarıiletkenini oluştururlar.

ZnO (Çinko oksit) yarıiletken bileşiği geniş (3.4 eV) ve direk bant aralığına, yüksek erime sıcaklığına, yüksek kırılma voltajına sahiptir. Bundan dolayı teknolojiye ve bilimsel çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. Yüksek güç, yüksek sıcaklık, yüksek frekans devrelerinde kullanılabilirler. Diğer yarıiletkenlere göre yüksek enerjili elektron radyasyonuna karşı dirençli olmalarından dolayı parçacık radyasyonunun yüksek olduğu uzay araştırmalarında ve nükleer santraller gibi karasal uygulamalarda da kullanılabilirler

Yarıiletken ince filmler mikro elektronikte yaygın kullanıldığı gibi, optik uygulamaları açısından da çok büyük öneme sahiptirler. Bu optik kaplamalar, geniş kullanım alanları nedeniyle geniş ürün yelpazesine ve ekonomik pazara sahiptirler.

Yüksek eksiton enerjisine sahip olmaları nedeniyle ışık üretme verimi diğer yüksek enerji aralıklı yarıiletkenlerden fazladır. Bu nedenle gösterge panellerde, LED ve lazerlerde kullanılma potansiyeline sahiptirler. Bundan başka yakın UV' den yakın kırmızı altı bölgeye kadar pek çok amaçlı kullanılabilen geniş ve dar band geçiren optik filtrelerin üretiminde ve güneş pillerinde, gerilim düzenleyici olarak yüksek gerilim veya düşük akım elektronik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca savunma sanayinin ihtiyacı olan gece görüş sistemlerinde, ısı kameralarda kullanılır. Ayrıca çeşitli aynalar ve özellikle enerji tüketimini azaltmakta kullanılan mimari camlarda yaygın olarak kullanılır.

Bu çalışmada atmalı katodik vakum ark depolama yöntemiyle oluşturulan ZnO yarıiletkeni ile metallerin yaptığı kontakların özellikleri araştırılacaktır. Havada ve vakumda ZnO' nun yüzey ile kontak özelliklerinin bağımlılığı termal yöntemle belirlenecektir.

Kontak, kullanılan metalin cinsine bağlı olarak doğrultma ya da omik özellikli olarak meydana gelebilir. ZnO kontaklarının özelliklerini belirlemedeki başlıca faktör yarıiletken yüzey potansiyelinin metale göre aldığı durumdur.

Metal ve yarıiletken bileşikler arasındaki kontak ile ilgili yapılan çalışma bu bileşiklerin çeşitli yüzey özelliklerini gözlemede ve kendine özgü iletkenliği ve genelde ilginç özellikleri olan yarı iletkenleri temel alarak aygıt inşa edebilme olasılığını belirlemede önemlidir.

Genelde kristalde iyonik bağlı olan yarıiletkende, metal-yarıiletken kontağı için bariyer yüksekliği Schottky teorisi ile tanımlanır. Ancak ZnO için bağ % 64 iyonik olmasına rağmen, metal- yarıiletken bariyer yüksekliği üzerinden elde edilen deneysel veriler çelişkilidir. Yüksek oksijen afinitesine sahip metaller ( Al,Sn,Ti...) ZnO ile birleştirildikleri zaman omik ya da alçak bariyer yüksekliğine sahip kontaklar üretirler.

Sonuç olarak bu çalışmada günlük hayatta yaygın olarak kullandığımız elektro-optik aygıtlar için en uygun ZnO-metal kontaklar elde edilecektir. Bu sayede yapılan çalışma sonunda hem bilimsel, hem de endüstriyel yararı bulunan birçok aygıtın üretimi ve aygıtların çalışma prensiplerinin anlaşılması kolaylaşacaktır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çinko oksit üzerinde yüzey engel yapıları oluşumu analiz edildi. ZnO'nun havada ve vakumda termal yöntem ile yüzey ve kontak özellikleri bağımlılıkları çalışıldı. Kontakın doğrultucu veya omik olmasının yüzey yapısına bağlı olduğu saptandı. Buda ZnO kontaklarının belirlenmesindeki en büyük faktörün yarı iletken yüzeyinin durumu olduğunu gösterir. Nemin bu gibi kontakların özellikleri üzerindeki etkisi çalışıldı (Rabadanov ve ark, 1980).

Vakum ark depolama sistemi ile ZnO ince filmleri oda sıcaklığında cam alt tabanlar üzerine depolanmıştır. Elektriksel, optiksel ve yapısal özellikler 0.26 – 0.73 Pa oksijen basıncı ve 100 - 300 A ark akım aralığının fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Ek olarak başka bir işlem uygulanmamıştır. Ark akımına lineer bağlı olarak, film kalınlığı 100 – 400 nm aralığındadır. Depolandığı gibi elektriksel öz direnci  $(1-2) \times 10^{-4} \Omega \text{ m}$  ve 300 nm kalınlığındaki filmin optiksel geçirgenliği görünür ve yakın -IR spektral bölgede %85-95 aralığındadır. 0.42 Pa oksijen basıncında depolanan 240 nm kalınlığındaki ve görünür ve yakın-IR de % 94 geçirgenliğe sahip olan filmin minimum öz direnci  $1.05 \times 10^{-4} \Omega \text{ m}$  olarak elde edilmiş. Aynı akım ve basınçta depolanan 7 örnekten oluşan set için ölçülen parametrelerdeki bağıl standart sapma % 4 ten küçüktür. XPS analizi, hem yüzey üzerinde hem de yapı içinde filmlerin tam orantılı olmadığını göstermiş ve bu bileşimin basınca zayıf bağlı olduğunu göstermiştir. XRD analizi filmlerin tercih edilen yöneline bağlı basınç ile birlikte kristalleştiğini göstermiştir (David ve ark, 2003).

Bu araştırmada, arsenik katkılı ZnO ve intrinsik (özgün) n tipi ZnO tabakaları içeren homoyapısal ZnO p-n eklemlerinin fonksiyonu anlatılmıştır. Bunun yanında p tipi ZnO ile omik kontak oluşturmak için metalizasyon yöntemi tanımlanmıştır. ZnO filmleri hibrit beam depolama ile n tipi SiC alt tabanları üzerinde sentezlendi. Diğer metal kontakları (Ör: In/Au ve Ti/Au) Schottky engellerini açığa çıkaran doğrultma ile birlikte lineer olmayan karakteristiği gösterirken, Ni/Au metal kontakları omik davranışını belirten lineer I-V karakteristiğini gösterdiler. ZnO tabakalarından

oluşan p-n eklemlerinin karakteristikleri I-V ölçümleri ile saptandı (Ryu ve ark, 2003).

Tek kristal ZnO Nanotelleri buhar tuzaklama kimyasal buhar depolama metodu kullanılarak sentezlendi ve alan-etki transistörleri gibi konfigüre edildi. Elektriksel geçirgenlik çalışmaları taşıyıcı konsantrasyonu  $\sim 10^7 \text{ cm}^{-1}$  ve elektron mobilitesi yaklaşık  $\sim 17 \text{ cm}^2/\text{V s}$  olan n tipi yarıiletken davranışında olduğunu gösterir. Au/Ni elektrodu arasındaki kontak Schottky engeli ve nanotel, iletkenliğe bağlı sıcaklıkta belirlendi. Geçirgenlik mekanizmasında termoiyonik emisyon baskın bulundu. Oksijen yüzeyde tutunmasının nanotelde elektron taşınımındaki etkisi araştırıldı. Oksijen yüzeyde tutunma duyarlılığı kapı (giriş) voltajı ile ayarlandı. Bu sonuçlar ZnO'nun nano ölçekte duyarlı uygulamaları için yüksek potansiyel taşıdığını gösterir (Fan ve ark, 2004).

Bu çalışmada c eksen yönelimli ZnO ince filmler başarılı bir şekilde Si (100) alt tabanlar üzerine oda sıcaklığında RF magnetron söktürme tekniğiyle depolanmıştır. RF gücünün ZnO ince filmlerin yapı kalitesini etkilediğini, bu etkinin ise daha yüksek RF gücü değerlerinde film kalınlığının artmasıyla ilgili olduğu ispatlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM, Scanning Electron Microscope) analizleri artan film kalınlığı ile tanecik morfolojisinin değiştiğini ve tanecik boyutunun arttığını göstermiştir. X-ışın kırınımı (XRD, X-ray diffraction) sonuçları, azalan RF gücüyle sabit film kalınlığında c eksen yönündeki baskıcı gerilimin arttığını ve c eksen yöneliminin daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca tanecik boyutunun azalan RF gücüyle daha çok küçüldüğü bulunmuştur. Bu çalışmada RF magnetron söktürmeyle Si alt tabanı üzerine ZnO düşük sıcaklıkta (400 °C) direk depolanmış, daha sonra oluşan bu tabaka üzerine tekrar ZnO büyütülmüş ve oluşan son filmin yapısal ve optik kalitesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar düşük sıcaklıkta Si üzerine depolanan bu ilk ZnO tabakasının yüksek sıcaklıklarda yüksek kalitede ZnO depolanmasında iyi bir alt taban olduğunu göstermiştir. X-ışın kırınımı (XRD, X-ray diffraction) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM, Scanning Electron Microscope) sonuçları iki aşamada depolanan bu ZnO filmlerin direk depolanan ZnO filmlere kıyasla yarı maksimum tam genişliklerinin daralması ve daha yumuşak

yüzey morfolojilerine sahip olmasıyla, yapısal kalitelerinin gelişmiş olduğunu göstermiştir (Jeong ve ark, 2004).

Zn:In filmlerinin hazırlanışı tartışıldı. Eriyik içinde çinko asetat ve indiyum konsantrasyonları ile birlikte yapısal, elektriksel ve optiksel özelliklerin değişimi araştırıldı. XRD çalışmaları tercih edilen yönelimin (002) den (101) kristal düzlemine indiyum dopant konsantrasyonunun artmasıyla birlikte değiştiğini göstermiştir. Filmler  $1.33 \times 10^{-4} \Omega \text{ m}$  düşük direnci ve 550 nm’ de % 94 geçirgenliğe sahip olarak optimum koşullarda depolandı. SEM çalışmaları filmlerin pürüzsüz polikristal yapıya sahip olduğunu gösterdi. Performans katsayısı elektriksel özdirenç ve geçirgenlik verilerinden hesaplandı (Joseph ve Ark, 2004).

Sodocalcic cam tabanlara sol-gel tekniği ile iletken ve geçirgen indiyum katkılanmış ZnO ince filmleri depolandı. Çinko asetat ve indiyum klorür öncü maddeler olarak kullanıldı. Filmin elektriksel özdirenci, yapısı, morfolojisi ve optiksel iletkenliği filmin kalınlığının fonksiyonu olarak ve vakum içinde oksijen veya argon ile üretim sonrası tavlama davranışları analiz edildi. Elde edilen filmler bütün durumlar içinde öncelikli (002) büyümeyi göstermiştir. Yüzey morfolojisi çalışmaları filmin kalınlığındaki artışın tane büyüklüğündeki artışa neden olduğunu göstermiştir. 0.18  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki film optimum depolama şartları altında vakumda hazırlandı ve bunu tavlama işlemi takip etti. Buda  $1.3 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$  elektriksel özdirenç ve %85’den yüksek optiksel geçirgenlik gösterdi. Bu sonuçlar ZnO:In ince filmini ince güneş pilleri içerisinde geçirgen elektrodlar için cazip bir malzeme yapmaktadır (Luna-Arredondo ve Ark, 2005).

ZnO p-n homoekelemleri Al-N-co katkılanmış p tip ZnO tabakaları üzerinde Al katkılanmış n tipi ZnO tabakalarına doğru reaktif magnetron püskürtme yöntemi ile kuarts alt tabanları üzerinde üretildi. In/Zn metal kontağı omik davranış gösteriyor ve omik kontaklar Ar ortamı içinde tavlanaarak değerlendirilebilirler. Al-N-co katkılanmış ZnO ve Al katkılanmış ZnO için uygun tavlama sıcaklıkları 550 °C ve 600 °C’ dir. p-n eklemlerinin karakteristiği akım-gerilim ölçümlerinden saptanabilirler. Açılış voltajı ters gerilim altında düşük sızıntı akım ile birlikte 2V’dir. ZnO p-n eklemleri serisinin dirençleri tavlama sıcaklığı optimize ederek,

ZnO'nun tanecik boyutunu büyüterek ya da p tabakasının deşik konsantrasyonunu arttırarak alçaltabilir (J. G. Lu ve Ark, 2005).

Bu çalışma n ve p tipi Omik ve Schottky kontakları anlatmaktadır. Bu, doğrudan n tipi tabakalar üzerinde tavlammamış  $10^6 \Omega \text{ cm}^2$  civarındaki kontaklar için, özel kontaklar öz dirençleri ile birlikte n tipi ZnO ile yüksek kalitede omik kontakların oluşumu ile ilgilidir. Bunu yanında geçen çalışmada 300-600 °C de tavlammış Au ve Ni/Au için iyi sonuçlar olduğunu göstermiştir. n tipi ve p tipi ZnO ile olan Schottky kontakları metal iş fonksiyonundan ve ZnO 'nun elektron afinitesinden beklenenden daha düşüktür. Bu yüzey durumlarını varsaymak etkin engel yüksekliğini belirlemede önemlidir. Bunu yanında Schottky kontakları zayıf termal kararlılık gösterirler. Buda ZnO temelli geçirgen transistörler için oksit kapılarının metal kapılarından daha uygun olduğunu öne sürer ( K. Ip ve Ark, 2005).

Tek kristal ZnO ince filmleri plazma destekli moleküler demet epitaksi kullanılarak büyütülmüştür. Karakterizasyon için fotoluminesans ve fotoiletkenlik kullanılarak üretim sonrası tavlamanın etkisi çalışıldı. Tavlammış örneklerin fotoluminesansları tavlammış ve tavlammamış örnekler arasında güçlü düzelme göstermiştir. Keskin eksitonik özellikleri yanı sıra LO fonon kopyaları tavlammış numune için, gelişmiş film kalitesi gözlenmiştir ancak tavlama sıcaklığının dikkatle ayarlanmış olması gerekmiştir. Fotoiletkenlik band kenarında güçlü multi-pik özellikler gösterir, böylece fotoluminesans spektrumunda özellikleri tanımlamaya yardım eder. Sıcaklık ve kesme hızı bağımlılıkları optimuma yakın sıcaklıklarda tavlammış örnekler için gözlemlenen fotoiletkenlik pikleri için ilginç davranışlar gösterir (Henseler ve ark, 2005).

Hall etkisi, fotoluminesans (PL) ve Schottky diyot ölçümleri hidrotermal olarak büyütülmüş ZnO hacminin Zn-Polar, O-polar ve m düzlem yüzlerinde yapılmıştır. Çeşitli polaritelerle alakalı farklılıklar PL spektrumunda gözlemlenmiştir. En çok dikkati çeken serbest eksitonların ve tripletin emisyonlarının Zn-polar yüzünde 3.3/25- 3.3/50 eV artışıdır. Ayrıca polarite etkileri Ag hedef ve Ar/O<sub>2</sub> plazma kullanılarak RF püskürtme ile üretilen yüksek doğrultucu gümüş oksit diyotlarının özelliklerinden gözlemlenmiştir. En önemlisi gümüş oksit diyotlarının Zn- polar yüzünün O-polar yüzüne nispeten 130 meV'den büyük engel

yüksekliğinin olmasıdır. Bu polarite etkilerinin Zn-polar ve O-polar yüzlerinde spontane polarizasyon yüklerinin sıçramasının iç karşılığı sonucu olduğu düşünülmüştür. Ek olarak Au ve Ag Schottky diyotları hayali kuvvet kontrol idealite faktörleri ile birlikte hiçbir özel yüzey işlemi olmadan ZnO hacminin Zn-polar yüzüne meydana getirildi (Allen ve ark, 2007).

ZnO yüzeyinde olduğu bilinen ince yüksek iletken tabakanın oluşum mekanizması çalışıldı. ZnO tek kristallerinin fotoiletkenlik üzerinde post-büyüme tavlama etkisi çalışıldı. ZnO tek kristalleri kimyasal buhar taşıma (CVT) yöntemi ile büyütülmüş ve 900 °C’ de havada tavlандılar. Dember etkisinin belirtisi tüm kristaller için baskın foto taşıyıcıları olan elektronları göstermektedir. Fotoiletkenlik şiddeti tavlama zamanının artışıyla azaltılmaktadır. Fotoiletkenlik sıcaklık bağımlılığı aktivasyon enerjisinin büyütülmüş kristaller için 6 MeV olarak, tavllanmış kristaller için 28 MeV’ e arttığını göstermektedir. Fotoiletkenlik spektrum olarak büyütülmüş kristaller için 2.8 eV civarında enerji seviyesini gösteriyor. Ertelenmiş tavlama işlemi, 2.6 eV civarında bir enerji seviyesi üretiyor ve 2.8 eV foto duyarlılığını azaltıyor. Bu sonuçlar hava içinde 900 °C düzeyde tavlama işleminin donar düzeylerini arttırdığını öne sürer, çünkü kusurların etkin yükleri değişmiştir (Sato ve ark, 2008).

Bu çalışma ZnO filmleri üzerinde iridyum kontak elektrotlarıyla Schottky diyotları üretildi ve karakterize edildi. Ir ve ZnO arasında Schottky engel yüksekliği  $0.824 \pm 0.04$ ,  $0.837 \pm 0.04$  ve  $0.924 \pm 0.04$  eV şeklinde sırasıyla termioyonic, emisyon modeli, Norde model ve kapasitans-voltaj ölçümleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca ZnO tabanlı Schottky diyotunun idealite faktörü 1.68 olarak bulunmuştur (Young ve ark, 2008).

Bu yazıda optiksel sabitler üzerinde tavlama sıcaklığının etkisi incelenmiştir. ZnO filmleri çeşitli tavlama sıcaklıkları için sol-gel metodu kullanılarak mikroskobik cam alt tabanları üzerinde depolanmıştır. Depolanan çinko oksit (ZnO) filmleri XRD, spektrofotometre ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edildi. Spektrofotometreden geçirgenlik spektrumu kaydedildi ve 90% geçirgenlik sergilendiği gösterildi. XRD verileri ZnO’nun doğasının polikristal olduğunu gösterdi. Optik sabitler zarf yöntemi ile geçirgenlik spektrumu kullanarak

belirlenmiştir. Önemli olarak bulunan ZnO filmlerinin kırılma indisinde ve eksiton katsayısında tavlama sıcaklığının etkisi bulunmuştur. Bu deneyde, 350 °C tavlama sıcaklığında görünür bölgede optimum kırılma indisinin değeri 1.97 olarak elde edilmiştir. Tüm örnekler için optiksel enerji aralığı 3.2 eV olarak bulundu. SEM'in en yüksek noktasının incelemesi ZnO tanelerinin cam alt tabanları üzerinde büyütüldüğünü gösterir (Bole Ve ark, 2008).

Çinko oksit (ZnO) nanoteller ( $\text{SiO}_2$ ) kuvarz termal buharlaştırma yaklaşımı kullanılarak azot atmosferinde ZnO ve reaktanları olarak grafit toz karışımı ile yüzeylerde sentez edilmiştir. Ag ve Au/Ag ile ZnO nanotellerinin kontaklarının hepsi için omik davranış elde edilmiştir. Örnekler yeniden 300 °C, 400 °C ve 500 °C tavlandıktan sonra incelendiğinde, ZnO Nanotelleri ile minimum dirençli Ag ve Au/Ag kontakları elde etmek için optimum tavlama sıcaklıkları sırasıyla 400 °C ve 300 °C' dir. Kontak omik davranışı oluşumuna neden olan metal-çinko bağı, metal-oksijen bağına göre baskındır (Tiong ve ark, 2008).

Geniş bant aralıklı yarı iletken tabakalar olan n tipi ZnO ince filmleri n tipi Si alt tabanlarından elektrokimyasal teknik ile üretildi ve ( $I-V$ ) ve ( $C-V/f$ ) karakteristikleri oda sıcaklığında ölçüldü. Yapıların engel yüksekliği, idealite faktörü ve serilerin direnç gibi karakteristikleri parametreler ( $I-V$ ) ölçümlerinden belirlendi. Bunun yanında Cheung fonksiyonları ve Norde metodu ve ( $I-V$ ) karakteristiğini çizmek ve Schottky kontağının karakteristik parametrelerini çıkarmakta kullanıldı. Tuzakla dolmuş uzay yük limit akımı büyük ileri gerilimdeki taşıma mekanizmasında baskın olduğu görülmüştür. Kapasitans ölçümleri gösterir ki yüksek frekansta kapasite hızlı azalırken, kapasite değerleri tamamen frekanstan bağımsızdır (Aydoğan ve ark. 2008).

Bu çalışmada termal evaporasyon tekniği ile ITO kaplanmış, cam alt tabanları üzerinde büyütülmüş ZnO ince filmleri üzerindeki Al ve Pt metal kontaklarının üretimini ve karakteristiğini anlatılmıştır. ZnO ince filminin yapısal ve yüzey özellikleri XRD ve atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak çalışıldı. Atomik kuvvet mikrografikleri ZnO mikroparçacıklarının küçük yüzey pürüzleriyle birlikte mükemmel piramit şekline sahip olduğunu gösterir. Pt/ZnO ve Al/ZnO kontaklarının akım voltaj karakteristikleri taramalı tünelleme mikroskobisiyle çalışıldı. ZnO ince

filmleri üzerinde Pt kontak 0.72 eV yüksekliğine sahip kontak gibi davranır, aynı anda Al kontakları ise doğal olarak omiğe dönüşür. ZnO ince filmleri band aralığı soğurma spektroskopisi ölçümlerinden 3.10 eV olarak tahmin edildi (Periasamy and Chakrabarti, 2009).

Yüksek alüminyum katkılı ZnO filmleri köpük nanoparçacıklarından düşük sıcaklıkta RF-mangreton püskürtme ile büyütülmüştür ve yapısal, elektriksel ve optiksel teknikler ile karakterize edilmiştir. 30 nm boyutundaki nanoparçacıklar etil alkol içinde süper kritik kurulumu kullanılarak sol-gel metodu ile sentezlenmiştir ve değişik sıcaklıkta farklı gaz ortamları kullanılarak tavlansmıştır. ZnO filmleri polikristal yapılandırılmıştır, tercihen kristal grafik yönü film yüzeyinin normali doğrultusunda yönelmiştir. Oda sıcaklığında filmler, görünür dalga boyu bölgesinde % 90'dan fazla optiksel geçirgenlik ve düşük elektriksel özdirenç ( $10^{-3} \Omega$ ) göstermiştir (Alaya ve Ark, 2009).

.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. İnce Film Depolama Teknikleri

Günümüzde ince filmler, yarıiletken aletlerin yapımında, manyetik kayıt ve algılama sistemlerinde, optik kaplamalarda ve dekoratif işlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım öncelikle, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile başlamış fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve türevleri ile devam etmiştir. Depolama yöntemlerindeki farklılıklar ve depolama sırasındaki çeşitli işlemler sonucu, hacimli malzemede bulunmayan birçok özellik bu malzemelerin ince filmlerinde oluşturulabilir. İnce filmlerli malzemelerde olup hacimli malzemelerde olmayan şu özellikler vardır:

1. Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek ölçüde temizdir.
2. Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek seviyede küçük geometrilerin üç boyutta oluşması mümkündür.
3. Atomik büyüme işleminden kaynaklanan filme özgü malzeme özellikleri görülebilir.
4. Kalınlık, kristal yönelmesi ve çok katlı yapılardan kaynaklanan kuantum boyut etkileri ve diğer boyut etkilerini görmek mümkündür.

İnce film depolama teknikleri, ikiye ayrılabilir.

1. Kimyasal Buhar Biriktirme
2. Fiziksel Buhar Biriktirme

##### 3.1.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD)

1798’ de Henry, hidrokarbon gazı içerisinde, kıvılcım yaratarak karbon biriktirme yapmayı başardı. 1802’ de Sir Humpry Davy, yeni icat edilen Volta pilleri ile ilk kimyasal buhar depolama çalışmalarına başladı. 1890’ larda CVD yöntemi,

ampul filamentlerinin kuvvetlendirilmesi amacı ile geliştirilmeye başlanmıştır. CVD yöntemi kullanılarak, metal filmlere şekil verebilmek için hidrojen azaltılması işlemini Aylesworth 1896’ da gerçekleştirmiştir. Önceleri CVD atmosfer koşullarına açık ortamlarda yapılırken, vakum sistemlerinin geliştirilmesi ile farklı basınç koşullarında deneyler yapılmaya başlandı. Ortamdaki yoğunluğu artırmak amacıyla CVD prosesi, argon veya nitrojen gazı bulunan ortam ile kontrol edilebiliyordu. 1948’ de modern termal atmosferik CVD yöntemi Lander ve Germer tarafından uygulandı. CVD reaktörleri, soğuk duvar reaktörleri yada sıcak duvar reaktörleri şeklindedir. Soğuk duvar reaktörleri tipinde sadece alttaban ve tutucusu ısıtılır. Sıcak duvar reaktörlerinde ise bütün ortamın ısıtıldığı grup alttabanların bulunduğu tiptir. 1973’ te CVD sırasında, bölgesel ısıtma yapmayı sağlayan lazer keşfedilmiş ve derhal bütün CVD sistemlerinde uygulamaya koyulmuştur.

APCVD atmosferik basınç ve çok yüksek sıcaklıklarda çalışırken, LPCVD (Düşük Basınç CVD) çok düşük basınçlarda (0.25 Torr) çalışmaktadır. LPCVD yöntemi depolamalarda çok daha iyi koruma ve daha az partikül kirlenmesi sağlar. LPCVD depolama işlemi, yarıiletken endüstrisinde, katkılanmış silikon kaplama işleminde, yarıiletken bileşenleri üretimde kullanılmaktadır. Düşük basınç CVD çok ince film depolamaları yapmak amacı ile kullanılmaktadır. Aralıklı CVD’ nin atomsal katman kaplama (ALD) işlemi ile örneğin yüzey üzerine tek katman halinde atom kaplanabilmektedir. ALCVD yöntemi yüzeyde yüksek oranda tek görünüm (cephe) oluşturabilmeyi sağlar.

İlk plazma içeren kimyasal buhar depolama proseslerine “İşildama deşarjı biriktirme” adı verilmişti. Daha sonra, plazmayla desteklenmiş CVD (PECVD) olarak anılmaya başlanmıştır. 1911’ de Von Bolton, civa buharında sıkıştırılmış  $C_2H_2$  tarafından elmas kristallerine kaplama yaptı. 1934’ te karbon içeren buharlar ile gaz deşarj tüplerinin duvarlarına inert ve camsı karbonik filmler depolandı. 1953’ te Schmellenmeier, plazma biriktirilmesi tekniği ile karbon filmler yaptı ve elmasa benzer karbonları buldu (DLC- Diamond Like Carbons), DLC filmleri çeşitli teknolojilerle üretilmektedir (Piriliz, Plazma Biriktirme, Karbon-iyon demeti yöntemleri).

1965' te Sterling ve Swann, plazmaların CVD dekompozisyonundaki önemi hakkında tartıştılar. Genellikle plazma ile biriktirme yapılırken, moleküller tam olarak ayrıışmaz, bu durumda moleküllerin spektrum düzeninin ve moleküler parçalarının nötr ve iyonize olmasını sağlar. Plazma ayrışması ve buhar fazı nükleonlanması, süper ince partiküller üretilmesini sağlayabilmektedir.

1971' de Reinberg, RF ile çalışan paralel tablalı PECVD reaktörünü keşfetti. Bu reaktör CVD materyallerine daha düşük sıcaklıklarda işlem yapabiliyordu. Genellikle 0.5 Torr basınç altında, cam filmlerine (phospho-silikat-glass PSG) ve  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (Silan ve Nitrojen), yarıiletken kapsülleme işlemi yapıyordu. Plazma kaplama işlemi genellikle optik kaplamalarda kullanılmıştır.

CVD' nin bir yöntemide, plazma polimerizasyondur. Bu yöntem ilk defa 1874 yılında De Wilde ve Thenard tarafından bulunmuştur. Ancak 1960' lara kadar hiçbir pratik uygulaması olmamıştır. 1960' lardan sonra gıda ambalajlarını korozyondan korumak amacıyla çok ince polimer kaplamalar yapılmıştır.

CVD' nin avantajları ve dezavantajları;

1. Basit ve karmaşık yapıları düşük sıcaklıklarda elde edebiliriz.
2. Hem bileşen hem de fiziksel özellikler kimyasal reaksiyonlar ve depolama koşulları değiştirilerek kontrol edilebilir.
3. İnorganik, organo-metalik ve organik metallere uygulanabilir.
4. Düşük sıcaklıklarda elde edilen filmler genelde amorfudur. Yüksek sıcaklıklarda, polikristal ve çok yüksek sıcaklıklarda tekli kristaller elde edilebilir ki bu epitaksi diye adlandırılır.
5. Pahalıdır.

### 3.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği (PVD)

- Vakum Buharlaştırma
- Klasik vakum Buharlaştırma
- Elektron demetiyle Buharlaştırma
- MBE (Molecular Beam Epitaxy)

PVD (Physical Vapor Deposition) depolama teknolojisi 1800' lü yıllardan beri bilinmekte, ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiş, ince film depolama tekniğidir. Günümüze kadar geliştirilen farklı depolama işlemleri ile uygulanan bu tekniğin mekanizması basitçe şöyledir. Vakumlu ortamda, bir ısıtıcı (rezistans, lazer, elektron bombardımanı vb.) ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde biriktirilir.

PVD depolama tekniği; katı haldeki ham maddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek, kontrollü olarak, kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılması işlemi olarak özetlenebilir. Bilimsel anlamda ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında çalışmalara başlanmış, vakum teknolojisindeki gelişmeler ile bu çalışmalar hız kazanmıştır.

PVD depolama tekniğinde; kaplanacak malzeme yüksek vakumlu bir kabine yerleştirilir ve yüksek enerji ile iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla oluşturulmuş plazma ile kaplanır. Kaplamanın homojen olabilmesi için kaplanacak malzemeye maksimum hareket kazandırılır. Yarıiletken endüstrisinin gelişimi ile kendine endüstride yer bulabilen PVD tekniği, günümüzde pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Mikroelektronik, tıp, dekoratif amaçlı, korozyona karşı direnç gerektiren uygulamalar vb. alanlarında kullanılmaktadır.

PVD teknolojisinin CVD' ye göre en büyük avantajı sert metal ve yüksek jız çeliklerinin özelliklerini etkilemeden düşük sıcaklıklarda kaplama yapılabilmesidir. CVD' de gerekli olan yüksek kaplama sıcaklıkları 850-1000 °C, normalde çeliklerin temperlenme sıcaklıklarını aşmaktadır, bu nedenle takım çeliklerinde CVD kullanmak imkansızdır. Sert metal altlıkların, özellikle tokluk gibi özellikleri sıcaklıklarında süreye bağlı olarak düşmektedir. Diğer yandan PVD tekniği 200-500 °C aralığında gerçekleştirilir. Bu sıcaklık aralığı takım uygulamalarında kullanılan altlıkların özelliklerini etkimez.

### 3.1.3. Atmalı Katodik Vakum Ark Depolama Sistemi

Atmalı filtreli katodik vakum ark depolama yöntemi (Pulsed Filtered Cathodic Vacuum Arc Deposition (PFCVAD)), ince film depolama yöntemleri içinde, plazma yardımcı işlemlerden oluşan, en iyi fiziksel buhar depolama (PVD) tekniğidir.

PFCVAD işlemi diğer iyonla kaplama işlemlerine göre daha yüksek iyonizasyon ve daha yüksek parçacık enerjisine sahiptir. Katodik ark işlemi değişik metallerin, bileşik filmlerin ve diğer alaşım filmlerin farklı aşınma direnci, korozyon direnci gerektiren uygulamalar ve dekoratif uygulamalar için kullanılır.

Katodik ark işlemi sırasında, ark spot oluşturulur, katot aşındırılır ve yüksek dereceli iyonizasyona sahip olan plazma üretilir. Yüksek iyon yoğunluğu; film morfolojisinin kontrolü, yüksek tutunma, bileşiklerin etkin reaktif depolanmasını ve değişik yapılarda da düzgün depolanma olmasını sağlar. Alaşımlar, bileşimler genelde kaynaktan alt tabakaya taşınır. Depolama oranları dakikada nanometreden mikrometreye kadar değişen geniş bir aralığı kapsar.

Sisteme katot, elektrot ve tetikleyici elektrotu bağlayarak ince bir iletken filmi oluşturmak için yüksek güçlü bir atma kullanılmıştır. Bu elektrotları ayarlayan yaygın bir metot bu elektrotları iç içe koaksiyel yapmak ve onları bir yalıtkan ile ayırmaktır. Tetikleyici elektrot ve katot arasında mikro saniye için 24 kilovolt civarında bir gerilim uygulanmıştır. Bu ark deşarjın tetiklenmesi ve istenen başlangıç plazmayı yaratmak için genellikle yeterlidir. Plazmanın devamı için anot ve katot arasına bir eşik gerilimi uygulanmıştır.

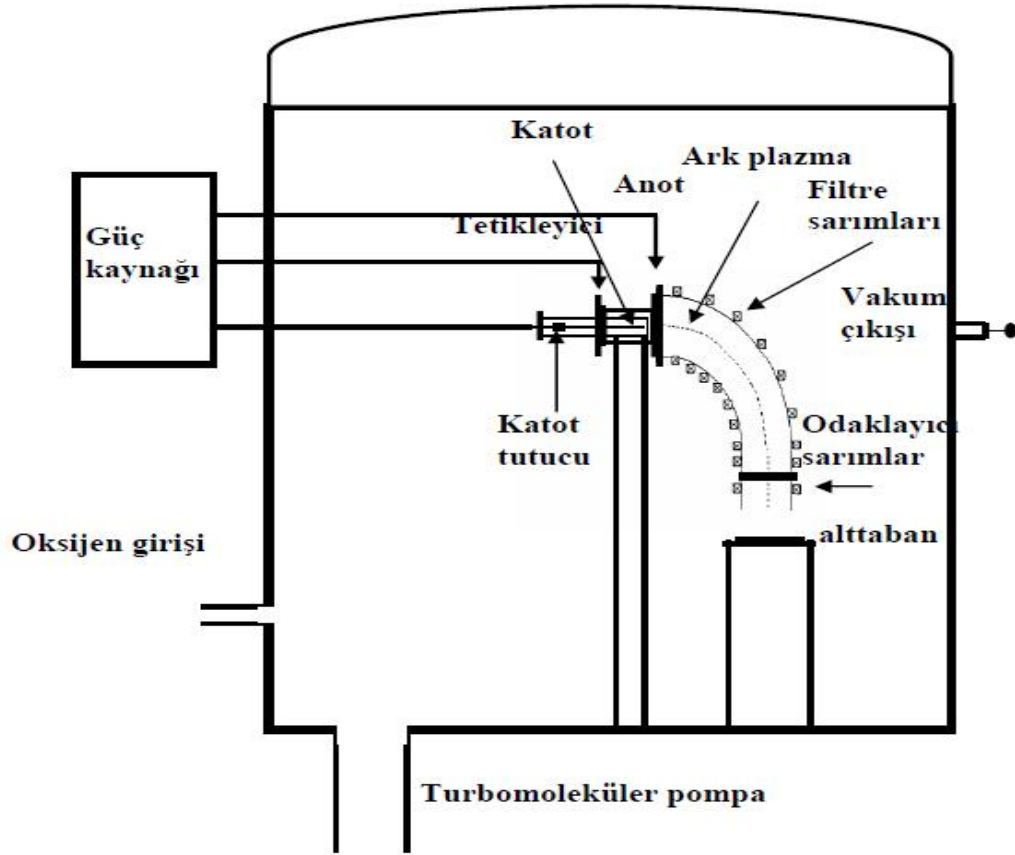
Ark, katot ve anot arasında elektron akışı ile sürdürüldüğü için anodun elektron toplayıcı yeteneği ark tasarımı için önemli bir unsurdur. Literatürde pek çok anot türleri vardır. Bizim sistemde anot katot yarıçapından daha büyüktür ve katodun çevresine koaksiyel olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca anot ve güç kaynağı arasına makro parçacık filtre bağlanmıştır. Anot tarafından toplanan akım istenen manyetik alanı üretmek için selonoid filtre arasından geçirilmiştir.

Yerleştirilmiş bir makro parçacık filtre ile anot verimini karşılaştırabiliriz. Katot yüzeyinin önünde uzanan anot aralığı anot verimi veya verimsizliğini belirlemede çok önemlidir.

PFCVAD sisteminin temel elemanları ve özellikleri:

1. Turbomoleküler pompa sistemi
2. Reaksiyon odası
3. Atmalı plazma ark kaynağı
4. Gaz akış – basınç kontrol sistemi
5. Kalınlık kontrol sistemi
6. Hidrojen, azot jeneratörü
7. Oksijen, argon, metan tüpleri
8. Katot ve alt tabaka

Şekil 3.1de PFCVAD sisteminin temel bileşenleri gösterilmektedir. Bu bileşenler; atmalı plazma ark kaynağı, turbo moleküler pompa, makro parçacık kontrolü için filtre, katot, anot, tetikleyici ve alt tabandan oluşmaktadır. Sistemimizde depolamadan önceki taban basınçları genellikle  $1 \times 10^{-8}$  Torr gibi çok yüksek vakumlama değerinde (Ultra high vacuum (UHV)) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. PFCVAD sisteminin şematik gösterimi

DC ve atmalı sistemlerde kullanılan katot iletken veya yarıiletken olarak sınırlandırılrsa da katodik ark sistemi RF modda çalıştırılarak yalıtkan katot materyalleri kullanmakta mümkündür. Ancak bu modda çalışma yapmak için yapılan araştırmalar oldukça azdır.

### 3.1.3.1. Reaksiyon Odası



Şekil 3.2. Reaksiyon Odası

Reaksiyon odası manyetik alan girişine izin veren 304 paslanmaz çelikten yapılmıştır. Yarıçapı 24.3 cm, boyu 38.5 cm dir. 1 Thermo couple gauge (ısıl çift), 1 iyon gauge, 1 gözlem penceresi, gaz akış kontrol ve kalınlık ölçme, 1 valf ve alt taban tutucu girişleri bulunmaktadır. Vakuma alındığında içerideki basınç  $1 \times 10^{-8}$  Torr' a kadar düşebilmektedir.

**3.1.3.2. Turbo moleküler Pompa Sistemi**

Şekil 3.3. Turbo moleküler pompa sistemi

Sahip olduğu özellikler sayesinde reaksiyon odasının havası boşaltılıp vakum ortamı oluşturulabilmektedir. Boşaltılma işlemi sonucunda taban basıncı  $1.3 \times 10^{-8}$  Torr'a kadar düşürülebilmektedir. Özellikleri:

Dönme hızı: dakikada 42.000 devir

Taban basıncı:  $<1 \times 10^{-10}$  Torr

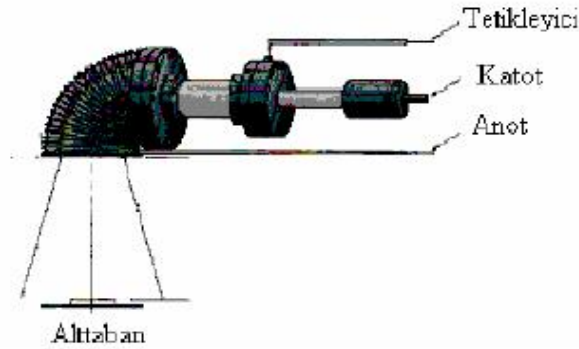
Pompalama Hızı: N<sub>2</sub>=550 l/s, He=600 l/s, H<sub>2</sub> = 510 l/s

Sıkıştırma Oranı: N<sub>2</sub> :  $>1 \times 10^9$ , He:  $1 \times 10^7$ , H<sub>2</sub> :  $1 \times 10^6$

## 3.1.3.3. Atmalı Plazma Ark Kaynağı



(a)



(b)

Şekil 3.4. (a) Atmalı Plazma Ark Güç Kaynağı, (b) Plazma kaynağının şematiği

Atmalı tetiklemeyle 0.1 monolayer hassaslığında kalınlık kontrolü yapılabilmektedir. Bu kontrol çok ince filmlerin üretilmesine olanak sağlar. Şekil 3.4'te plazma tabancasının şekli görülmektedir. ZnO ince film depolamada kullanılan plazma tabancasının özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1) Katot çıkışı: Çıkış gerilimi plazma tabancasının katoduyla bağlantılıdır. Çıkış kablosu 15 kV' ta sınırlıdır. Kaynak materyalde atma deşarjı 750 volt, 650 A ve 600 ms'dir.
- 2) Tetikleyici çıkışı: Plazma tabancasının tetikleyicisiyle bağlantılıdır. Çıkış kablosu 25 kV' ta sınırlıdır. Tetikleyici devrede atma deşarjı 24 kV, 150 mA ve 70 ms' dir.
- 3) Anot çıkışı: Çıkış gerilimi plazma tabancasının anoduyla bağlantılıdır.

#### 3.1.3.4. Gaz Akış-Basınç Kontrol Sistemi



Şekil 3.5. Gaz Akış-Basınç Kontrol Sistemi

Gaz akış-basınç kontrol sistemi gaz akışının ve basınç kontrolünü sağlar. 4 akış ve 1 basınç kanalı bulunmaktadır. Bu sistem sayesinde reaksiyon odacığına giren gaz miktarını ayarlayabilme olanağı sağlanmaktadır. Dolayısıyla reaksiyon odacığının sahip olacağı basınçta ayarlanabilmektedir.

### 3.1.3.5. Oksijen Tüpü



Şekil 3.6. Film üretiminde kullanılan Oksijen tüpü ve Gaz Vanası

Oksijen tüpünden reaksiyon odacığına oksijen gazı göndererek hem film üretimi için gerekli basınç hem de ZnO (çinko oksit) ince film üretmek için ortamda gerekli oksijen sağlanmış olur.

### 3.1.3.6. Katot ve Alt Tabaka

Sistemimizde katot olarak çapı 1 mm ve saflığı % 99.99 olan Zn (çinko) tel kullanılmıştır. Zn tel istenilen uzunlukta kesilip katot tutucuya yerleştirilir. Oluşturulan ZnO cam ve silisyum alt taban üstüne büyütülmüştür.

### 3.1.4. PFCVAD Sisteminin Çalışma Prensibi

PFCVAD sistemi yukarıdaki Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen silindirik vakum odası paslanmaz çelikten yapılmış olup (486 mm çap ve 385 mm uzunluk) turbo moleküler pompa kullanılarak ( $500 \text{ lt s}^{-1}$ ) taban basıncı  $1.3 \times 10^{-8}$  Torr’ a kadar düşürülebilmektedir. Plazma kaynağı katot, anot ve odaklama bobininden oluşan vakum mini tabancadır (RHK Arc-20). Yalıtkan bir seramik ark kaynağının pozitif

kutbunun filtre bobini yoluyla bağlandığı katot ve anodu birbirinden ayırır. Ark 24 kV ve 60  $\mu$ s de oluşturulur ve filtre olarak 90 derece eğimli selonoid bir filtre kullanılır.

### 3.1.5. PFCVAD Sistemin Karakteristikleri

- 1) Oldukça düşük taban basınçlarında ( $\gg 10^{-8}$ Torr) hızlı kaplama olanağı sağlar.
- 2) Plazma, vakum veya gaz ortamda iki metal elektrot arasında başlatılan ark deşarjının katot yüzeyinde hızlı ve gelişigüzel hareket etmesiyle oluşur.
- 3) Ark deşarjı anot ve katot arasındaki oldukça yüksek akım ve düşük gerilimle karakterize edilir.
- 4) Plazma katot materyalinden elde edilir.
- 5) Katot yüzeyinden aşındırılan materyalin büyük bir kısmı (%10-100) iyonlardan oluşur.
- 6) İyonların büyük bir yüzdesi çoklu yük durumundadır ( $Zn^{+1}, Zn^{+2}$  gibi).
- 7) İyonların ortalama kinetik enerjisi yüksektir (10-100 eV).
- 8) Plazma iletimi kaynaktan alt tabakaya manyetik ve elektrik alan mekanizmalarının birleştirilmesi ve kıvrımlı bir filtre vasıtasıyla plazma alt tabana yönlendirilerek sağlanır.

Bu fiziksel karakteristikler, filmler ve kaplamaların depolanmasında aşağıdaki özellikleri sağlar.

- 1) Film morfolojisi üzerinde mükemmel kontrol
- 2) Düşük alt taban sıcaklıkları
- 3) Yüksek film yoğunluğu
- 4) Metal, alaşım ve bileşik filmlerin etkin sentezi
- 5) Yüksek film tutunması
- 6) Düzlemsel olmayan yüzeylerde de mükemmel kaplama düzgünlüğü
- 7) Sıcaklık, basınç, akım-gerilim gibi kontrol parametrelerinin kolay kontrolü ile değişik depolama koşullarında film elde edilebilmesi

- 8) Manyetik alan ve filtre sayesinde film morfolojisini bozan makro parçacıkların elimine edilmesi

### 3.2. Yarıiletkenler İle İlgili Genel Bilgiler

Yarıiletkenler elektrik akımını bir değere kadar akmasına izin vermeyen bu değerden sonra sonsuz küçük direnç gösteren maddelerdir. Yarıiletkenler periyodik cetvelde III. ve V. gruba girerler. Bu demektir ki son yörüngelerinde elektron alıcılığı veya vericiliği iletkenlerden fazla yalıtkandan daha azdır.

İletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar. Normal halde yalıtkandırlar, ancak ısı, ışık ve manyetik etki altında bırakıldığında veya gerilim uygulandığında bir miktar valans elektronu serbest hale geçer, yani iletkenlik özelliği kazanır. Bu şekilde iletkenlik özelliği kazanması geçici olup, dış etki kalkınca elektronlar tekrar atomlarına dönerler.

Tabiatta basit eleman halinde bulunduğu gibi laboratuarda bileşik eleman halinde de elde edilir. Yarıiletkenler kristal yapıya sahiptirler, yani atomları kübik kafes sistemi denilen belirli bir düzende sıralanmıştır. Bu tür yarıiletkenler, yukarıda belirtildiği gibi ısı, ışık, etkisi ve gerilim uygulanması ile belirli oranda iletken hale geçirildiği gibi, içlerine bazı özel maddeler katılarak ta iletkenlikleri arttırılmaktadır.

Bir yarıiletkenin kristal yapısında bulunan yabancı atomlar veya kristal yapı bozukluğu yasak enerji bölgesinde ara enerji seviyelerinin oluşmasına neden olur. Bundan başka, silisyum yüzeyinde temizleme işlemiyle giderilemeyen yüzey bozuklukları da ara enerji durumlarının meydana gelmesini sağlar. Çünkü yarıiletken örgünün dış ortama açıldığı yüzeyde asimetrik durum vardır. Bu birim alan başına çok sayıda enerji seviyesinin meydana gelmesinin önemli bir kaynağıdır. Bu seviyeler yüzey durumları olarak bilinir. Ara yüzeyde bulunan ve yasak enerji bölgesi dışındaki enerjilere sahip yüzey durumlarına, sabit yüzey durumları ve ihtiva ettikleri yüke de sabit yüzey yükü veya oksit yükü denir (Sze,1981).

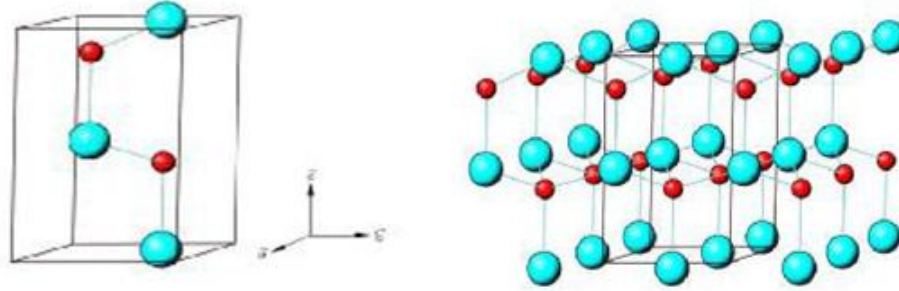
Bir yüzey durumu, nötr veya bir elektron vererek pozitif olabiliyorsa donör durumu; nötr veya bir elektron alarak negatif olabiliyorsa akseptör durumu olarak nitelendirilir.

Yüzey durumları üzerinde ilk teorik çalışmalar Tamm, Shockley ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Kristal yüzeyinde bulunan periyodik örgü yapısı boşluğu nedeniyle yasak bölgede yüzey durumlarının varlığını göstermiştir. Deneysel olarak, yüzey durumlarının varlığı ilk kez Shockley ve Pearson tarafından yapılan yüzey iletkenlik ölçümleri sonucunda bulunmuştur. Çok yüksek vakum sisteminde temizlenmiş yüzeylerde dahi yapılan ölçümlerde, yüzey durum yoğunluğunun, yüzey atom yoğunluğundan çok daha fazla olduğu gözlenmiştir. Böylece yüzey durumları, hızlı ve yavaş yüzey durumları olmak üzere iki grupta toplanır. Hızlı yüzey durumları, iletkenlik bandıyla veya değerlik bandıyla hızlı bir şekilde yük alışverişi yaparlar. Hızlı yüzey durumları yalıtkanla yarıiletkenin ara yüzeyi yakınlarında bulunur. Yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjilere sahiptir. Dolayısıyla hızlı yüzey durumlarına, yüzey yeniden birleşme (veya rekombinasyon merkezleri) denir.

Diğer taraftan yavaş yüzey durumları, boşluk ve yalıtkan ara yüzeyde bulunur. Yük alış-verişleri hızlı yüzey durumlarının aksine çok daha uzun sürelidir. Oksit tabakasındaki hareketsiz yükleri ihtiva eden bozukluklar ile yeterli sıcaklıklarda ve özellikle yüksek elektrik alanı altında oksit içerisinde göç edebilen hareketli iyonlar tarafından meydana getirilir. Isısal oksidasyon metoduyla hemen hemen giderilebilir.

### 3.2.1. ZnO'nun Kristal Yapısı

ZnO iyonikliği kovalent ve iyonik yarıiletkenler arasında olan bir II-VI grubu bileşik yarıiletkendir. ZnO' nun kristal yapısı Şekil 3.7' de gösterildiği gibi hekzagonal sıkı pakettir. Hekzagonal (altıgen) yapı için örgü parametrelerinin  $a = b \neq c$  ve  $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$  olarak verilmektedir.

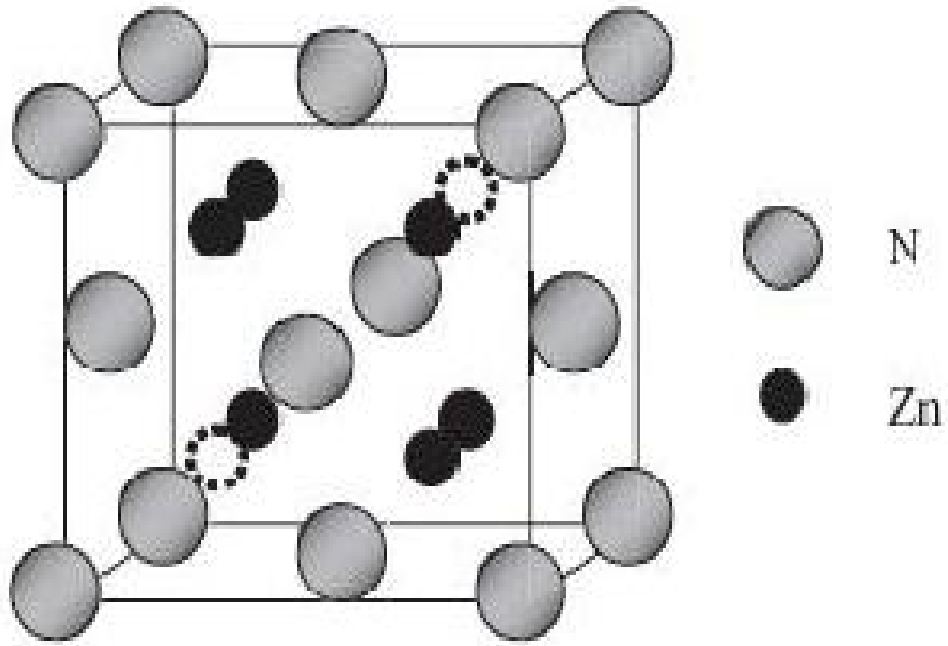


Şekil 3.7. ZnO'nun kristal yapısı

Şekil 3.7' de ZnO' nun tek birim hücresinin şematik gösterimi ve yanında birim hücre ve komşu birim hücrelerdeki atomların diziliminin şematiği görülmektedir. Küçük koyu renkli küreler  $O^{-2}$ , büyük açık renkli küreler ise  $Zn^{+2}$  ' yi temsil etmektedir.

### 3.2.2. $Zn_3N_2$ in Kristal Yapısı

$Zn_3N_2$  kübik antibiksbayt yapılı bir yarı iletkenidir (anti- $Mn_2O_3$  tipi, Şekil 3.8). Şekilde görüldüğü gibi antibiksbayt yapısındaki metal atomların yaklaşık olarak kapalı bir küpün 4 köşesine N atomlarını yerleştirilerek oluşturulur. N atomları genel pozisyonda bulunurlar ve dördül olarak metal atomlara bağlıdır (Patin ve ark.).

Şekil 3.8.  $\text{Zn}_3\text{N}_2$  'in kristal yapısı

$\text{Zn}_3\text{N}_2$  kübik antibiksbayt yapısı, eksik Zn iyonlarının kübik kafes yapısı ile tanımlanır. Zn atomları 4 kenarın 3'ünde yer alır. Her N (azot) atomu en yakın 4 Zn atomu çevresindedir  $\text{Zn}_3\text{N}_2$ , direk bant aralığına sahip n tipi bir yarı iletkenidir. Bant aralığı hala tartışmalıdır.  $\text{Zn}_3\text{N}_2$ 'deki N atomları O atomları ile yer değiştirebilir. Eğer bu olay gerçekleşirse p tipi ZnO yarıiletken ince film ortaya çıkmış olur. Tavlama koşulları kontrol edilirse, kalan N atomları  $\text{ZnO:N}$  (azot katkılı ZnO) ince filmdeki alıcılar olabilecektir. N atomlarının yerini O atomları alırken faz değişimi gerçekleşir. O atomları,  $\text{Zn}_3\text{N}_2$  yapısının içine ara yer atomları aracılığıyla yayılıp yerleşerek Zn atomları ile birleşir. O atomlarının elektronegatifliği N atomlarına kıyasla daha büyük olduğu için Zn atomları ile birleşmesi daha uygundur. Sonuç olarak N atomları O ile yer değiştirir. Tavlama sıcaklığının artışı ile O atomları filmlerin içine yayılır ve daha çok N atomu O atomu ile yer değiştirir. Bu olay gerçekleşirken yapısal faz değişimi olur. Yani filmler, kübik antibiksbayt yapıdan, hekzagonal vurtzit yapıya geçerek  $\text{ZnO:N}$  ince filmlere dönüşmüş olur. Kalan N

konsantrasyonu ortam, tavlama zamanı, ve tavlama sıcaklığına göre değişir (Li ve ark., 2002).

### 3.2.3. Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Elde edilen ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için önce oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmektedir. Bu ölçümler 200 – 1100 nm dalga boyu aralığına sahip Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmaktadır. Ölçümlerde elde edilen optik geçirgenlik değerlerinin alt taban soğurmasından bağımsız olmasını sağlamak için önce sistemin zemin düzeltmesi yapılarak camdan geçen ışınım %100 olarak normalize edilmektedir. Elde edilen geçirgenlik ve soğurma eğrilerinden, soğurma katsayısı, enerji bant aralığı, yarıiletkenin kalınlığı, kırılma indisi hesaplamaları yapılmaktadır.



Şekil 3.9. Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi

### 3.2.3.1. Soğurma Katsayısının Hesaplanması

Tek renkli ışık demetinin soğurucu özelliğe sahip örnek üzerine

$$-\Delta I = I_T - I_0 = I_0 \alpha \Delta x \quad (3.1.)$$

$\alpha$  sabiti soğurma katsayısıdır ve soğurucu ortamın ve ışığın dalga boyunun karakteristiğini gösterir. Işığın şimdi iki ya da daha fazla ince  $\Delta x$  kalınlığındaki tabakalardan geçtiğini düşünelim. Soğurma katsayısı, verilen materyalin karakteristiğini gösterecek ve gelen ışın şiddetinden bağımsız olacaktır. Böylece  $\Delta x$  kalınlığındaki plakanın arkasına yerleştirilen ikinci plaka ile ilk plakadan geçen ışığın şiddeti biraz daha az azalacaktır. Fakat buraya gelen ışık şiddeti birinciye gelenden az olacağından daha az kayıp olacaktır. Fakat mutlak kayıp az olsa da her iki tabakadan olan ışık kaybı oranı eşit olacaktır. Bu N tabaka olsa da geçerli olur.

Bu durumda aşağıdaki bağıntılar elde edilecektir.

$$\Delta I = -I_0 \quad (3.2.)$$

$$-\Delta I = I_T - I_0 = I_0 \alpha \Delta x \quad (3.3.)$$

$$\alpha = - \frac{\Delta I}{I_0 \Delta x} \quad (3.4.)$$

Burada  $\alpha$  soğurucu materyalin her birim kalınlıktan kaynaklanan azalma oranını veya soğuruculuğunu göstermektedir. Katmanları  $dx$  gibi çok küçük kalınlıklara indirgersek, ışık her katmanı geçerken soğurulan ilk ışık şiddeti oranının kesri olan

$\frac{dI}{I_0}$  oranı böylece;

$$\frac{dI}{I_0} = -\alpha x \quad (3.5.)$$

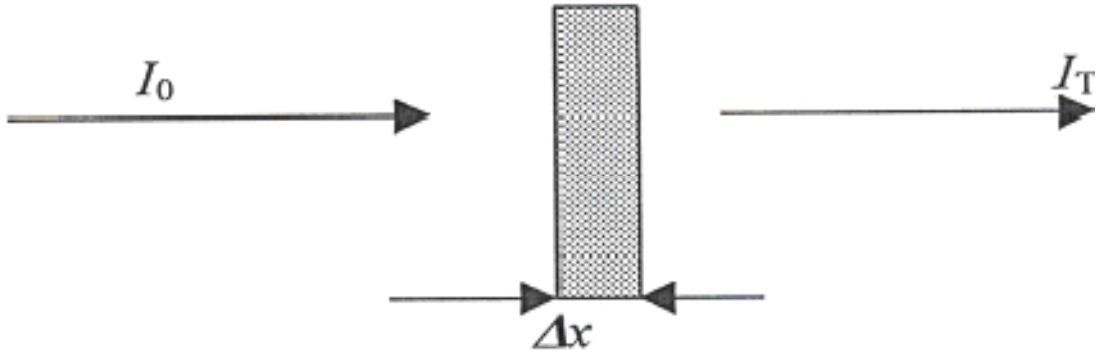
Şekline gelecektir. Toplam  $x$  kalınlığından geçen ışık şiddetindeki azalmayı bulmak için bu ifade,  $x=0$  da  $I_0$  ve  $x=x$  de  $I_T$  olmak üzere entegre edilirse;

$$\int_0^x \frac{dI}{I_0} = -\alpha \int_0^x dx \quad (3.6.)$$

$$\ln\left(\frac{I_T}{I_0}\right) = -\alpha x \quad (3.7.)$$

$$I_T = I_0 \quad (3.8.)$$

Elde edilen bu üssel soğurma yasasıdır ve Lambert tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 3.10. İnce bir tabakadaki soğurma (Meyer, 1972)

Buradan gördüğümüz gibi soğurma için Beer-Lambert yasası:

$$\alpha = \frac{I dI(\lambda)}{I(\lambda) dx} \quad (3.9.)$$

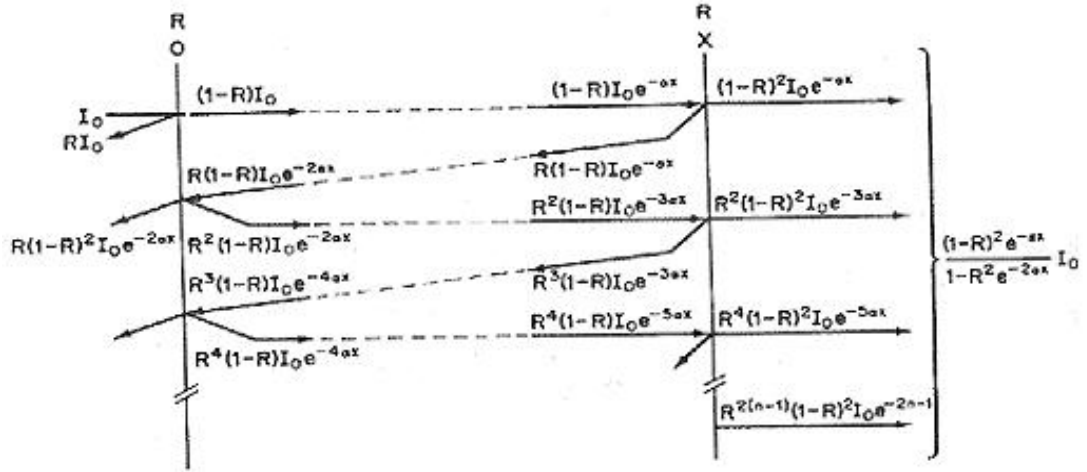
Şeklinde yazılabilir. Burada  $I(\lambda)$  ışık şiddetini,  $x$  ortam içinde gidilen yolu ve  $\alpha$  soğurma katsayısını göstermektedir. Yansıma  $R$ ;

$$R = \frac{((n_2 - n_1))^2 + k^2}{((n_2 + n_1))^2 + k^2} \quad (3.10.)$$

Şeklinde verilebilir.  $n$  ve  $k$  kırılma indisinin gerçek ve sanal kısımlarıdır. Görünür bölgede  $k$ ,  $n$  den çok küçük olduğundan yukarıdaki denklemi;

$$R = \frac{((n_2 - n_1))^2}{((n_2 + n_1))^2} \quad (3.11.)$$

şekline indirgenir. Toplam geçirgenliği ZnO ince film için bulmak için şekilde gösterildiği gibi iki bölge alabiliriz.



Şekil 3.11. İnce bir filmde çok yansımali ışık geçirimi (Pankove, 1971)

Girişim ihmal edildiği zaman  $d$  kalınlığındaki bir ince filme  $I_0$  şiddetinde tek renkli ışık düşürülürse film içine giren ışık miktarı  $I$ ;

$$I = (1 - R) I_0 \quad (3.12.)$$

şeklinde yazılabilir. İkinci bölgeye ulaşan ışık şiddeti ise;

$$I = I_0 (1 - R) e^{-\alpha d} \quad (3.13.)$$

şeklindedir. Filmten geçen ışık miktarı;

$$I = I_0 (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (3.14.)$$

olur. Bu şekilde iç yansımalar devam ettirilirse yansıyan ışık miktarının her yansımada bir;

$$I = R^{2n} (1 - R)^2 I_0 e^{-(2n+1) \alpha d} \quad (3.15)$$

terimi kadar arttığı görülür. Bu artış göz önüne alındığında filmin toplam ışık geçirgenliğinin;

$$I = (1 - R)^2 I_0 e^{-\alpha d} (\sum_r R^{2n} e^{-2n \alpha d}) \quad (3.16.)$$

olduğu görülür. Bu geometrik bir seridir. Böylece toplam geçirgenlik örnek tarafından yansıtılan ışık şiddetinin örnek üzerine gelen ışık şiddetine oranı şeklinde tanımlanır.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.17.)$$

Bu iç yansımalar şekilde gösterildiği gibi devam ettirilirse toplam geçirgenlik;

$$T = \frac{(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1-R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (3.18.)$$

şekline indirgenir. Bu son denklemde çok soğurucu bölge için  $d \gg 0$  yaklaşımı yapıldığında;

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (3.19.)$$

Böylece  $T$  daha sade bir hal alır. Burada eğer  $R$  ve  $d$  bilinirse, eşitlik  $a$  için çözülebilir.

$$A = \log_{10} \left( \frac{1}{T} \right) \quad A = -\log_{10} T \quad (3.20.)$$

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (3.21.)$$

$$2.3 \log_{10} T = \ln[(1 - R)^2 e^{-\alpha d}] \quad (3.22.)$$

$$2.3A = \ln(1 - R)^2 - \alpha d \quad (3.23.)$$

$$\alpha = \frac{1}{d} [2.3A + \ln(1 - R)^2] \quad (3.24.)$$

elde edilir. Soğurma katsayısı, denklemdeki R yansıma değeri içeren kısmı ihmal ederek hesaplanmaktadır. A ifadesi spektrometreden aldığımız soğurma verileridir.

Kısaca,

$$\alpha = \frac{1}{d} [2.3A] \quad (3.25.)$$

Diğer soğurma katsayısı hesaplama formülü ise,

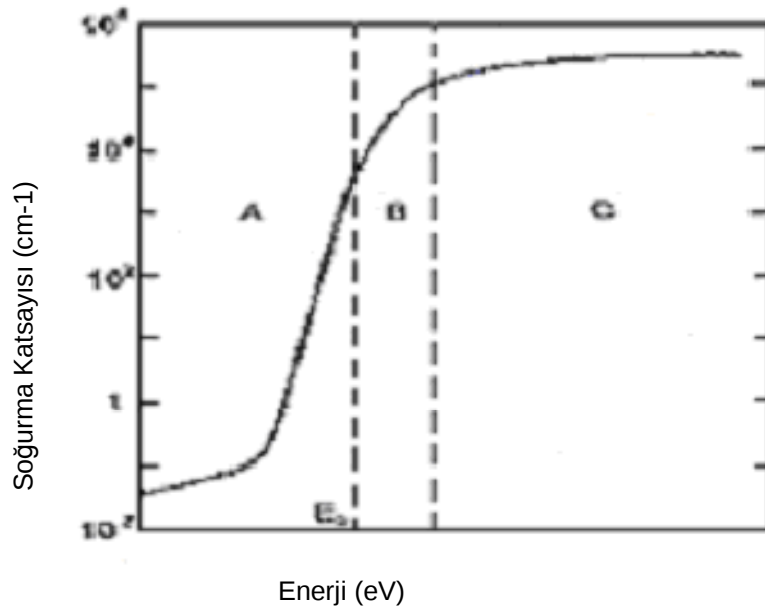
$$\alpha = \frac{1}{d} \left[ \ln \left( \frac{T}{100} \right) \right] \quad (3.26.)$$

Soğurma katsayısı hesaplanıp optik karakterizasyonda kullanılabilir.

### 3.2.3.2. Yasak Enerji Aralığının Bulunması

Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi Şekil 3.12' de görülmektedir. Burada işaretlenen A bölgesi enerji aralığındaki yapı kusurlarının oluşturduğu elektron enerji durumlarına bağlı soğurma olup  $\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$  dir. B bölgesi Urbach kuyruğu denen değerlik ve iletkenlik bandı elektron enerji durumlarının uzantılarının oluşturduğu ( $1 < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) bölgedir. Bu bölgeler

arasındaki sınırlar kesin değil, içi içe girmiş haldedir. Yarıiletkenin yasak enerji aralığı B bölgesine düşer. Ölçülen soğurma katsayısından  $E_g$  aşağıdaki yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak hesaplanabilir. C bölgesi ise banttı bantta geçişlerin oluşturduğu bölge olup fotoiletkenlik yöntemiyle bile tamamı ölçülemeyen  $\alpha > 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$  bölgesidir.



Şekil 3.12. Amorf yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi (Mott, 1979)

Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenlerde soğurma katsayısı olarak

$$\alpha(h\nu) = A (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (3.27.)$$

ifadesi kullanılır. Burada A, soğurma  $E_g$ , yasak enerji aralığıdır (Pankove, 1971).

Buradan soğurma katsayısının enerjiyle çarpımının karesinin enerjiye karşı çizilen  $(\alpha E)^2$  -E grafiğinin teğetinin enerji eksenini kestiği nokta  $E_g$  yasak enerji aralığını verir.

### 3.2.3.3. Film Kalınlığının Belirlenmesi

Bir boyutta +x yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga;

$$E = E_0 e^{i2\pi v(t - \frac{x}{v})} \quad (3.28.)$$

bağıntısı ile verilir. Burada E,  $E_0$  elektrik alanı, v, *elektromanyetik* dalganın ortam içindeki hızını, n, *frekansını*, t ise zamanı göstermektedir. Elektromanyetik dalga n kırılma indisli, x kalınlıklı bir film içine girdiğinde film çıkışındaki düzlem dalganın faz değişimi;

$$\theta = \frac{n}{c} 2\pi v x = 2\pi \frac{n}{\lambda} x \quad (3.29.)$$

olur. m bir tam sayı olmak üzere yapıcı ve yıkıcı girişim gözlenir.

$$x = \frac{(2m+1)\lambda}{2n} \quad (3.30.)$$

(yapıcı girişim)

$$x = \frac{(2m+1)\lambda}{4n} \quad (3.31.)$$

(yıkıcı girişim)

Böylece ince bir filmde çıkan elektromanyetik dalganın şiddeti  $\cos\theta$  gibi bir faz farkıyla modüle edilmiş olur (Pankove, 1971). İki ardışık tepe değerlerinin gözlemlendiği  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  dalga boylarının farkı alınırsa eşitlikten;

$$n = \frac{1}{\left(\frac{1}{\Delta\lambda}\right)^x} \quad (3.32.)$$

bulunur. Eşitlikten kırılma indisi bilindiğinde, film kalınlığı ya da diğer yönüyle kırılma indisi hesaplanabilir. Eğer farklı dalga boylarına ait farklı kırılma indisleri

olursa, denklem şu şekilde yazılabilir. Bu denklem ardışık iki maksimum tepe değeri için geçerli olan ifadedir.

$$x = \left\{ 2 \left[ \frac{n(\lambda_1)}{\lambda_1} - \frac{n(\lambda_2)}{\lambda_2} \right] \right\}^{-1} \quad (3.33.)$$

#### 3.2.3.4. Kırılma İndisi Hesabı

Kırılma indisi, birçok çalışmada zarf metodu kullanılarak belirlenmiştir. Zarf metodunda, geçirgenlik eğrisi zarf içine alınır. En üst ve en alt zarflara belirli dalga boylarına karşılık gelen  $T_{max}$  ve  $T_{min}$  değerleri belirlenmektedir.

Aşağıdaki Formül kullanılarak kırılma indisi hesaplanmaktadır.

$$n = [N + (N^2 - n_s^2)^{1/2}]^{-1/2} \quad (3.34.)$$

Burada N,

$$N = \frac{(n_s^2 + 1)}{2} + 2n_s \frac{(T_{max} - T_{min})}{(T_{max} T_{min})} \quad (3.35.)$$

ile tanımlanır ve  $n$  filmin kırılma indisi,  $n_s$  cam alt tabanın kırılma indisi ve değeri 1.53'tür (Gümüş, 2006).

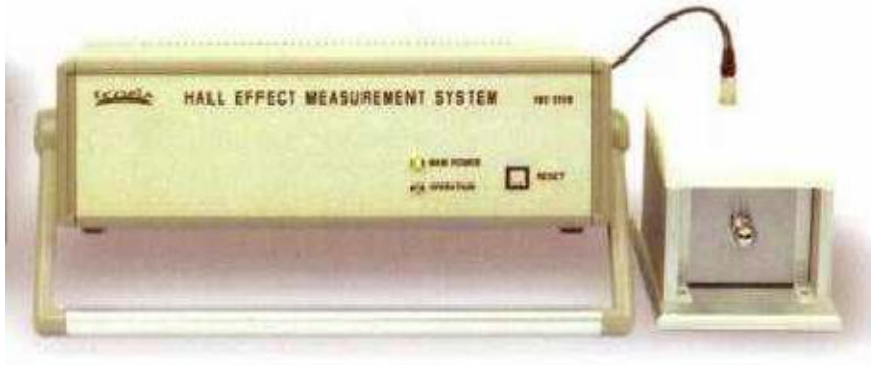
#### 3.2.4. Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Hall Etkisi ile Belirlenmesi

Bir yarıiletken taşıyıcı yoğunluğu safsızlık yoğunluğundan farklı olabilir. İyonize safsızlık yoğunluğu sıcaklığa ve safsızlık enerji düzeyine bağlıdır. Taşıyıcı yoğunluğunu direk olarak ölçmenin bir yolu da Hall olayı metodudur. Hall olayı aynı zamanda deşik yük taşıyıcılarının varlığının ortaya çıkmasında uygun bir yöntemdir. Çünkü ölçüm direk olarak taşıyıcı tipini belirlememize yardım etmektedir. Verici (donor) veya n-tipi yarıiletken için taşıyıcı konsantrasyonu işareti negatiftir, alıcı

(acceptor) veya p-tipi yarıiletken için taşıyıcı konsantrasyonunun işareti pozitifdir. Bu çalışmada üretilen ince filmlerin “Hall Effect Measurement System HMS-3000 Manual Ver 3.5” sistemi kullanılarak elektriksel ölçümleri yapılmıştır. Bu sistemle taşıyıcı konsantrasyonu, Hall mobilitesi, direnci, sheet konsantrasyonu ve iletkenliği de hesaplanabilmektedir

Manyetik alan içindeki bir iletkenin bir elektrik akımı geçerse, manyetik alan hareket eden yük taşıyıcıları üzerine enine bir kuvvet uygular ve onları iletkenin bir tarafına doğru iter. Bu etki en çok ince düz bir iletkende belirgindir. İletkenlerin kenarlarındaki yük artışı, bu manyetik etkiyi dengeler ve iletkenin iki kenarı arasında ölçülebilen bir gerilime neden olur. Bu ölçülebilen gerilimin varlığı 1879’ da E. H. Hall tarafından keşfedilmesinden sonra Hall etkisi olarak adlandırılmıştır. Hall etkisi, farklı yük taşıyıcıları için farklı olan bir iletim olayıdır. Hall gerilimi, pozitif ve negatif yük taşıyıcılar için farklı bir kutupluluğa sahiptir. Hall geriliminin ölçülmesi, taşıyıcı konsantrasyonunun tayininde önemli bir yöntemdir.

Hall Etki ölçümünü yapmak için Şekil 3.13’ de gösterilen bilgisayar kontrollü HMS3000 sistemi kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Hall Ölçüm Sistemi

### 3.3. Metallerle İlgili Genel Bilgiler

Günümüzde elementlerin sınıflandırılması temelde iletkenliklerine dayandırılmaktadır. Buna göre metaller ısı ve elektriği iyi iletirler, ametaller ise normal koşullarda iletken değildirler. Bir kısım elementler ise ısı ve elektriği bir miktar iletirler, ancak iletkenlikleri metallerin tersine sıcaklıkla artar. Bunlara yarı metaller denir.

Metaller, metalik bağlı kristaller oluştururlar, koordinasyon sayıları yüksektir. (8 veya 12) Metal atomlarının en dış elektronları (değerlik elektronları) ametallerde olduğu gibi kovalent bağ yapmak üzere çiftlenmezler. Katı haldeki bir metalde atomlar birbirine çok yakın olduğundan, bir atomun değerlik elektronları diğer atomların etki alanına girer.

Yarı metallerde dolu ve boş molekül bantları arasındaki enerji farkı oldukça küçüktür ve bir miktar iletkenlik vardır. Bu iletkenlik elektronların enerjisini artıran bir dış etki ile (ışık veya ısı) artırılabilir. Bunlar tabaka yapısında veya uzun zincirler halinde büyük moleküller oluştururlar. Koordinasyon sayıları oldukça küçüktür (4 veya 4 ten az). Metallerde ise molekül bantları kısmen dolu olup elektronların serbestçe hareketi sonucu iletkenlik fazladır.

Birkaçı dışında oda sıcaklığında hepsi katı halde bulunan metaller kristal denilen belirli geometrik şekiller oluştururlar. Kristal örgüyü oluşturan atom, molekül veya iyonların uzayda bütün örgü boyunca düzenli olarak tekrarlanır. Metal kristallerinde tekrarlanan birimler artı yüklü iyonlardır. Değerlik elektronları yalnız kendi atom çekirdeklerinin değil bütün komşu çekirdeklerinin etkisi altında bulunur. Her yöne doğru hareket edebilir. Bu nedenle metal kristallerinin bir elektron denizi içinde düzenli bir şekilde yerleşmiş artı yüklü iyonlardan oluştuğu söylenebilir. Kolaylıkla akabilen elektron denizi metale elektriksel iletkenlik kazandırır.

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Atom numarası 13' tür ve simgesi Al' dir. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Bu direncin temelinde pasivasyon özelliği yatar. Alüminyum kolay soğuyup ısıyı emen bir metal olması nedeniyle soğutma sanayinde geniş bir yer bulur. Bakırdan daha ucuz olması ve daha

çok bulunması, işlenmesinin kolay olması ve yumuşak olması nedeniyle birçok sektörde kullanılan bir metaldir.

Alüminyum genel manada soğutucu yapımında, spot ışıklarda, mutfak gereçleri yapımında, hafiflik esas olan araçların yapımında (uçak, bisiklet vs.) kullanılır. Bunun yanında sanayide önemli bir madde olan alüminyum günlük hayatta her zaman karşımıza çıkan bir metaldir.

İndiyumun atom numarası 49' dur ve simgesi In' dir. Tabiatta bilinen bir minerali yoktur. Çok az rastlanan bu element genellikle çinko minerallerinde bulunmaktadır. Kalay yumuşaklığındadır. III-A gurubu elementlerinden olup, kimyasal özellikleri bakımından alüminyuma benzer. Bileşiklerinde genellikle +1 veya +3 değerliklidir, +2 değerlikli bileşikleri de vardır.

İndiyum ekseriyetle düşük sıcaklıkta eriyen lehim üretiminde kullanılır. Yarıiletken üretimi teknolojisinde metaller arası bileşikleri halinde kullanılır.

Gümüş beyaz, parlak, kıymetli bir metalik elementtir. Atom numarası 47' dir ve simgesi Ag' dir, çoğu bileşiklerinde +1 değerliklidir. Gümüş, ışığı çok iyi yansıtan, dövülebilen bir metaldir. Periyodik tabloda ağır metaller grubu içinde yer alan gümüşün, çoğu özellikleri bakırın özelliklerine benzemektedir. Saf gümüş kolay paslanmaz. Elektrik ve ısıyı çok iyi iletir. Fakat çok yumuşak olup, mekanik kuvvete karşı direnci azdır. Ayrıca atmosferde parlaklığını kaybederek donuklaşır. Bu sebepten daha sert diğer metallerle alaşımları halinde kullanılır.

Gümüş' ün tüketildiği alanları sıralayacak olursak; fotoğraf sanayi, elektronik, para imali, süs eşyası ve takı yapımı, alaşımlar, dişçiliktir. Ayrıca, yapay yağmur yağdırmakta, ayna sırlarının yapımında, bilgisayar röle kontaklarında, pil yapımında da kullanılmaktadır. Saf gümüş, aynı zamanda asetik asit, boyalar ve fotoğraf maddeleri elde etmede de kullanılır. Keza toz halinde gümüş, cam ve ahşabı elektrik iletkeni yapmak için yeni seramik tipi kaplama işlerinde kullanılmaktadır.

### 3.4. Isısal Buharlaştırma (Thermal Evaporation)

Bu yöntem, saf filmler elde edilebildiği ve değişkenleri çok olduğu halde kontrol edilebildiği için en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  torr

basıncına kadar havası bir difüzyon pompası yardımı ile boşaltılmış bir vakum odası içerisinde, buharlaştırılacak madde, genellikle bir metal filamandan yüksek akım geçirerek, bazen de elektron ışını ile ısıtılır. Bir filaman üzerindeki sıcaklık derecesini azaltan en önemli etken hava kaybı ile ısıнын kaybıdır.

Buharlaşma noktasının üstünde belirli bir sıcaklıkta, bu kaynaktan her yönde atom veya moleküller yayılır. Buhar halindeki bu atomların, kaynaktan belli mesafeye (10-25 cm) konmuş taşıyıcılar üzerinde toplanması ile ince film üzerine istenen kontak elde edilir.

Filaman, yüksek erime sıcaklığına sahip Mo, W, Ta, C, Pt gibi metallerden, kontak yapılacak materyale uygun bir şekilde yapılır. Bu filaman materyali, yüksek sıcaklıkta bazı elementlerle kimyasal reaksiyona girebileceğinden, buharlaştırılacak elemente en uygun filaman metali bulmak için araştırma yapmak gereklidir. Yüksek akım ısıtması ile 1600 °C' ye, elektron ışını ile 2500 °C – 3000 °C' ye kadar sıcaklıklar elde edilebilmektedir.

Kapalı bir sistemi vakum yapabilmek için iki prensip vardır. Bir tanesi mekanik ve buharlı pompalarla gazı kapalı bir hacimden emerek çıkarıp atmaktır. Diğerisi ise vakum yapılacak kapalı hacimden gazın atılmadan bu hacim içerisinde tutulmasıdır.

Mekanik ve buharlı pompalarla gazı kapalı bir hacimden emerek çıkarıp vakum elde etme sistemini tanımak için mekanik ve difüzyon pompalarını tanıyarak sistemin çalışma prensibine bakalım.

Atmosferik basınç altında bir hacimden gaz yada hava pompalayan mekanik pompalar. Boşaltılacak hacimde ancak belirli bir vakum sağlandıktan sonra çalışan ve yüksek vakumun elde edilmesinde kullanılan difüzyon pompaları.

#### **3.4.1. Mekanik Pompalar**

Roots, Mercury ve Moleküler pompalar gibi birçok çeşitleri vardır. Yağ yataklı mekanik pompa, elektrik motorundan hareket alan döner bir silindirin gazı bir tarafından alması ve bunu atmosfer basıncındaki diğer tarafına atması şeklinde

çalışır. Sürtünme ve aşınmalar için ince bir yağ filmi ile minimuma indirilmiştir ve pompanın tüm yerleşme yerleri kaçakları önleyecek şekilde yağlanmıştır.

Çelik silindirden oluşan rotor, silindirlik çelik statorun içindeki bir eksen etrafında döner. Boşaltılacak kap silindirin gazı aldığı ağzına bağlanmıştır. Motor eksen çevresinde döner. İki kanat rotor içindeki çap boyunca uzanan yarıklara yerleştirilmiştir. Bu kenarların uçları statorun iç yüzünü tararken, diğer uçları da birer yayla birleştirilmiştir. Rotor ve statorun yüzeyleri çok iyi taşlanmış olmalıdır. Rotor döndükçe kanatlardan birinin havayı iten ucu, stator ve hava giriş ağzının birleştiği yerden geçer. Sonra dönüş sürdükçe bu kanadın arkasında kalan hacim genişler böylece girişteki basınç düşer. Bu arada kanadın önünde kalan hacim diğer kanadın havayı iten ucunun çıkış ağzını geçmesinden sonra azalmaya başlar. Dönüş devam ettikçe bir kanadının havayı iten ucu çıkış ağzına ulaştığında gaz en düşük hacme sıkıştırılmış olur. Bu küçük hacimde ki basınç çıkış ağzında ki tek yönlü valfi açacak kadar yüksektir. Bu basınca karşı koyan kuvvet atmosfer basıncı, valfin üzerinde kalan yağın doğurduğu basınç ve yayın geri çağırıcı kuvvetidir. Tüm bu kuvvetler sıkıştırılmış hacimde ki basıncın kuvvetinden azdır. Rotorun her bir dönüşünde çıkış ağzındaki valf iki kez açılır.

### 3.4.2. Difüzyon Pompaları

Normal basınç koşulları içerisinde gaz molekülleri her yönde ortalama  $v$  hızıyla hareket ederler. Azot için bu ortalama hız  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  de  $500\text{m/s}$  dir.

Bu molekülleri arzu edilen bir yönde itebilmek için bir buhar akışı sağlanabilir. Yani hızlı bir buhar akışı ile hava molekülleri sürüklenebilirler. Bu buharın akışkanı öyle bir sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır ki oluşan buhar dar boğazdan geçerek hava moleküllerini tek bir yönde taşıyan bir akım oluştursun. Yapı, ters akıntıyı mümkün olduğu kadar engelleyecek şekilde tasarlanır. Ayrıca yapının uygun yerlerine yerleştirilen tuzaklarla bu ters akıntıların önlenmesine çalışılır. İşte buradan hareketle, yüksek vakum elde etmek buhar pompaları geliştirilmiştir. Buhar yayınma

(difüzyon) ve buhar fışkırtma (ejektor) pompaları olmak üzere iki çeşit vardır. Sadece buhar difüzyon pompalarının çalışma prensipleri açıklanacaktır.

Difüzyon pompası yüksek vakuma açılmadan önce başlangıçta mekanik pompa ile  $10^{-2}$  Torr' a kadar pompalanır. Yağın kaynama noktasının düşürülmesi ve sıcak yağın oksitlenmemesi için bu gereklidir.

Isıtıcının yeterli derecede çalışması ile meydana gelen yağ buharı yukarı doğru çıkar, şemsiye şeklindeki yansıtıcıya hızla çarpan yağ buharı geri dönemeyeceğinden, şekilde görülen küçük deliklerden süpersonik (ses üstü) hızlarla çıkar ve aşağıya doğru inerken beraberinde hava moleküllerini de sürükler. Difüzyon çalıştığı sürece çalışan mekanik pompa ile bu hava molekülleri emilip atılırlar. Difüzyon pompasının çeperleri soğuk su taşıyan borularla (soğutucularla) döşenmiştir. Yağ buharı bu soğuk duvarlara temas edince yeniden sıvılaşır tekrar kaynamak üzere haznelere inerler.

Yağ moleküllerinin hava molekülleri ile çarpışarak momentum kazandırması ve üzerlerine bir şok dalgası yaratarak onları çıkışa doğru sürüklemesi ile beliren boşluğa yukarıdan (boşaltılan hacimden) yeni hava molekülleri gelir ve pompalama böyle devam eder.  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  Torr dolayında vakum böylelikle elde edilmiş olur.

### 3.4.3. Isısal Buharlaştırma Sisteminin Çalışma Prensibi



Şekil 3.14. Jee-4X Vakum Evaporatör

Şekil 3.14’ de buharlaştırma için kullanılan yüksek vakum sistemi görülmektedir. Çalışma düzeni bu tür pompalara sahip tüm vakum sistemlerinde şöyledir.

İlk önce mekanik pompa ile backing valf (destek boşaltma musluğu) kapatılıp roughing valf (kaba veya ön boşaltma musluğu) açılarak boşaltılacak hacim  $10^{-2}$  Torr’ a kadar pompalanır. Ölçü aygıtı ile bu vakum değeri anlaşılır. Böylelikle difüzyon pompasının çalıştığı sürece (kapatıldıktan yarım saat sonra) çalışması zorunlu olan mekanik pompanın verimi anlaşılmış olur. Difüzyon pompasının ısıtıcısı ve soğutma suyu açılarak devreye sokulur bu sırada da roughing valf kapatılarak backing valf açılır. İki valfin bir arada açılmamasına bu safhada son

derece dikkat edilmelidir. Difüzyon gerekli vakumu yapabilecek duruma gelinceye kadar açık olan backing valf ile mekanik pompada çalışmaktadır. Difüzyon içerisinde ki ve bağlı borulardaki vakum değeri gene ölçü aygıtı ile ölçülür. Sistem yüksek vakuma açılmadan önce backing valf kapatılıp roughing valf açılarak daha önce boşaltılmış hacmin bir kere daha test edilmesinde fayda vardır. Bu kontrolden sonra gene roughing valf kapatılıp backing valf açılır, arkasından ise yüksek vakum valfı açılarak difüzyon pompasının, boşaltılacak hacmi vakum yapması sağlanır.

Daha sonra kontak yapılacak madde metal filamandan yüksek akım geçirilerek ısıtılır buharlaşma noktasının üstünde belirli bir sıcaklıkta, bu kaynaktan her yönde atomlar yayılır, yayılan bu atomların, kaynaktan belli mesafeye (10-25 cm) konmuş ince film üzerine toplanmasıyla istenen kontak elde edilir.

### 3.5. Kontak

Metal, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin araştırılması, ancak, uygun kontakların kristallere uygulanması ile mümkündür. Kontak, iki maddenin en az dirençle, idealde ise, sıfır dirençle temas ettirilmesidir. İdeal kontak, yüzeylerin parlak, temiz ve pürüzsüz olmasına bağlıdır (Rhoderick ve Williams, 1988).

Kontak durumuna getirilen iki maddede yük alışverişi olur. Termal dengeye ulaşıldığında Fermi enerji seviyeleri aynı düzeye gelir. Bu durum iki metal arasında olduğu gibi, metal ile yarıiletkenler (n-tipi veya p-tipi) arasında da olabilir. Bir yarıiletkenin enerji-bant diyagramı Şekil 3.15 (a)' da görülmektedir.

Bir metal ile bir yarıiletken, kontak durumuna getirildiğinde, yeni yapı metal-yarıiletken diye adlandırılır ve maddelerin iş fonksiyonlarına göre;

a) Doğrultucu (Schottky) kontak

b) Omik kontak olarak sınıflandırılır.

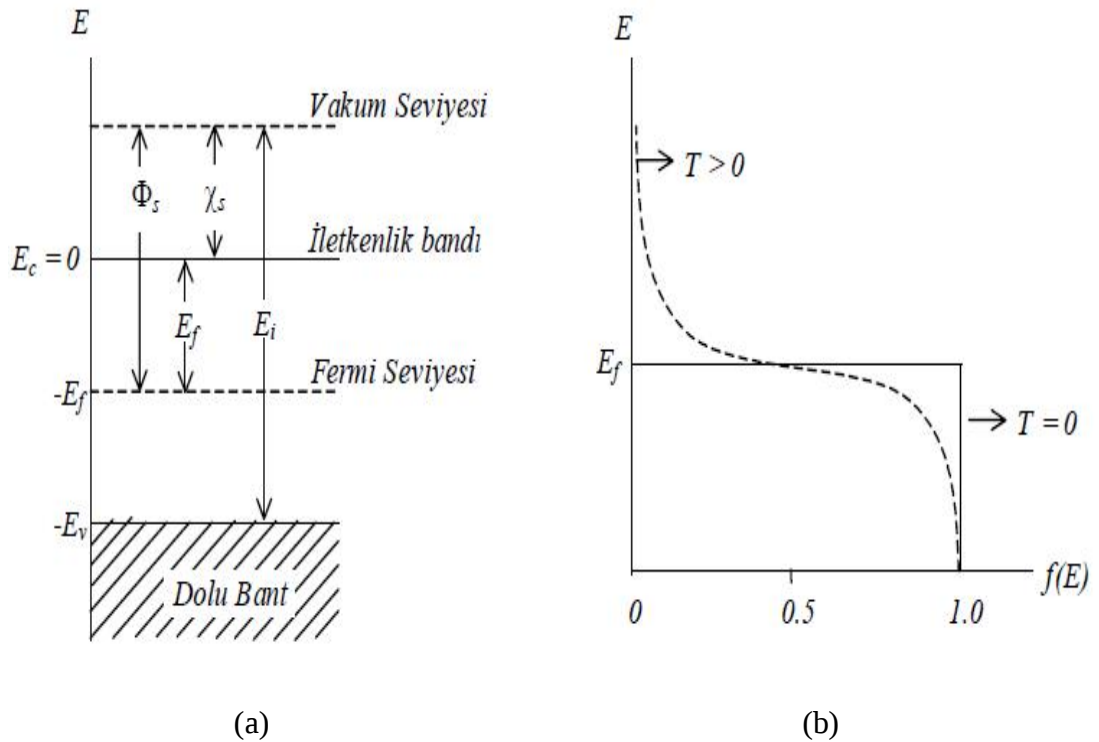
Omik ve doğrultucu kontağın fiziksel özellikleri ve akım iletimi katıhal elektroniğinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Fermi enerji seviyesi ( $E_f$ ), iş fonksiyonu ( $\Phi$ ) ve yarıiletkenin elektron yakınlığı ( $\chi_s$ ) bir katının özelliklerini anlatan parametrelerdir. Bunları şöyle tanımlayabiliriz:

Fermi enerji seviyesi ( $E_f$ ); dolmuş yörüngeleri dolmamış yörüngelerden ayıran izafi seviyedir ve  $f(E)$  Fermi dağılım fonksiyonunun sabitidir. Bu sabitin  $f(E)$  ile ilişkisi;

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp[-(E_f - E)kT]} \quad (3.36.)$$

ile verilir. Saf yarıiletken için bu fonksiyonun değişimi Şekil 3.15 (b)' de verilmiştir.

İş fonksiyonu ( $\Phi$ ); metal ve yarıiletkenin Fermi seviyesindeki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerji miktarıdır. Vakum seviyesi; metalin dışındaki hareketsiz bir elektronun enerjisini ifade eder. Yarıiletkenin Elektron Yakınlığı ( $\chi_s$ ); iletkenlik bandı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına denir.



Şekil 3.15. (a) Yarıiletkenin enerji-bant diyagramı (b) Saf yarıiletken için Fermi dağılım fonksiyonunun değişimi

Akım taşıyıcıları (boşluk ve elektron) bir doğrultuda kolayca hareket ederken, potansiyel engelinden dolayı diğer yönde hareketleri zorlaşır. Bu tür kontaklar doğrultucu kontaklardır. Taşıyıcıların bir maddeden diğerine kolayca geçebildiği kontaklar omik kontaklardır.

ZnO ince filmleri üzerine ikiyeşerli yaklaşık 0.7-1 mm çaplı maskeler kullanılarak Ag, Al, In kontaklar ısısal buharlaştırma yöntemi ile yapıldı.

Şimdi ise p-tipi yarıiletken metal kontakları ve n-tipi yarıiletken metal kontaklarını inceleyelim.

### 3.5.1. n-Tipi Yarıiletken/Metal Kontaklar

$\Phi_m$ ; metalin iş fonksiyonu,  $\Phi_s$ ; yarıiletkenin iş fonksiyonu olsun.  $\Phi_m > \Phi_s$  ise metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur.

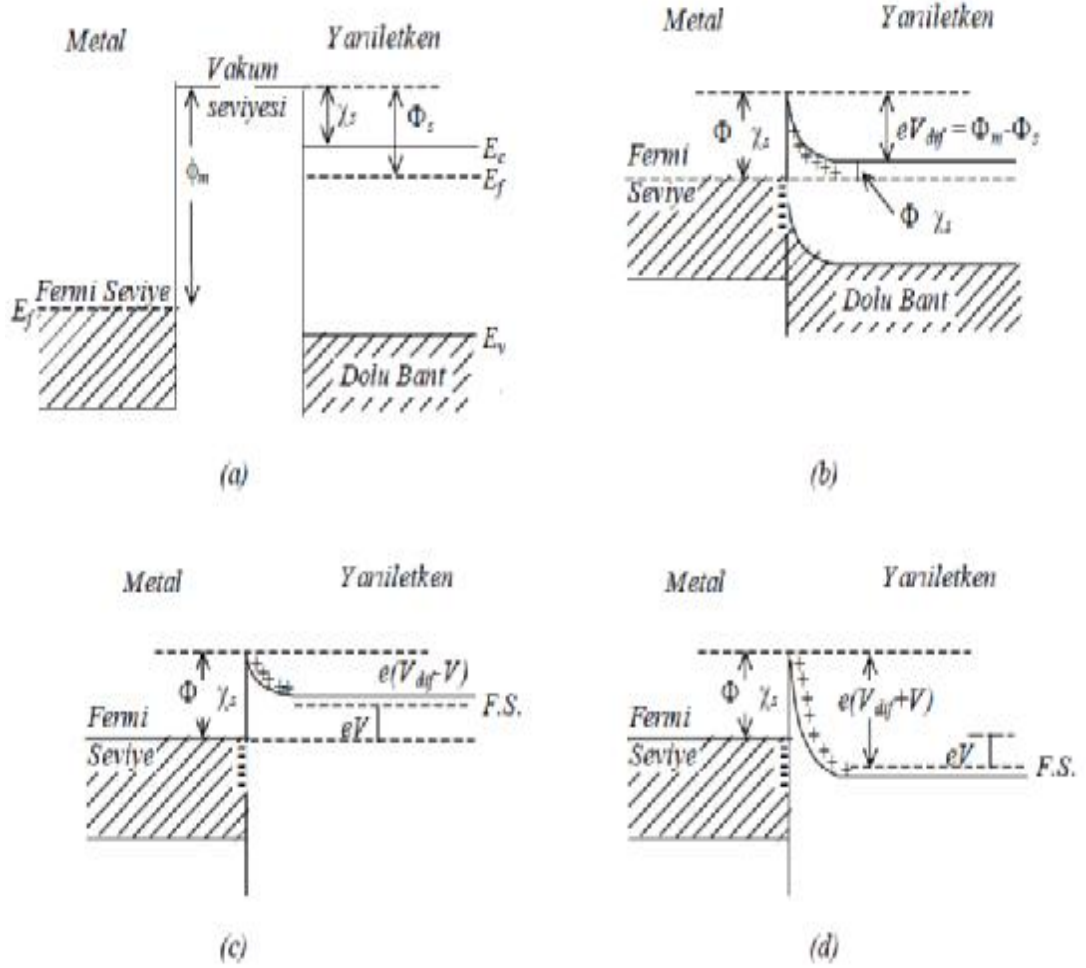
Şekil 3.16 (a)' da görüldüğü gibi, kontakta önce yarıiletken Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar yukarıdadır. Kontakın gerçekleştirilmesinden sonra oluşan yük alışverişiyle yarıiletkenin yüzeyindeki elektronlar, iyonize olmuş donörler bırakarak metale geçerler. Bu yük alışverişi tamamlandıktan sonra metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı düzeye gelir. Bir başka ifadeyle; yarıiletkenin enerji seviyeleri, iş fonksiyonları farkı ( $\Phi_m - \Phi_s$ ) kadar alçalır (Şekil 3.16 (b)). Bunun sonucu olarak, metal tarafındaki yüzey yükleri ile yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakasından dolayı, yarıiletken yüzdeki bantların yukarı doğru bükülmesiyle bir potansiyel engeli oluşur. Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafında yüksekliği;

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s; \quad (3.37.)$$

metal tarafındaki yüksekliği ise;

$$e\Phi_{on} = \Phi_m - \chi_s \quad (3.38.)$$

eşitlikleri ile verilir.



Şekil 3.16. Metal-yarıiletken doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı.

- (a) Kontaktan önce, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı
- (b) Kontaktan sonra termal dengedeki enerji-bant diyagramı
- (c)  $V < 0$  enerji-bant diyagramı
- (d)  $V > 0$  enerji-bant diyagramı

İyonize olmuş donörlerin neden olduğu, kontağın yarıiletken tarafındaki, hareketsiz pozitif yüklere yüzey yükü olarak değil, bir yük dağılımı olarak bakmak gerekir. Bu yük tabakası, uzay yükü tabakası adını alır. Bu tabaka yarıiletken tarafta  $d$  kalınlığındadır. Pozitif ve negatif yükler arasında kalan bu bölge sığa özelliği gösterir, Schottky kapasitesi veya kontak kapasitesi olarak adlandırılır. Kalınlığı; iyonize olan donörlerin konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyeline bağlıdır.

Termal uyarımla, potansiyel engelini aşmaya yetecek enerjiye ulaşan elektronlar, metalden yarıiletken ve yarıiletkenden metale geçerek, eşit ve zıt  $I_0$  sızıntı akımı oluştururlar. Eğer, yarıiletken ( $-V$ ) gerilimi uygulanırsa (Şekil 3.16(c)), metalden yarıiletken geçen elektronlar için engel yüksekliği değişmez, akım da aynı kalır. Buna mukabil, yarıiletkenden metale geçen elektronlar için iletkenlik bandı  $eV$  kadar yükseleceğinden engel yüksekliği de  $eV$  kadar azalacaktır. Dolayısıyla metalden yarıiletken doğru akan akım ise,  $\exp(eV/kT)$  çarpanı kadar değişecektir. Oluşan net akım formül

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.39.)$$

Olur ki, bu akım pozitifdir.  $V > kT/e$  besleme durumuna, doğru besleme denir. Yarıiletken tarafına  $+V$  gerilimi uygulanırsa (Şekil 3.16(d)), iletkenlik bandı  $eV$  kadar alçalır ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği  $eV$  kadar artar. Oluşan net akım  $-I_0$  değerine yaklaşır. Bu besleme durumuna da,  $V < -kT/e$  olduğu için ters besleme denir.

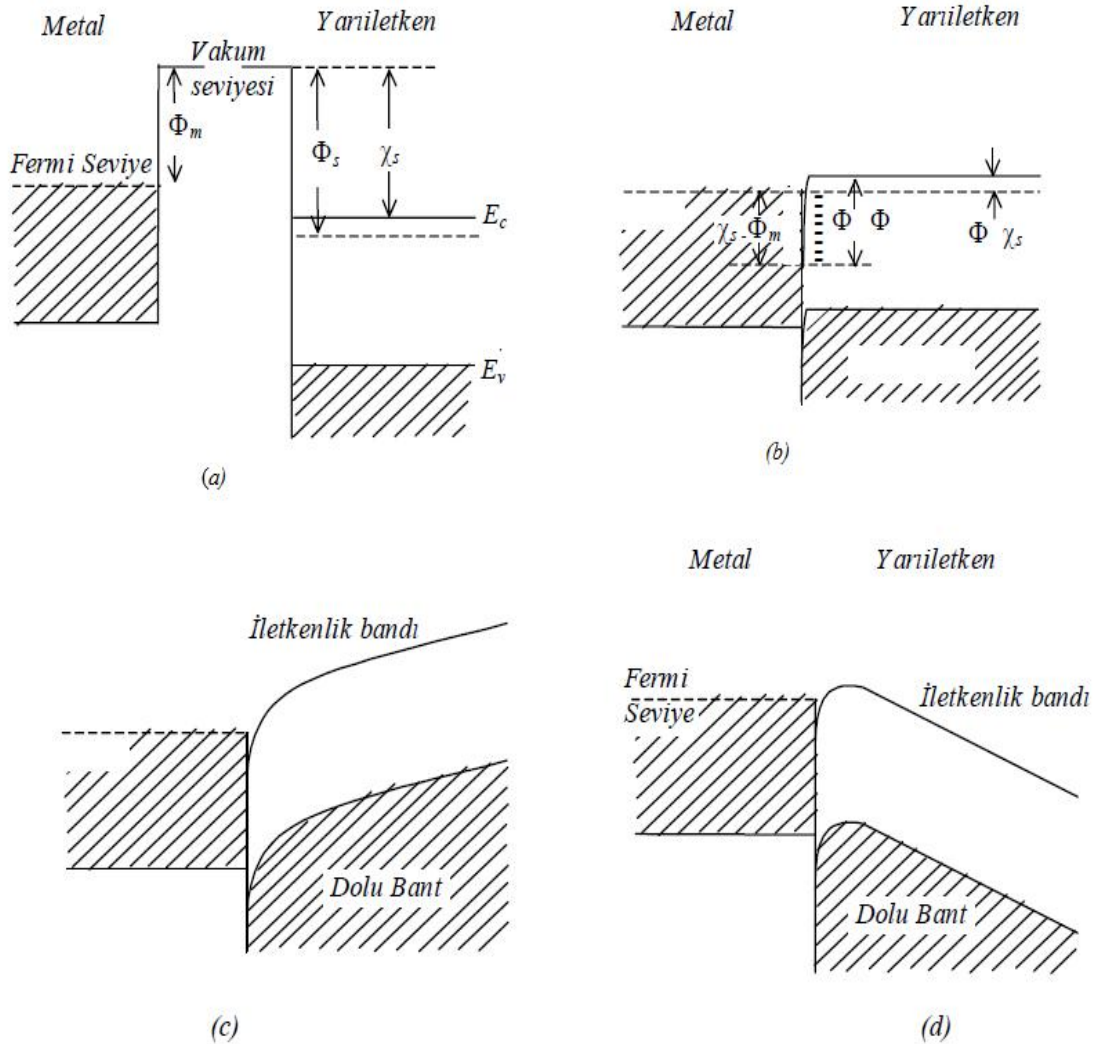
Buradan anlaşılacağı gibi, yarıiletken tarafındaki potansiyel engelinin yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir. Metal tarafındaki engel yüksekliği voltajdan bağımsızdır.

Metalin iş fonksiyonu  $\Phi_m$ , yarıiletkenin iş fonksiyonu  $\Phi_s$ 'den küçükse yani  $\Phi_m < \Phi_s$  ise omik kontak oluşur. Şekil 3.17 (a)' dan görüleceği gibi, kontakta önce, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar aşağıdadır. Kontakta sonra, elektronlar metalden yarıiletken, negatif bir yüzey yükü oluşturacak şekilde akarlar. Metal tarafında, ayrılan elektronlardan dolayı pozitif bir yüzey yükü ve böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir (Şekil 3.17 (b)). Bu kontak tipinde, taşıyıcılar metalden yarıiletken, yarıiletkenden metale serbestçe geçerler.

Metal tarafına  $+V$  gerilimi uygulanırsa, yarıiletkenden metale akan elektronlar için engel olmadığından kolayca hareket edebilirler (Şekil 3.17 (c)). Eğer

yarıiletkene  $+V$  gerilimi uygulanırsa, yarıiletken tarafı aşırı negatif yüklerden kaynaklanan engel yüksekliği çok az olacaktır ve elektronlar metalden yarıiletkene doğru kolayca akacaklardır (Şekil 3.17 (d)). Yani elektronlar her iki yönde de hareket halindedir.

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



Şekil 3.17. Omik kontakın enerji-bant diyagramı

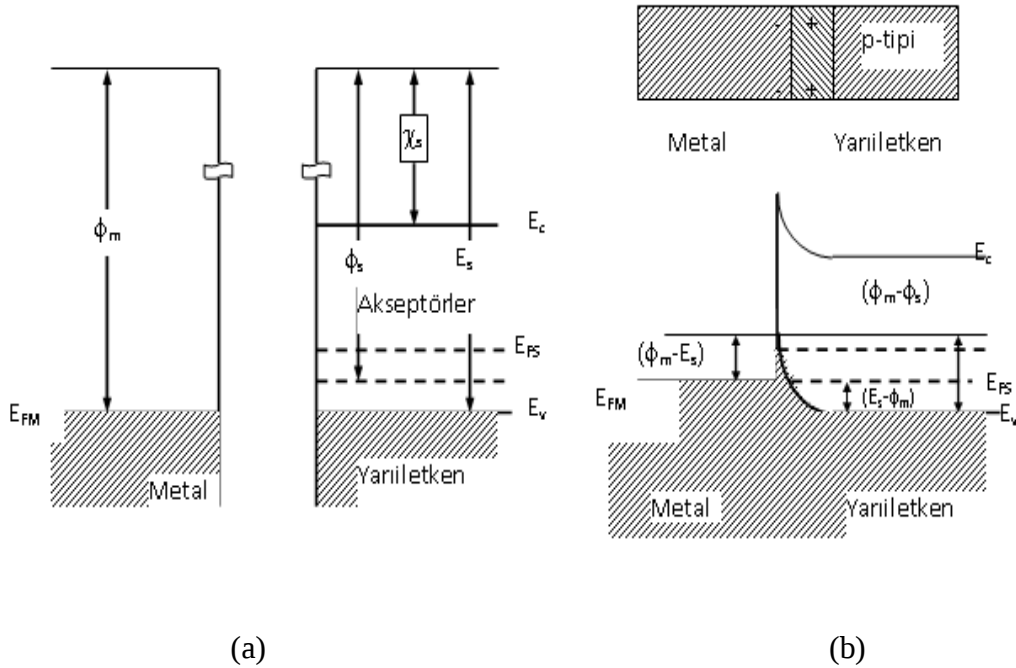
- (a) Kontak öncesi, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı
- (b) Kontak sonrası termal dengedeki enerji-bant diyagramı
- (c)  $V < 0$  olması halinde enerji-bant diyagramı
- (d)  $V > 0$  olması halinde enerji-bant diyagramı

### 3.5.2. p-Tipi Yarıiletken/Metal Kontaklar

$\phi_m < \phi_s$  ise kontak doğrultucu,  $\phi_m > \phi_s$  ise kontak omik kontaklıdır. Kontak yapılmadan önceki durum Şekil 3.18 'de gösterilmektedir. Yarıiletken Fermi seviyesi  $\phi_m - \phi_s$  miktarı kadar metal Fermi seviyesinin üzerindedir. Kontak yapıldıktan sonra yük alış-verişi meydana gelir. Yarıiletken tarafında geride pozitif bir uzay yükü (deşikten dolayı) ve metal tarafında negatif bir uzay yükü bırakarak, elektronlar yarıiletkenden uzaklaşır. Dolayısıyla, yarıiletken Fermi seviyesi  $\phi_m - \phi_s$  kadar alçalır.

Yarıiletkendeşikleri metale doğru hızlıca hareket ederler. Çok fazla elektron nedeniyle hemen nötürleşirler. Uygulanan gerilimin zıt polaritede olması, metalin iletken bandında oluşandeşikler hemen yarıiletkene doğru hareket ederler. Böylece omik kontak oluşur.

$\phi_m < \phi_s$  vakum p-tipi



Şekil 3.18 p-tipi yarıiletken kontakların Enerji-Band diyagramı

- (a) Kontak yapılmadan önceki durum
- (b) Kontak yapıldıktan sonraki durum

$\phi_m < \phi_s$  şartında, bütün donörlerin iyonize olduğunu kabul ederek, kontak yapılmadan önce yarıiletken Fermi seviyesi, metal Fermi seviyesinin  $\phi_s - \phi_m$  kadar altındadır. Kontak yapıldıktan sonra metal ve yarıiletken Fermi seviyeleri eşitleninceye kadar elektronlar metalden yarıiletkene doğru akarlar. Sonuçta, yarıiletkenin yüzey tabakası negatif olarak yüklenir. Bu negatif yüke iyonize olmuş akseptörler sebep olduğundan dolayı yük d kalınlıklı uzay yükü tabakası boyunca yayılır. Yarıiletkendeki enerji seviyeleri  $\phi_s - \phi_m$  kadar arttığından yarıiletkendekideşiklerle ilgili yüzey engeli;

$$\phi_s - \phi_m = eV_d \quad (3.40.)$$

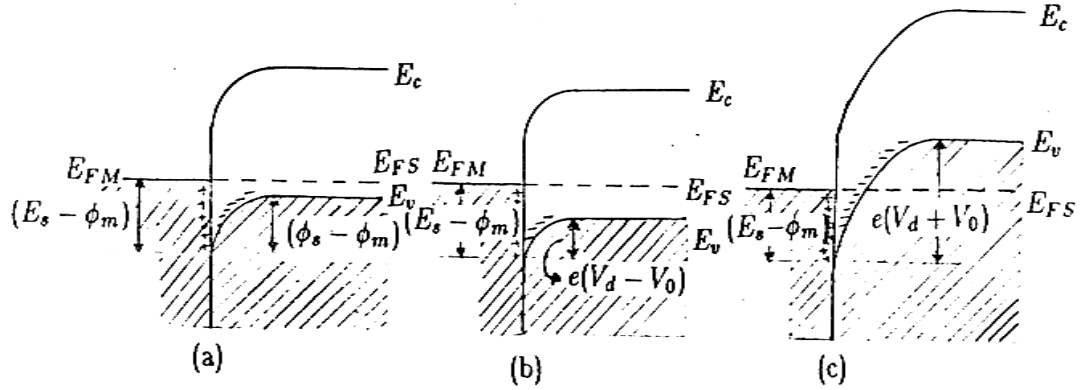
bağıntısıyla verilir.

Metal yüzeyine göre alınan  $V_d$  difüzyon potansiyelinin yarıiletkenin iç kısmındaki değeri negatiftir. Kontağın metal tarafındakideşiklerle ilgili potansiyel engeli;

$$(\phi_s - \phi_m) + (E_s - \phi_s) = (E_s - \phi_m) \quad (3.41.)$$

ile verilir.

Isısal dalgalanma nedeniyle yarıiletkenin bazıdeşiklerinin metaldeki potansiyel engelini geçmesi için yeteri kadar enerjiye sahip olması gerekir. Ayrıca, metalde ısısal olarak oluşturulandeşiklerin bazıları da, yarıiletken potansiyel engelini geçmesi için yeteri enerjiye sahip olması gerekecektir. Böylece bu durum, engeli geçen eşit ve zıt yönlü iki  $I_0$  akımına sebep olacaktır.



Şekil 3.19. Metal/p-tipi yarıiletken kontakların Enerji-Band diyagram ( $\phi_m - \phi_s$  için)

- (a) Sıfır geriliminde
- (b)  $V = +V_0 > 0$  (düz beslemede)
- (c)  $V = -V_0 < 0$  (ters beslemede)

Yarıiletkene  $V$  gerilimi uygulanırsa, metal tarafındaki engel değişmeyecek, fakat yarıiletken tarafındaki potansiyel engel yüksekliği  $eV_d$  'den  $e(V_d - V)$  değerine düşecektir. Bundan dolayı,deşiklerin metalden yarıiletkene doğru akmasıyla  $I_0$  akım değeri  $V$  gerilimine bağlı değildir. Fakatdeşiklerin yarıiletkende metale doğru akmasıyla oluşan akım  $V$  'ye sıkıca bağlıdır.  $V$ ,  $+V_0$  ( $V_0 > 0$ ) ise engel yüksekliği  $eV_d$  değerinden  $e(V_d - V_0)$  değerine düşeceği için akımın değeri artacaktır Şekil 3.19 (b). Eğer  $V$ ,  $-V_0$  ( $V_0 > 0$ ) ise, bu durumda engel yüksekliği  $eV_d$  değerinden  $e(V_d + V_0)$  değerine artacağından akım değeri küçülecektir Şekil 3.19 (c). Böylece, kontak doğrultucu kontak olur.

### 3.5.3. Kontaktarın Karakterizasyonu

Yarıiletken-metal kontaktarı Omik ve Doğrultucu olmak üzere iki çeşittir. Oluşan kontaktarın çeşidini belirlemek için hp4156C Yarıiletken Parametrik Analizör sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem ile (I-V) akım-gerilim ölçümleri yapılmıştır. Bu sistem kendi başına bağımsız ölçüm yapabilen (stand alone) bir sistemdir. Sistemin üzerinde şu birimler bulunmaktadır:

- 4 adet (HRSMU) yüksek çözünürlüklü kaynak ve ölçüm birimi,
- 1 adet gerilim kaynak birimi,
- 1 adet gerilim ölçüm birimi,
- Entegre renkli grafik ekranı,
- Klavye, 31/2 inç disket sürücüsü, GBIP ve USB arayüzleri bulunmaktadır.

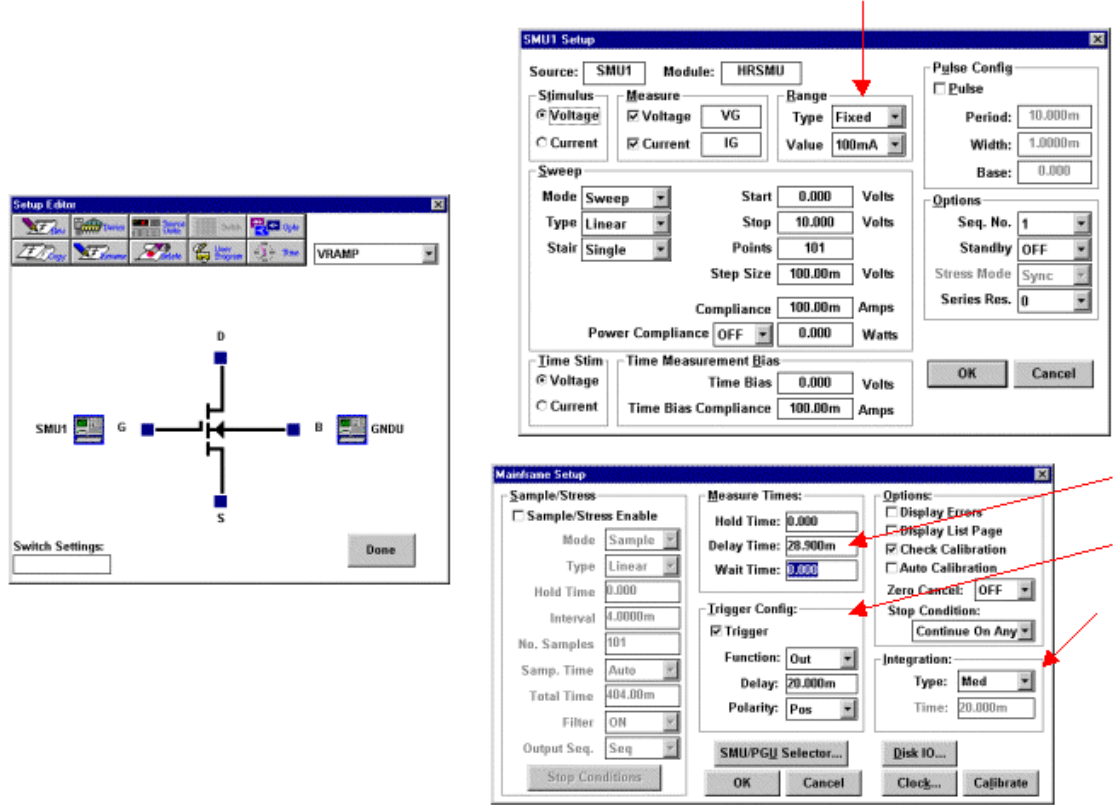
Analiz sistemi üç değişik biçimde çalışabilmektedir:

- Ön paneldeki kontrol düğmeleri ve klavye ile doğrudan ölçme modu,
- Entegre disket sürücüsüne yüklenen “hp-teknik basic” dili ile yazılmış programlarla yapılan ölçüm modu,
- Üçüncü parti otomasyon yazılımları ve bilgisayar kontrolü ile ölçüm modu.

Bu çalışmada yapılan ölçümlerde Metrics yazılım şirketi tarafından geliştirilmiş otomasyon yazılımı ICS ve cihaz üreticisi firmanın (hpAgilent) sağladığı I-CV LITE kullanılmıştır. Bu yazılımlarda önce bağlanacak ölçüm sistemi seçilmekte, daha sonra ölçülecek diyot, kapasitör ya da özel tasarlanmış test edilecek aygıt sistemdeki hazır reçetelerden seçilmektedir. Aygıt reçete grafiğindeki test noktalarına sembolik olarak ölçüm üniteleri bağlanmaktadır. Daha sonra bu HRSMU’ nin çalışma parametreleri operatör tarafından belirlenmekte ve ölçümdeki hangi parametrelerin kaydedilmesinin istendiğini gösteren liste doldurulmaktadır.

Ölç komutu verildiğinde deneyin ilerlemesi gerçek zamanlı olarak hem 4156C nin ekranından hem de bilgisayar ekranından görüntülenmektedir (Şekil 3.20). Ölçme işlemi ilerlerken olası kısa devre, açık devre, diyot kapasitesi ölçümü sırasındaki ters polarite, limit aşımı sistem tarafından otomatik algılanmakta ve aygıt ekranının üst bilgi satırına görüntülenmektedir. Grafik sonuç gerçek zamanlı gösterildikten sonra ölçüm biter bitmez yeniden ölçeklendirme işlemi yapılarak optimum halde aygıt ekranından görüntülenmektedir. Bilgisayar yazılımının yönettiği bilgisayar ekranındaki ölçüm görüntüsünün eksen ve gerekirse uygulanacak fonksiyonların seçimi operatör tarafından yapılmaktadır.

Sol tarafta görülen ölçüm yapılacak aygıtın seçim ekranı ve ona bağlanan SMU görülmektedir. İkinci SMU ground (toprak) olarak bağlanmış, devreyi tamamlamakta kullanılmıştır. Ekranın sağ tarafında ise yarı statik kapasite ölçümü için atma (pulse) ayarlarının belirlenmesi görülmektedir.



Şekil 3.20. hp4156C ile ölçüm yapmak kullanılan kurulum ekranı

Akım gerilim ölçümü için örnekler üzerine iğne kontaklar Cascade 150 probe istasyonu aracılığıyla bağlanmıştır. Kontak noktalarının bağlı olduğu uçlar, korumalı özel BNC sonlandırılmış kablolarla 4156C yarıiletken parametrik analizörünün SMU girişlerine bağlanmıştır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi ile Elde Edilen ZnO İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada başlangıç olarak Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi ile çinko nitrür ve çinko oksit ince filmler elde edildi. PFCVAD sistemi ile üretilen çinko oksit ince filmler doğal olarak n-tipi taşıyıcı özelliği göstermektedir. Daha kararlı bir yapı elde etmek için filmler belirli sıcaklıklarda tavlandı. P-tipi ZnO ince filmleri elde etmek için aynı sistem kullanılarak önce çinko nitrür ince filmler elde edildi. Daha sonra bu filmler ısısal oksidasyon sonucu p-tipi ZnO' e dönüştürüldü

Elde edilen filmlerin optik özellikleri 200 –1100 nm dalga boyu aralığına sahip Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile ölçüm yapılarak belirlendi. Ölçümlerde elde edilen optik geçirgenlik değerlerinin alt taban soğurmasından bağımsız olmasını sağlamak için önce sistemin zemin düzeltmesi yapılarak camdan geçen ışıyım %100 olarak normalize edildi.

PFCVAD yöntemi ile aynı basınçta, yaklaşık  $2.2 \times 10^{-4}$  Torr basıncında, üretilen çinko nitrür ve çinko oksit ince filmleri bir saat atmosfer ortamında 450 °C'de tavlansarak optik geçirgenliğine bakıldı. Bu ölçümler ile soğurma kenarı, enerji bant aralığı, kırılma indisi (zarf metoduyla), film kalınlığı hesaplandı.

PFCVAD yöntemi ile yaklaşık  $2.2 \times 10^{-4}$  Torr basıncında, üretilen çinko oksit ince filmlerine N2 ve N3 isimleri, çinko nitrür ince filmlerine N4 ve N5 isimleri verilmiştir. Birer saat atmosfer ortamında 450 °C' de tavlansan bu filmlerden N2 ve N3, n tipi özelliği taşımaktadır. Bu filmlerin optik özelliklerini incelemek için dalga boyuna karşılık geçirgenlik eğrileri çizildi.

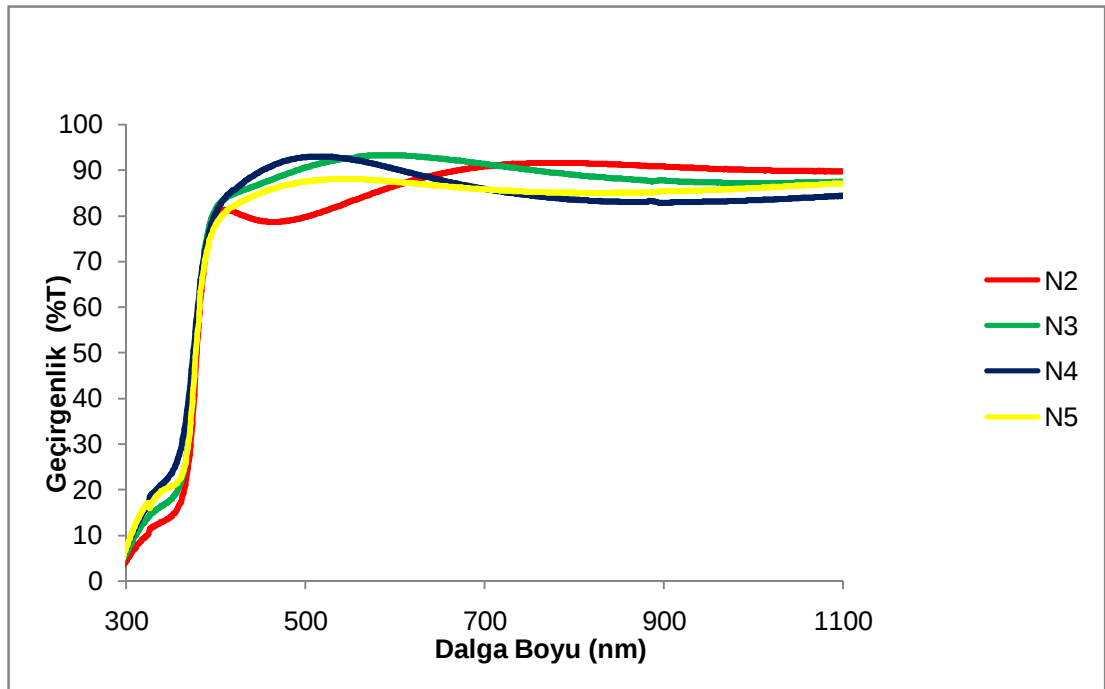
Çinko nitrür ince filmlerinde tavlama sırasında, oksijenin kimyasal aktivitesi azotunkinden daha yüksek olduğu için ince filmin içindeki Zn atomları, N' den ziyade O ile birleşmeyi tercih eder (Li ve ark.).

Çinko nitrür'ün tavlansmasıyla ince filmdeki bazı N atomları, O atomları ile yer değiştirmekte ve filmin içerisinde kalan azot atomları da ZnO:N (azot katkı ZnO) ince filmindeki alıcı seviyelerini oluşturmaktadır.

Birçok çalışma gurubu, çinko nitrür' ün ısısal oksidasyonu ile p tipi ZnO elde edildiğini rapor etmişlerdir. Filmlerin tavlama sıcaklığı ve süresi değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır. Tavlama süresini 5 dakikadan 3 saate kadar değiştirmişler ve tavlama sıcaklığını genelde 300 °C ve 700 °C arasında değiştirmişlerdir. 550 °C' den sonra ince filmlerin n tipine ZnO' ya dönüştüğü de rapor edilmiştir (Wang, C. ve ark, 2003).

Bu çalışmada ise N4 ve N5 çinko nitrür filmlerinin birer saat atmosfer ortamında 450 °C' de tavlandıktan sonra p tipi ZnO olduğu belirlenmiştir.

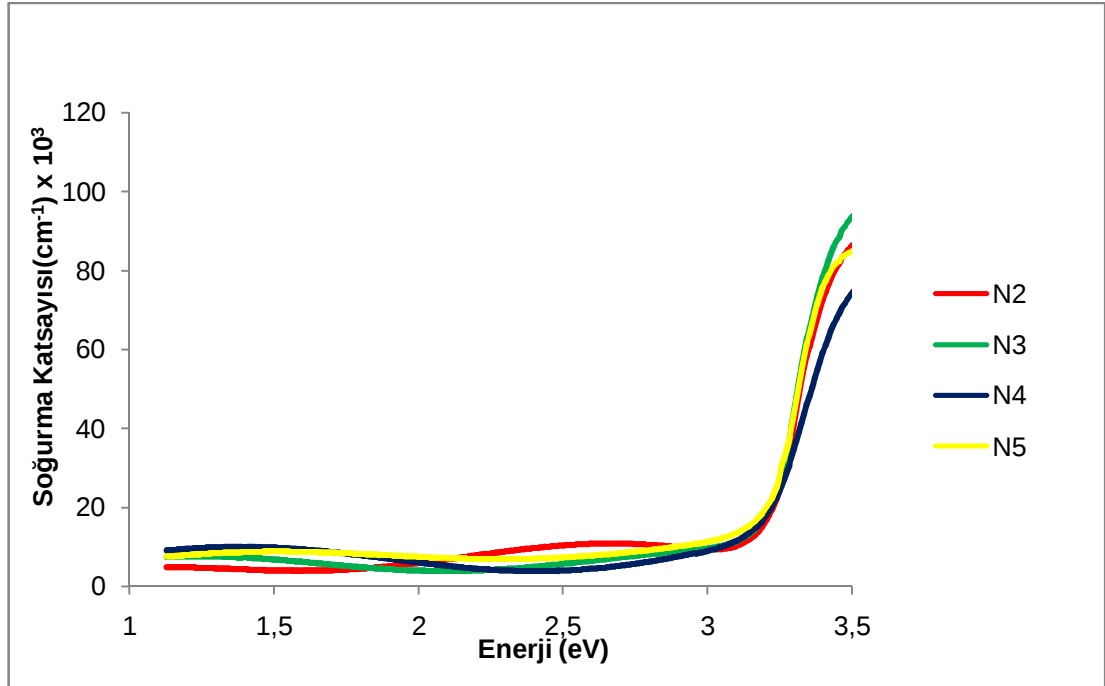
Çizilen dalga boyuna karşılık geçirgenlik eğrilerinden ve denklem (3.33)' den faydalanarak N2, N3, N4 ve N5 isimli ince filmlerin kalınlıkları hesaplandı.



Şekil 4.1. 450 °C de tavllanmış ince filmlerin dalga boyuna karşı geçirgenlik eğrileri

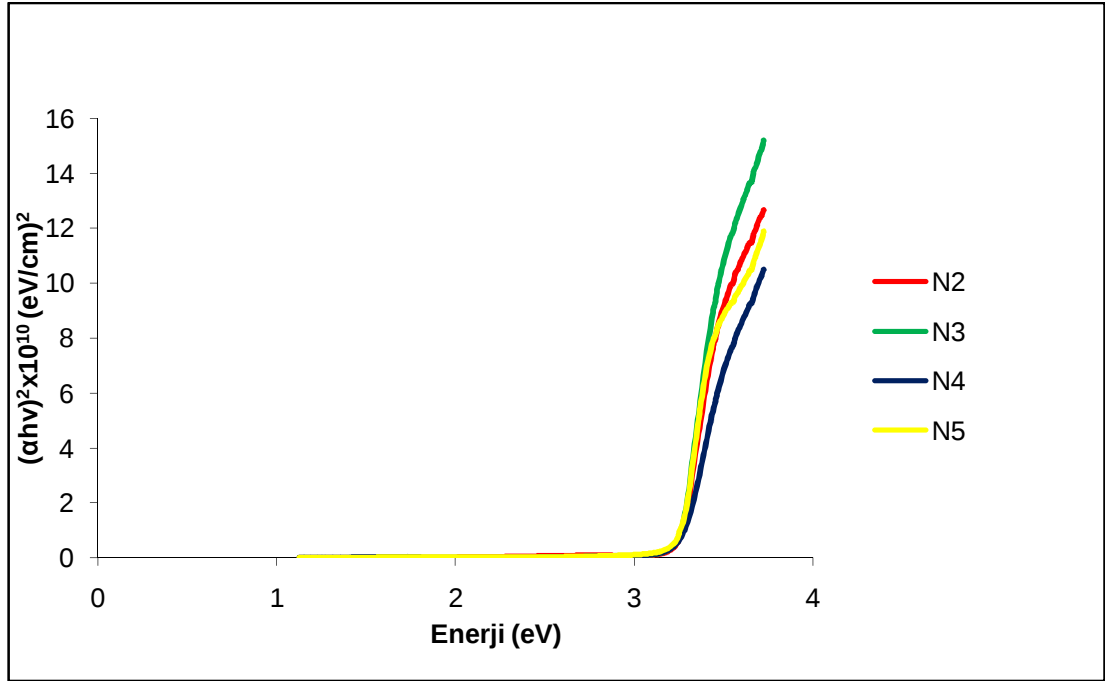
Elde edilen bu farklı kalınlıktaki ince film örneklerinin geçirgenlik değerlerinin yüksek olduğu, görünür bölgede (400–700 nm) % 94 civarında olduğu ve kalınlık arttıkça da azaldığı gözlemlendi. Geçirgenlikteki bu değişimler taşıyıcı konsantrasyonunun artışıyla ilişkilidir.

Spektrometreden alınan geçirgenlik verilerinden denklem (3.25.) yardımıyla soğurma katsayısı hesaplandı. Soğurma katsayısının enerjiye göre grafiği çizildi (Şekil 4.2). Soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi ile N2, N3, N4 ve N5 isimli ince filmler için soğurma kenarı hesaplandı.



Şekil 4.2. 450 °C de tavlanmış filmlerin  $\alpha$  - E değişimi

Aynı basınç ( $2.2 \times 10^{-4}$  Torr) farklı kalınlıklarda elde edilen ZnO ince filmlerin  $(ah\nu)^2$ 'nin enerjiye göre değişimi Şekil 4.3 görülmektedir. Bu eğrilere çizilen teğetin enerji eksenini kestiği nokta yasak enerji aralığını vermekte olup, elde edilen filmlerin yasak enerji aralıkları bu yolla bulunmuştur. Şekil 4.3' ten kalınlık arttıkça yasak enerji aralığının arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.3. 450 °C de tavllanmış filmlerin  $(\alpha h\nu)^2$ -E değişimi

450 °C‘ de birer saat tavlanan N2, N3, N4 ve N5 ince filmler için hesaplanan kalınlık, soğurma kenarı ve enerji bant aralığı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. İnce filmlerin optik karakterizasyonu

| Filmin adı | Tavlama Sıcaklığı (°C) | Soğurma Kenarı (nm) | Enerji Bant Aralığı (eV) | Kalınlık (nm) |
|------------|------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| N2         | 450                    | 391                 | 3.282                    | 166           |
| N3         | 450                    | 390                 | 3.276                    | 173           |
| N4         | 450                    | 387                 | 3.289                    | 240           |
| N5         | 450                    | 386                 | 3.286                    | 248           |

p-tipi ve n-tipi ZnO için kırılma indisi zarf (envelope) metoduyla hesaplanmıştır. Geçirgenlik eğrisine zarf çizilmiştir. Çizilen zarfın belirli dalga boylarına karşılık gelen maksimum ve minimum geçirgenlik değerleri belirlenmiş ve denklem (3.34) ve (3.35) yardımıyla aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.  $n_s$  camın kırılma indisidir ve değeri 1.53’ tür.

Tablo 4.2. N2 isimli ince film için kırılma indisi hesabı

| N2              |                       |                       |      |                       |                       |       |       |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| Dalga Boyu (nm) | T <sub>max</sub> (%T) | T <sub>min</sub> (%T) | ns   | T <sub>max</sub> /100 | T <sub>min</sub> /100 | N     | n     |
| 500             | 92.1                  | 73.3                  | 1.53 | 0.921                 | 0.733                 | 2.522 | 2.127 |
| 550             | 92.8                  | 78.1                  | 1.53 | 0.928                 | 0.781                 | 2.291 | 1.999 |
| 600             | 92.9                  | 80.2                  | 1.53 | 0.929                 | 0.802                 | 2.192 | 1.934 |
| 650             | 92.9                  | 82.4                  | 1.53 | 0.929                 | 0.824                 | 2.090 | 1.874 |
| 700             | 92.9                  | 83.9                  | 1.53 | 0.929                 | 0.839                 | 2.023 | 1.829 |
| 750             | 93                    | 84.3                  | 1.53 | 0.93                  | 0.843                 | 2.010 | 1.820 |

Tablo 4.3. N3 isimli ince film için kırılma indisi hesabı

| N3             |                       |                       |      |                       |                       |       |       |
|----------------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| Dalga Boyu(nm) | T <sub>max</sub> (%T) | T <sub>min</sub> (%T) | ns   | T <sub>max</sub> /100 | T <sub>min</sub> /100 | N     | n     |
| 500            | 94.1                  | 83.8                  | 1.53 | 0.941                 | 0.838                 | 2.070 | 1.861 |
| 550            | 94                    | 84.1                  | 1.53 | 0.94                  | 0.841                 | 2.053 | 1.850 |
| 600            | 93.9                  | 84.3                  | 1.53 | 0.939                 | 0.843                 | 2.041 | 1.842 |
| 650            | 93.8                  | 84.4                  | 1.53 | 0.938                 | 0.844                 | 2.033 | 1.836 |
| 700            | 92                    | 85                    | 1.53 | 0.92                  | 0.85                  | 1.944 | 1.773 |
| 750            | 90                    | 85.1                  | 1.53 | 0.9                   | 0.851                 | 1.866 | 1.713 |

Tablo 4.4. N4 isimli ince film için kırılma indisi hesabı

| N4             |                       |                       |      |                       |                       |       |       |
|----------------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| Dalga Boyu(nm) | T <sub>max</sub> (%T) | T <sub>min</sub> (%T) | ns   | T <sub>max</sub> /100 | T <sub>min</sub> /100 | N     | n     |
| 500            | 93                    | 80.1                  | 1.53 | 0.93                  | 0.801                 | 2.200 | 1.944 |
| 550            | 94.1                  | 80.2                  | 1.53 | 0.941                 | 0.802                 | 2.234 | 1.965 |
| 600            | 94.1                  | 80.3                  | 1.53 | 0.941                 | 0.803                 | 2.229 | 1.962 |
| 650            | 94.1                  | 80.5                  | 1.53 | 0.941                 | 0.805                 | 2.219 | 1.956 |
| 700            | 94                    | 80.5                  | 1.53 | 0.94                  | 0.805                 | 2.216 | 1.954 |
| 750            | 93.6                  | 80.6                  | 1.53 | 0.936                 | 0.806                 | 2.197 | 1.943 |

Tablo 4.5. N5 isimli ince film için kırılma indisi hesabı

| N5              |                       |                       |                |                       |                       |       |       |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| Dalga Boyu (nm) | T <sub>max</sub> (%T) | T <sub>min</sub> (%T) | n <sub>s</sub> | T <sub>max</sub> /100 | T <sub>min</sub> /100 | N     | n     |
| 500             | 88                    | 77.4                  | 1.53           | 0.88                  | 0.774                 | 2.146 | 1.911 |
| 550             | 88.1                  | 79.1                  | 1.53           | 0.881                 | 0.791                 | 2.065 | 1.858 |
| 600             | 88.1                  | 81.1                  | 1.53           | 0.881                 | 0.811                 | 1.970 | 1.792 |
| 650             | 88                    | 82.7                  | 1.53           | 0.88                  | 0.827                 | 1.893 | 1.734 |
| 700             | 87.7                  | 83                    | 1.53           | 0.877                 | 0.83                  | 1.868 | 1.714 |
| 750             | 87.6                  | 83.2                  | 1.53           | 0.876                 | 0.832                 | 1.855 | 1.704 |

#### 4.2. Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Doğrudan ZnO olarak üretilen ve çinko nitrür olarak üretilip, tavlanaarak ZnO'ya dönüşen filmlerin p tipi mi yoksa n tipi mi olduğu Hall ölçümlerinden belirlenmiştir. Hall Effect Measurement System HMS-3000 sistemi kullanılarak elektriksel ölçümler yapılmıştır. Bu sistemle filmlerin, Hall mobilitesi, taşıyıcı konsantrasyonu, direnci, yüzey konsantrasyonu ve iletkenlikleri hesaplanmıştır. Yarıiletkenlerin iletkenlik tipini (n-tipi veya p-tipi) bulmak için taşıyıcı yoğunluğunun işaretine bakılmıştır. Alıcı veya p-tipi yarıiletken için taşıyıcı yoğunluğunun işareti pozitifdir, verici veya n-tipi yarıiletken için taşıyıcı yoğunluğunun işareti negatiftir. Sadece N2 ve N4 ince filmlerinin elektriksel ölçümleri yapılmıştır. N3 ve N5 ince filmleri de optik ölçümler için kullanılmıştır.

Tablo 4.6. Filmlerin elektriksel karakterizasyonu

| Örnek | Kalınlık (nm) | Tavlama Sıcaklığı (°C) | Hall Mobilitesi (cm <sup>2</sup> /Vs) | Taşıyıcı Konsantrasyonu (1/cm <sup>3</sup> ) | Özdirenç (Ωcm)        | Taşıyıcı Tipi |
|-------|---------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| N2    | 166           | 450                    | 2.360x10 <sup>3</sup>                 | -4.073x10 <sup>13</sup>                      | 6.493x10 <sup>1</sup> | n             |
| N4    | 240           | 450                    | 1.999x10 <sup>1</sup>                 | 8.488x10 <sup>14</sup>                       | 3.679x10 <sup>2</sup> | p             |

Üretilen n tipi N2 ince filminin 450 °C’ de tavlandıktan sonrada n tipi davranış sergilediği, N4 ince filminin ise 450 °C’ de tavlandıktan sonra p tipine dönüştüğünü Hall ölçümlerine bakarak söyleyebiliriz (Tablo 4.6).

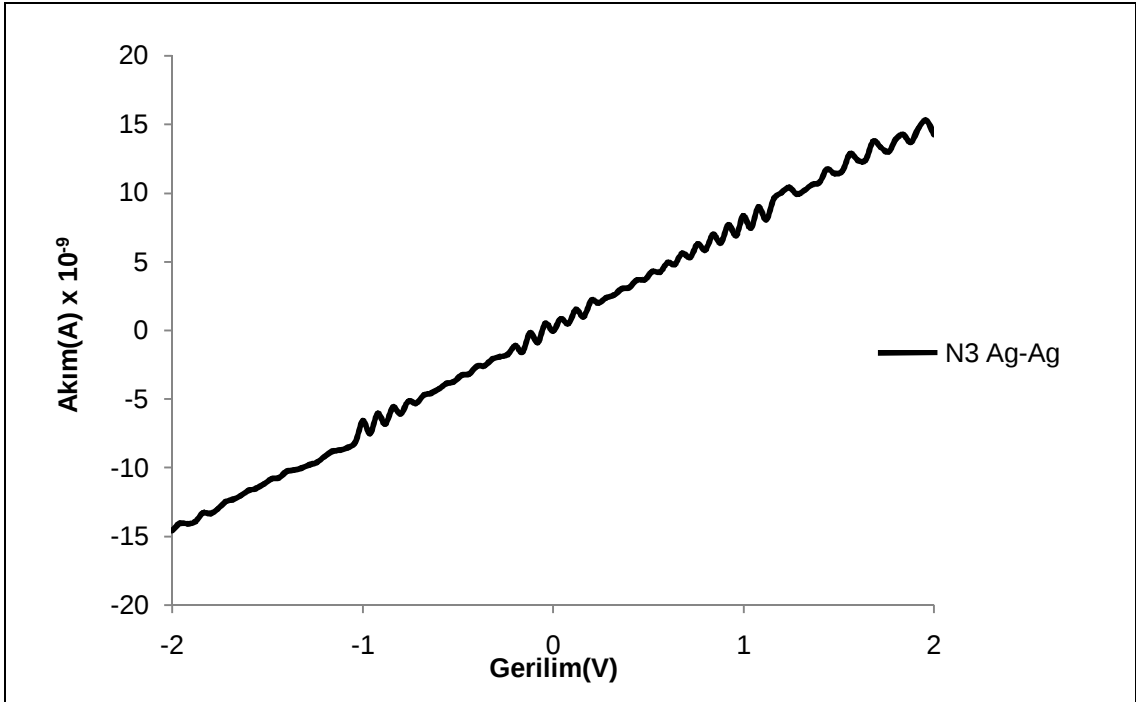
#### 4.3. Isısal Buharlaştırma İle Yapılan Kontakların I-V Özellikleri

PFCVAD yöntemi ile  $2.2 \times 10^{-4}$  Torr basıncında, üretilen çinko nitrür ve çinko oksit ince filmleri bir saat atmosfer ortamında 450 °C’ de tavlansak çinko nitrür N5 filminin p tipi ve çinko oksit N3 filminin n tipi davranışı sergilediği Hall ölçümü ile belirlenmiştir.

Bu çalışma için p tipi ZnO yarı iletken ince filmi ve n tipi ZnO yarıiletken ince filmleri üzerine Gümüş (Ag), Alüminyum (Al), İndiyumun (In) metalleri ile kontaklar yapılmıştır.

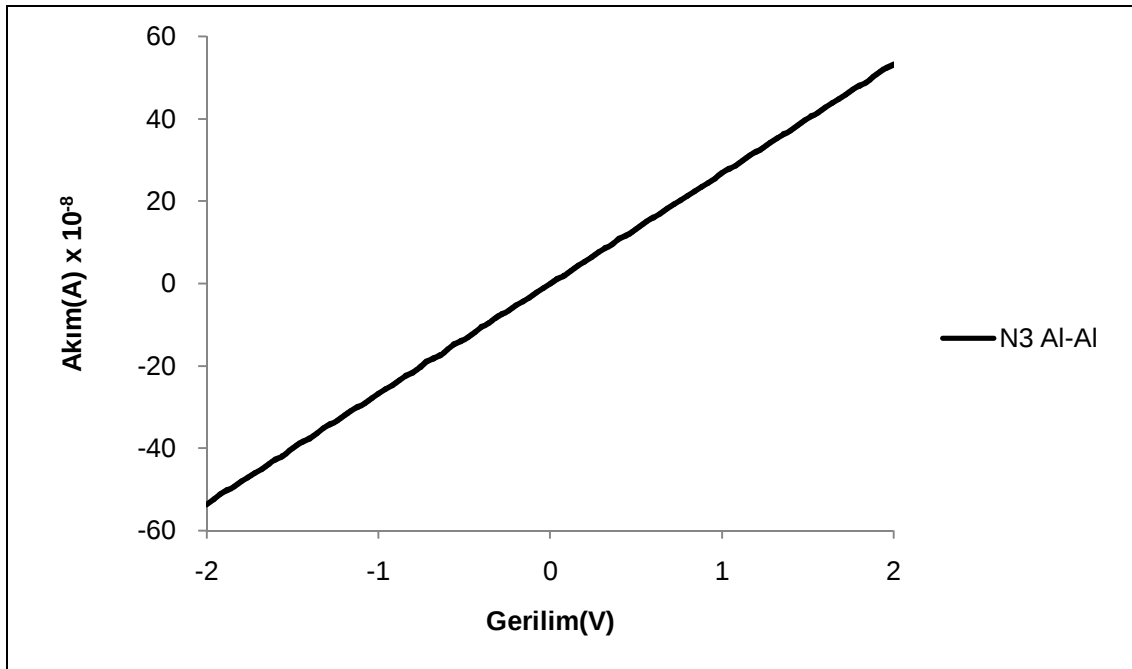
Kontaklar Jee-4X Vakum Evaporator aleti kullanılarak ısısal buharlaştırma ile yapılmıştır. İnce film üzerine ikişer noktalı maskeler yerleştirildi, bu işlem sonrası Al, Ag ve In kontakları yapıldı. Yapılan kontaklar daha sonra akım gerilim değişimi hp4156C Yarıiletken Parametrik Analizörü sistemi ile incelenmiştir. Uygulanan gerilime göre akım grafikleri çizilmiştir.

N3 n-tipi ZnO yarıiletken ince filmi ile Ag, Al ve In kontaklarının akım-gerilim (I-V) ölçümü yapıp değişimi aşağıdaki şekiller ile her biri için ayrı ayrı görülmektedir. Önce -1 - 1 aralığında gerilim uygulanmış ancak elde edilen eğriler beklenen kadar iyi olmadı, daha sonra gerilim -2 - 2 aralığında uygulandı ve daha iyi sonuç alındı.



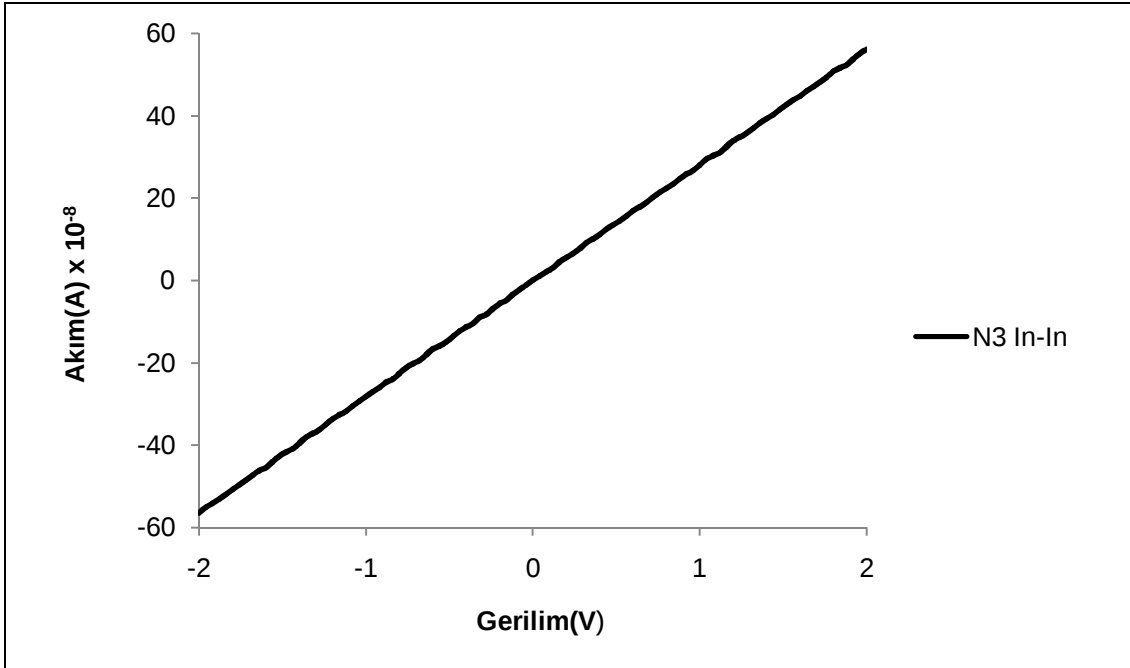
Şekil 4.4. N3 ince filmi ile Gümüş (Ag) kontaklarının akım-gerilim değişimi

N3 ince filmi ile Gümüş metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.4). Bu durumda kontakımız omik bir kontaklır. Literatürde çoğunlukla ZnO Gümüş kontakları Schottky kontak oluşturduğu durumlar yer almaktadır. Ancak bizim kontakımız üretilen ince filmlerin çinko zengini olmasından dolayı omiktir.



Şekil 4.5. N3 ince filmi ile Alüminyum (Al) kontaklarının akım-gerilim değişimi

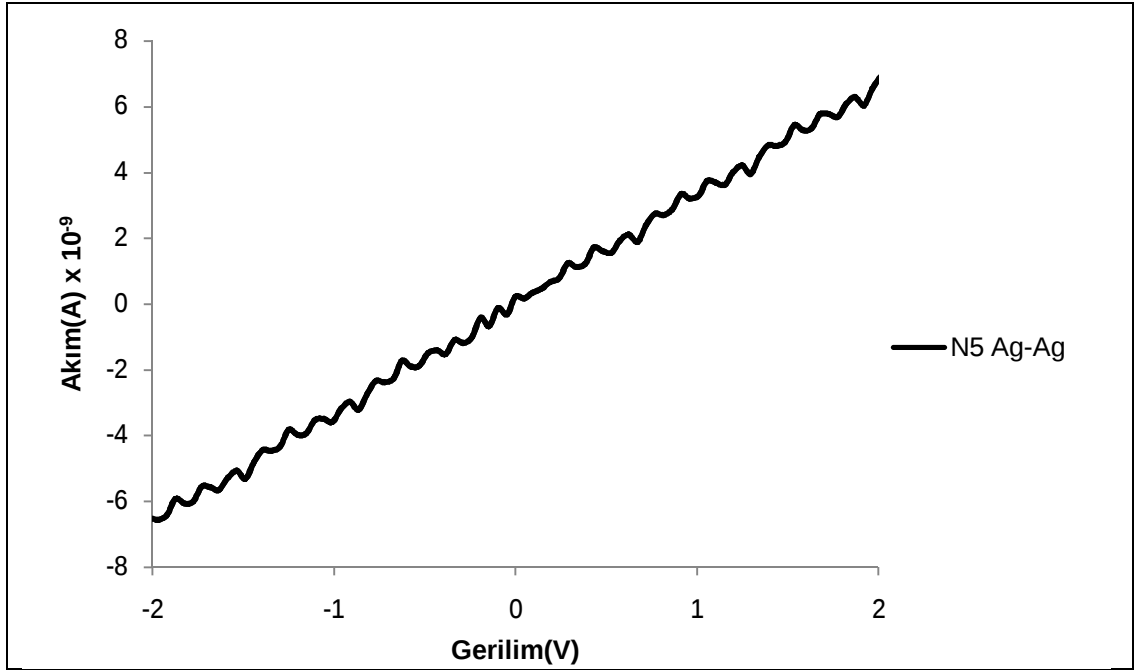
N3 ince filmi ile Alüminyum metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.5). Bu durumda kontakımız omik bir kontaklır. Bu durum literatüre de uymaktadır.



Şekil 4.6. N3 ince filmi ile İndiyum (In) kontaklarının akım-gerilim değişimi

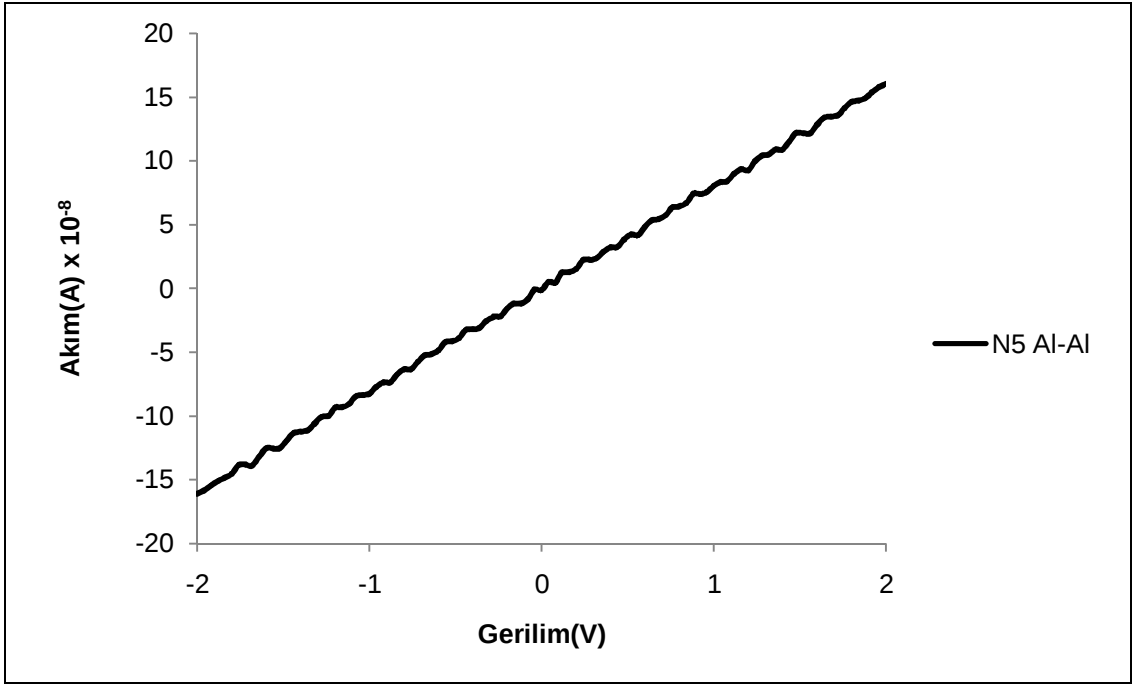
N3 ince filmi ile İndiyum metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.6). Bu durumda kontakımız omik bir kontaklır. Bu durum literatüre de uymaktadır.

Aynı şekilde p tipi ZnO yarı iletken ince filmi ile Ag, Al ve In kontaklarının omik kontaklar olduğu I-V ölçümü yapılarak belirlenmiştir. N5 Ag-Ag, N5 Al-Al ve N5 In-In kontakları içinde -2 - 2 volt aralığında gerilim uygulandı ve akım gerilim değişimleri aşağıdaki eğriler ile verilmektedir.



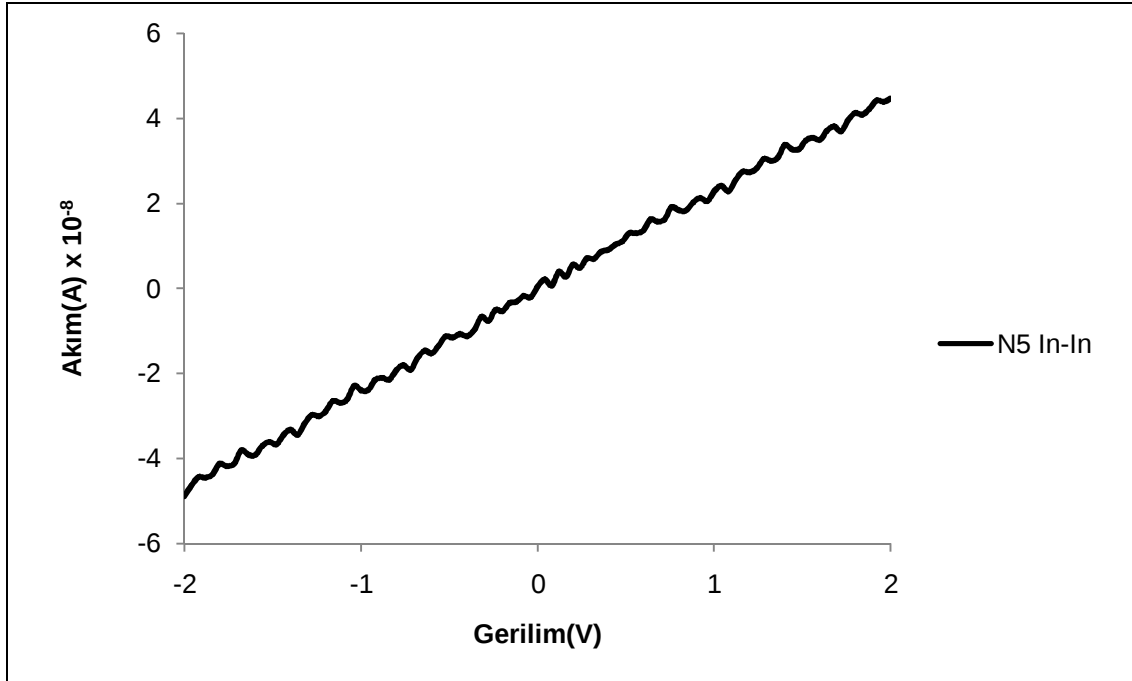
Şekil 4.7. N5 ince filmi ile Gümüş (Ag) kontaklarının akım-gerilim değişimi

N5 ince filmi ile Gümüş metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.7). Bu durumda kontakımız omik bir kontakır. Bu durum da N3 ince filmi ile Gümüş metali arasında ki kontak gibidir, aynı şekilde literatür de çoğunlukla Schottky kontak olsa da bu örnekte üretilen filmlerimizin çinko zengini olmasından dolayı omik kontak oluşturmuştur.



Şekil 4.8. N5 ince filmi ile Alüminyum (Al) kontaklarının akım-gerilim değişimi

N5 ince filmi ile Alüminyum metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.8). Bu durumda kontakımız omik bir kontaklır. Bu durum literatüre de uymaktadır.



Şekil 4.9. N5 ince filmi ile İndiyum (In) kontaklarının akım-gerilim değişimi

N5 ince filmi ile İndiyum metali arasındaki kontakta akım gerilim ile doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.9). Bu durumda kontakımız omik bir kontaklıdır. Bu durum literatüre de uymaktadır.

Elde edilen omik kontakların karakterizasyonu için önemli bir parametre özel kontak direncidir. İyi bir omik kontak için beklenen düşük bir değer olmasıdır. Örneklerin özel kontak dirençleri akımın gerilime göre değişimi ile elde edildi (Tablo 4.7). Elde edilen direnç değerleri kontakın geometrisine bağlı bulunan değerlerdir.

Tablo 4.7. Omik kontakların direnç değerleri

| Örnek    | Direnç ( R (Ω) )    |
|----------|---------------------|
| N3 Al-Al | $0.33 \times 10^7$  |
| N3 In-In | $0.33 \times 10^7$  |
| N3 Ag-Ag | $0.125 \times 10^9$ |
| N5 Al-Al | $0.125 \times 10^8$ |
| N5 In-In | $0.5 \times 10^8$   |
| N5 Ag-Ag | $0.25 \times 10^9$  |



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atmalı filtreli katodik vakum ark depolama (PFCVAD, Pulsed Filtered Cathodic Vacuum Arc Deposition) sistemi ile çinko nitrür ve çinko oksit ince filmler oda sıcaklığında cam alt tabanlar üzerine depolandı. ZnO ince filmler görünür bölgede yüksek geçirgenlik ve yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip saydam iletken oksit filmler olduklarından güneş pilleri, optoelektronik aygıtlar gibi teknolojinin birçok alanında uygulama bulmaktadırlar.

Üretilen ince filmlerin hepsi üretim aşamasından sonra görünür bölgede düşük optik özelliklere sahip olup tavlama ile bu özellik düzeltilmiştir. Çinko nitrür'ün ısısal oksidasyonu, bir saat atmosfer ortamında tavlama işlemi şeklinde yapılmıştır. 450 °C'de bir saat atmosfer ortamında tavlama sonucu çinko nitrür ve ZnO ince filmlerin optik özellikleri incelenmiştir. Görünür bölgede yüksek geçirgenlik ve yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip saydam iletken oksit filmler elde edilmiştir.

PFCVAD sistemi ile üretilen ZnO ince filmler doğal olarak n-tipi taşıyıcı özelliği göstermektedir. Kararlı yapıda p-tipi ZnO üretmek oldukça zordur ve halen üzerinde çalışılan bir konudur. Bu çalışmada p-tipi ZnO ince filmleri üretmek için önce çinko nitrür ince filmler üretilmiş daha sonra ısısal oksidasyon ile p-tipi ZnO ' e dönüştürülmüştür. Atmosfer ortamında belirli sıcaklıklarda tavlama sonucu oksidasyon süreci araştırılmıştır. Bu oksidasyon sürecince 350°C den 500°C ye kadar tavlama sonucunda filmlerin p-tipi özellik gösterdiği, ancak 550°C den daha yüksek sıcaklıklarda tavlama sonucunda filmlerin N bağlarının kopması sonucu filmlerin tekrar n-tipine dönüştüğü gözlenmiştir. Elde edilen n ve p-tipi ZnO ince filmlerin yüksek geçirgenlik, düşük öz direnç, yüksek taşıyıcı yoğunluğu gibi özellikleri araştırılarak aygıt tasarımına uygunluğuna bakılmıştır.

Filmlerin optik geçirgenliğin değişiminden yasak enerji aralığı, soğurma kenarı ve filmlerin kalınlığı hesaplanmıştır. Optik parametrelerin tavlama ile iyileştiği gözlenmiştir.

Bütün ince filmlerin yüzey ve hacim taşıyıcı yoğunlukları, mobiliteleri, iletkenlik değerleri HMS-3000 Hall ölçüm sistemi ile belirlenmiştir. Genel olarak

mobilité ile taşıyıcı yoğunluğunun ters orantılı olduğu, yüksek taşıyıcı yoğunluklarında düşük mobilité değerleri bulunmuştur. Buradan taşıyıcı yoğunluğunun bir kısmının kusurlardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu problemin çözümü için çifte katkılama (co-doping) önerilmiştir.

Üretilen p ve n tipi ZnO ince filmleri ile Gümüş(Ag), Alüminyum(Al) ve İndiyum(In) metalleri ile kontaklar yapılmıştır. Yapılan bu kontaklar hp4156C Yarıiletken Parametrik Analizörü sistemi kullanılarak akım-gerilim değişimleri göz önüne alınarak karakterize edilmişlerdir ve hepsi omik kontak olarak bulunmuştur. Alüminyum ve İndiyum ile olan kontakların omik oluşu literatüre uygundur. Ancak Gümüş ile yapılan kontak literatürde çoğunlukla Schottky kontak şeklindedir ama omik kontak oluşturan yapıların varlığı da söz konusudur. ZnO Nanotelleri ile minimum dirençli Ag (gümüş) kontaklarının omik davranış gösterdiği ve omik kontak oluşumuna neden olan metal-çinko bağının metal-oksijen bağına göre baskın olduğu rapor edilmiştir.(Tiong ve ark, 2008). Schottky kontak oluşturmak için daha fazla çalışma yapılması, üretilen çinko zengini filmlerde oksijen miktarının artırılması, metal çeşitleri değiştirilerek kontaklar yapılması ve karakterize edilerek aygıt yapımı için uygunluğunun araştırılması önerilir.

Üretilen omik kontakları karakterize etmek için özel kontak dirençlerine bakılmış ve istenilen gibi düşük değerler elde edilmiştir. Böylece ZnO tabanlı yarıiletken Gümüş(Ag), Alüminyum(Al) ve İndiyum(In) metal kontakları ile iyi özellikli omik kontakları elde edilmiştir

Sonuç olarak PFCVAD sistemi ile iyi özelliklere sahip n ve p-tipi ZnO ince filmlerin ürettiği ve bu filmlere metal (Al, Ag, In...) leri kullanılarak yüksek kalitede omik kontaklar elde edilmiştir. Yarıiletken ince filmlere yapılan metal kontakların karakteristikleri ışık yayan diyot (LED), ince film transistör (TFT) gibi opto-elektronik aygıtların yapımı için uygun olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- ALLEN, M.W., MILLER, P., METSON, J.B., REEVES, R.J., ALKAISI, M.M., DURBIN, S.M., 2007. Schottky Contact Behaviour as a Function of Metal and ZnO Surface Polarity, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 957.
- AYDOĞAN, Ş., ÇINAR, K., ASIL, H., COŞKUN, C., TÜRÜT, A., 2009. Electrical characterization of Au/n-ZnO Schottky contacts on n-Si, Journal of Alloys and Compounds, Volume 476, Issues 1-2, 913-918.
- AYYILDIZ, E., TÜRÜT, A., EFEOĞLU, H., TÜZEMEN, S., SAĞLAM, M., YOĞURTÇU, Y.K., 1996. Effect of series resistance on the forward current-voltage characteristics of Schottky diodes in the presence of interfacial layer, Solid-State Electronics 39-1, 83-87.
- BEN AYADI, Z., EL MIR, L., DJESSAS, K., ALAYA, S., 2009. Effect of the annealing temperature on transparency and conductivity of ZnO:Al thin films, Thin Solid Films, Volume 517, Issue 23, 6305-6309.
- BLOOD, P. and ORTON J.W., 1992. The Electrical Characteristics of Semiconductors: Majority Carriers and Electron States. Academic Press, New York, USA, 150.
- BOLE, M.P., PATIL, D.S., 2008. Effect of annealing temperature on the optical constants of zinc oxide films, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Volume 70, Issue 2, 466-471.
- DAVID, T., GOLDSMITH S., BOXMAN, R. L., 2004. Electro-optical and structural properties of thin ZnO films, prepared by filtered vacuum arc deposition ,Thin Solid Films, Volumes 447-448, 61-67.
- GÜRLER Y., 1971. İnce Film Devre Teknolojisi. Elektrik Mühendisliği, Londra, 174, 81-87.
- HENSELER, M. J. H.; LEE, W. C. T.; MILLER, P.; DURBIN, S. M.; REEVES, R. J., 2005. Optical and photoelectrical properties of ZnO thin films and the effects of annealing, Journal of Crystal Growth, Volume 287, Issue 1, 48-53.

- IP, K., THALER, G.T., HYUCKSOO. Y., HAN, S. Y., YUANJIE, L., 2006. Contacts to ZnO, Journal of Crystal Growth, Volume 287, Issue 1, 149-156.
- JEONG, S.-H., KIM, I.-S, KIM, J.-K., LEE, B.-T., 2004. Quality Improvement of ZnO Layer on Low Temperature-Grown ZnO Layer/Si Through a Two-Step Growth Using an R.F. Magnetron Sputtering, Journal of Crystal Growth, 264, 327.
- KAVAK, H., ESEN, R., TÜZEMEN, E. Ş., ERDOĞAN, N. H., KARA, K., YANIŞ, H., 2009. Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama (PFCVAD) Sistemiyle n ve p Tipi ZnO Üretimi ve Aygıt Uygulamaları. 106t613 no lu Tübitak projesi, 1-157.
- KITTEL, C., 1996. Katıhal Fiziğine Giriş. Güven Kitap Yayın Dağıtım, İstanbul, 430-434.
- LI, B. S., LIU, Y.C., ZHI, Z.Z., SHEN, D.Z., LU, Y.M., ZHANG, J.Y., FAN, X.W., MU, R.X., HENDERSON, D.O., 2002. Optical Properties and Electrical Characterization of P-type ZnO Thin Films Prepared by Thermally Oxidizing Zn<sub>3</sub>N<sub>2</sub> Thin Films, Journal of Materials Science, 13-17.
- LUNA-ARREDONDO, E. J., MALDONADO, A., ASOMOZA, R., ACOSTA, D. R., MELENDEZ-LIRA M.A., OLVERA, M., 2005. Indium-doped ZnO thin films deposited by the sol-gel technique, Thin Solid Films, Volume 490, Issue 2, 132-136.
- MEYER, R.J., 1972. Introduction to Classical and Modern Optics. Prentice-Hall, 471- 478.
- MÖNCH, W., 1987. Role of virtual gap states and defects in metal-semiconductor contacts, Phys. Rev. Lett, 58 (12), 1260-1263.
- MOTT, N.F., DAVIS, E.A., 1979. Electronic Process in Noncrystalline Materials, Clarendon Press, Inc. Oxford, 273-274.
- MÖNCH, W., 1989. Metallization and Metal-Semiconductor Interfaces, Edited by Batra, I.P., New York, vol. 195, p. 11-35.
- MÖNCH, W., 1995. Semiconductor Surfaces and Interfaces, Second Edition, Springer, Berlin, 75-387.

- NEAMEN D. A., 2003. Semiconductor Physics and Devices Basic principles. University of New Mexico, 3rd ed., 326-359.
- PATIN, D., E., WILLIAMS, D., J., O'KEEFFE, M., 1997. The Crystal Structures of  $\text{Mg}_3\text{N}_2$  and  $\text{Zn}_3\text{N}_2$ , Journal of Solid State Chemistry, 132:56-59.
- PANKOVE, J. I., 1971. Optical Process in Semiconductors. Dover Publications, Inc. New York, 422.
- PERIASAMY, C., CHAKRABARTI, P., 2009. Structural and electrical properties of metal contacts on *n*-type ZnO thin film deposited by vacuum coating technique, Journal of Vacuum Science & Technology B, Volume 27, Issue 5.
- PRUNIAUX, B.R., ADAMS, A.C., 1972. Dependence of barrier height of metal Semiconductor contact (Au-GaAs) on thickness of semiconductor surface Layer, J. Apply. Phys. 43-4, 1980-1982.
- RABADANOV, R. A., GUSEIKHANOV, M. K., ALIEV, I. Sh. , SEMILETOV, S. A, 1981. Properties of metal-zinc oxide contacts, Russian Physics Journal, Volume 24, Number 6, 72-75.
- RHODERICK, E.H., WILLIAMS, R.H., 1988. Metal-Semiconductor Contacts, Oxford University Press, Oxford, 2nd ed., 257.
- RHODERICK, E. H., WILLIAMS, R. H., 1988. Metal Semiconductor Contacts, Oxford University Press, 2nd ed., 124.
- RYU, Y. R., Lee, T. S., LEEM, J. H., WHITE, H. W., 2003. Fabrication of homostructural ZnO p-n junctions and ohmic contacts to arsenic-doped p-type ZnO, Applied Physics Letters, Volume 83, Issue 19.
- SATO, Y., KUSUMI, H., YAMAGUCHI, H., KOMIYAMA, T., AOYAMA, T. ,2006. Photoconductive properties of ZnO crystals with post-growth annealing, Physica B: Physics of Condensed Matter, Volume 376, 719-721.
- SHENGH., MUTHUKUMAR, S., EMANETOĞLU, N.W. and LU, Y., 2002. Schottky diode with Ag on (1120) epitaxial ZnO film. Appl. Phys. Lett., 80 2132-2134.
- SZE, S. M., 1981. Physics of semiconductor devices, A Wiley-Interscience Publication, New York: Wiley, 2nd ed., 7-50.

- SULLIVAN, J.P., TUNG, R.T., PINTO, M.R., GRAHAM, W.R., 1991. Electron-Transport of inhomogeneous Schottky barriers-A numerical study, J. Appl. Phys. 70(12), 7403-7424.
- ŞENADIM, E, 2007. ZnO ince filmlerinin eldesi ve aygıt üretimi için parametrelerinin optimizasyonu Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1-208.
- TIONG, T. Y., YAHAYA, M., DEE, C. F., SALLEH, M. M., MAJLIS, B. Y., 2008. Study of the contact properties of ZnO nanowires with Ag and Au/Ag, Semiconductor Electronics, 2008. ICSE 2008. IEEE International Conference on, 558 – 560.
- TUMER, M.J., RHODERICK E.H., 1968. Metal-Silikon Schottky barrier, Solid-State Electron., 11(3) 291-&.
- WANG, C., Jİ, Z., LİU, K., XİANG, K., YE, Z., 2003. P-Type ZnO Thin Films Prepared by Oxidation of Zinc Nitride Thin Films Deposited by DC Magnetron Sputtering, 265: 537-540.
- WEMER J.H., GÜTTLER, H.H., 1991. Barrier inhomogeneities at Schottky contacts, J. Appl. Phys. 69 (3) 1522-1533.
- WILMSEN, C., W., 1985. Physics and Chemsitry of III-V Compound Semiconductor Interfaces, Plenum Press, New York 97.
- YOUNG, S. J., JI, L-W., CHANG, L-W., CHEN, Y.P., 2008. ZnO Schottky diodes with iridium contact electrodes, Semiconductor Science and Technology Volume 23, Number 8.
- YUAN G., YE, Z., HUANG, J., QIAN, Q., ZHAO, B., 2004. Gold Schottky contacts on ntype ZnO thin films with an Al/Si (100) substrates. J. Crys. Growth, 268, 169 - 173.
- ZHIYONG, F., DAWEI, W., PAI-CHUN, C., WEI-YU, T., Lu, J. G., 2004. ZnO nanowire field-effect transistor and oxygen sensing property, Applied Physics Letters, Volume: 85, Issue:24, 5923 – 5925.
- ZHUGE, F., ZHU, L. P., YE, Z. Z., MA, D. W., LU, J. G., HUANG, J. Y., WANG, F. Z., JI, Z. G., ZHANG, S. B., 2005. ZnO *p-n* homojunctions and ohmic contacts to Al–N-co-doped *p*-type ZnO, Applied Physics Letters, Volume:87.

## **ÖZGEÇMİŞ**

12 Şubat 1987 yılı Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimlerini Adana’da tamamladı. 2004 yılında lise eğitimini bitirdi İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde üniversiteye başladı. 2008 yılında üniversite eğitimini bitirdi ve aynı yılda Çukurova Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Anabilim Dalında Yüksek lisansa başladı. 2010 Kasım ayında evlendi.