

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOL-GEL İLE BÜYÜTÜLEN ZnO İNCE FİLMLERİNE SOĞUK**  
**ALTLIK YÖNTEMİYLE Ag BUHARLAŞTIRILARAK**  
**DİYOT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**MAHER HAİDAR**

**TEZ DANIŞMANI**

**DOÇ. DR. EYÜP FAHRİ KESKENLER**

**TEZ JÜRİLERİ**

**PROF. DR. MURAT TOMAKİN**

**DOÇ. DR. BURCU SAVAŞKAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**


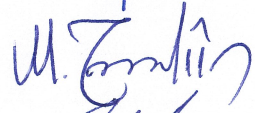

**RİZE-2019**

**Her Hakkı Saklıdır**

T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOL-GEL İLE BÜYÜTÜLEN ZnO İNCE FİLMLERİNE SOĞUK  
ALTLIK YÖNTEMİYLE Ag BUHARLAŞTIRILARAK DİYOT ÜRETİMİ  
VE KARAKTERİZASYONU

Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER danışmanlığında, Maher HAİDAR tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 07/01/2019 tarihinde Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı	İmzası
Başkan	: Doç. Dr. Burcu SAVAŞKAN	
Üye	: Prof. Dr. Murat TOMAKİN	
Üye	: Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER	

  
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



## ÖNSÖZ

Nano teknoloji ve malzeme biliminin gelişmesiyle ince film üretim tekniklerinde gelişmelere sebep olmuştur. İnce filmler, yarı iletken aletlerin ve güneş pilinin yapımında, manyetik kayıt ve algılama sistemlerinde, optik kaplamalarda ve dekoratif işlerde yaygınlıkla kullanılmaktadır. Kaplama yöntemlerindeki farklılıklar ve kaplama sırasındaki çeşitli işlemler sonucu, bulk (3D) malzemelerde bulunmayan birçok özellik bu nisbeten iki boyutlu ince filmleride oluşturulabilmektedir.

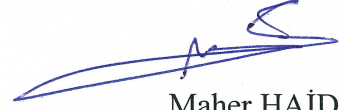
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yapılan bu çalışmada Sol-gel yöntemi ile ZnO ince filmlerin deneysel üretilmesi ve incelenmesi gerçekleştirilmiş ve yarı iletken özelliği gösteren, ZnO ince filmlerinin karakteristik özellikleri üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak elde edilen yapıya soğuk altlık tekniğiyle Schottky kontak uygulanmış ve analiz edilmiştir.

Tezimin tamamlanması esnasında bilgi ve deneyimleriyle bana maddi ve manevi her konuda yardımcı olan ve beni her zaman destekleyen danışmanım sayın Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER'e, sayın Doç. Dr. Vagif NEVRUZOĞLU'na ve sayın Prof. Dr. Murat TOMAKİN'e çok teşekkür ediyorum. Ayrıca bana her konuda yardımcı olan, destek veren aileme, hocalarıma ve arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

**Maher HAİDAR**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Sol-gel ile büyütülen ZnO ince filmlerine soğuk altlık yöntemiyle Ag buharlaştırılarak diyot üretimi ve karakterizasyonu” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. .../.../...



Maher HAİDAR

*Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

## ÖZET

### SOL-GEL İLE BÜYÜTÜLEN ZnO İNCE FİLMLERİNE SOĞUK ALTLIK YÖNTEMİYLE Ag BUHARLAŞTIRILARAK DİYOT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

**Maher HAİDAR**

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER**

Son yıllarda, ZnO ince filmler yoğun bir şekilde peizoelektrik, optoelektronik cihazlar ve fotovoltik hücrelerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Sol-gel yöntemi kullanılarak döndürerek kaplama tekniği ile basit, düşük maliyetli ve yüksek kontrollü ZnO ince filmlerin Cam ve SnO<sub>2</sub> altlıklar üzerine büyütülmesi sağlanmıştır. Yine optimize edilen ZnO ince filmlere, PVD soğuk altlık yöntemiyle 200K (soğuk altlık) ve 300K gibi iki farklı sıcaklıkta Ag buharlaştırılarak Schottky diyot üretilmiştir. Elde edilen filmlerin ve Schottky diyotların XRD, SEM, Optik ve Elektriksel ölçümler yardımıyla karakterizasyonu yapılmıştır. XRD ölçümlerinden, ZnO'nun (002), (100), ve (101) piklerinin sırasıyla 2θ (31,77), (34,42) ve (36,25) açılarında olduğu tespit edilmiştir. Filmlerin ortalama tane boyutu 25 nm olarak hesaplanmıştır. Filmlerin optik geçirgenliğinin 95%' ten daha fazla olduğu bulunmuştur ve farklı altlık üzerine kaplanan filmlerin ZnO enerji bant aralığı değerleri 3,25-3,35 eV civarında hesaplanmıştır. Fotoluminesans ölçümlerinden farklı dalga boylarında çeşitli kusur türlerine ait pikler görülmüştür. 200K ve 300K sıcaklığında Ag/ZnO Schottky diyotların bariyer yüksekliği ve idealite faktörü değerleri sırayla 0,43eV; 15,60 ve 0,15eV; 7,41 olarak bulunmuştur ve yine sırasıyla iki farklı yöntemden elde edilen seri direnç değerleri 4,46Ω; 4,88Ω ve 3,65Ω; 4,78Ω olarak hesap edilmiştir. 200K ve 300K için C<sup>-2</sup>-V eğrisinden taşıyıcı konsantrasyonu (N<sub>d</sub>) sırasıyla 6,06×10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup> ve 4,05×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> ve Built-in Potansiyelleri (V<sub>bi</sub>) 0,55V ve 0,70V bulunmuştur. ZnO öz direnç değeri ise 3,939×10<sup>3</sup> Ω.cm bulunmuştur. Sonuç olarak, 200K de üretilen 20 diyottan 15 tanesi diyot karakteristiği gösterirken bu sayı 300K için 20 diyotta 5 diyot olarak tespit edilmiştir.

**2019, 76 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Sol-Gel, Fiziksel Buharlaştırma Tekniği, Soğuk Altlık, Schottky Diyot.

## ABSTRACT

### DIODE PRODUCTION BY EVAPORATING Ag WITH COLD SUBSTRATE METHOD ON ZnO THIN FILMS GROWN VIA SOL-GEL METHOD AND CHARACTERIZATION

**Maher HAİDAR**

**Recep Tayyip Erdoğan University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Energy Systems Engineering  
Master Thesis**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER**

In recent years, ZnO thin films have been extensively used in piezoelectric, optoelectronic devices and photovoltaic cells. In this study, ZnO thin films were grown on glass and SnO<sub>2</sub> substrate by using Sol-gel method and rotating coating technique, a simple, low cost and high controlled a way. Again, Schottky diode was produced with the PVD cold pad method on ZnO thin film which was optimized by evaporating Ag at two different temperatures such as 200K (cold bottom) and 300K. The obtained thin films and Schottky diodes were characterized by XRD, SEM, Optical and Electrical measurements. From the XRD measurements, the peaks of ZnO (002), (100), and (101) were found to be at  $2\theta$  (31.77), (34.42) and (36.25) angles, respectively. The average particle size of the films is calculated as 25 nm. The optical transmittance of the films was found to be greater than 95% and the ZnO energy band values of the films coated on different substrates were calculated to be around 3.25-3.35 eV. Peaks of various types of defects were observed in different wavelengths from photoluminescence measurements. The barrier height and ideal factor values of Ag/ZnO Schottky diodes at 200K and 300K were found as 0.43eV; 15.60 and 0.15eV; 7.41 respectively. The series resistance values were obtained as 4.46 $\Omega$ ; 4.88 $\Omega$  and 3.65 $\Omega$ ; 4.78 $\Omega$  from two different methods, respectively. Carrier concentration from the C<sup>-2</sup>-V curve for 200K and 300K was found to be  $6.06 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  and  $4.05 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$  and Built-in Potentials (V<sub>bi</sub>) was obtained as 0.55V and 0.70V, respectively. The ZnO resistivity was found to be  $3,939 \times 10^3\Omega\cdot\text{cm}$ . As a result, 15 of the diodes produced in 200K showed characteristics of the diode, whereas this number is 5 diodes for 300K.

**2019, 76 pages**

**Keywords:** Sol-Gel, Physical Evaporation Technique, Cold Substrate, Schottky Diode.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Özeti .....	2
1.3. Kuramsal Temelleri .....	10
1.3.1. Yarı İletkenler .....	10
1.3.2. Yarı İletken Türleri .....	12
1.3.2.1. Katkısız Yarı İletken .....	13
1.3.2.2. Katkılı Yarı İletken .....	13
1.3.2.2.1. N-tipi Yarı İletken .....	13
1.3.2.2.2. P-tipi Yarı İletken .....	14
1.3.3. P-N Eklemi .....	15
1.3.4. Yarı İletken Eklemlerin Türleri .....	17
1.3.4.1. Aynı Tür Eklemler (Homo-Eklem) .....	17
1.3.4.2. Farklı Tür Eklemler (Hetero-Eklem) .....	18
1.3.5. Schottky Diyot .....	19
1.3.5.1. Schottky Diyot Türleri .....	20
1.3.5.2. Schottky Diyotun Enerji Bant Diyagramı .....	21

1.3.5.3.	İleri Besleme .....	22
1.3.5.4.	Ters Besleme.....	23
1.3.6.	Hall Olayı.....	24
1.3.7.	İndiyum Kalay Oksit (ITO) Özellikleri .....	25
1.3.8.	Gümüş (Ag) Özellikleri .....	26
1.3.9.	İnce Film Kaplama Yöntemleri .....	26
1.3.10.	Sol-gel Yöntemi .....	26
1.3.11.	Sol-Gel Aşamaları.....	27
1.3.12.	Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD).....	29
1.3.13.	ZnO Özellikleri .....	30
1.3.13.1.	Çinko Oksit Kristal Yapısı.....	31
1.3.13.2.	Çinko Oksit Optik Özellikleri.....	32
1.3.13.3.	Çinko Oksit Elektrik Özellikleri .....	33
1.3.14.	X-Işını Difraksiyonu .....	33
1.3.15.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	35
1.3.16.	UV-Spektrofotometre .....	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	38
2.1.	Altlıkları Hazırlanması ve Temizlenmesi .....	38
2.2.	ZnO Ön Çözeltisi (Sol) Hazırlanması.....	38
2.3.	Filmlerin Kaplanması .....	39
2.4.	Soğuk Altlık Tekniği ile Ag Kaplanması .....	41
3.	BULGULAR.....	43
3.1.	ZnO Filmlerin XRD Ölçümleri.....	43
3.2.	ZnO Filmlerin ve Schottky Kontakların SEM Analizi .....	45
3.3.	ZnO Filmlerin Optik Ölçümleri .....	49
3.4.	Ag/ZnO Schottky Diyotun Elektriksel Karakterizasyonu .....	54
3.5.	Diyotların Kapasitans Karakterizasyonu .....	61



4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	67
5.	ÖNERİLER.....	69
	KAYNAKLAR .....	71
	ÖZGEÇMİŞ .....	76



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Kovalent bağ oluşması diyagramı .....	10
Şekil 2.	İletken, yalıtkan ve yarı iletken malzemedeki valans ve iletim bandı .....	11
Şekil 3.	N-tipi yarı iletken oluşumu.....	14
Şekil 4.	P tipi yarı iletken oluşumu diyagramı .....	15
Şekil 5.	Pozitif ve negatif iyonları oluşumu .....	15
Şekil 6.	Diyot sembolü. ....	16
Şekil 7.	Diyottaki I-V eğrisi .....	16
Şekil 8.	P-N tipi yarı iletken birleştirmeden önce diyagramı. ....	18
Şekil 9.	P-N tipi yarı iletken birleştirmeden sonra diyagramı .....	19
Şekil 10.	Hetero-eklemde enerji diyagramı .....	19
Şekil 11.	Schottky diyot sembolü .....	20
Şekil 12.	Schottky diyodu I-V eğrileri.....	21
Şekil 13.	Schottky diyot enerji diyagramı. ....	22
Şekil 14.	İleri ve ters beslemede Schottky diyot enerji diyagramı .....	24
Şekil 15.	Hall etkisinin Basit bir levhasını gösterme.....	24
Şekil 16.	Sol-gel yöntem aşamaları .....	28
Şekil 17.	Buharlaştırma yönteminin şematik gösterilişi .....	30
Şekil 18.	ZnO 3 fazda bulunur; (a) Kayatuzu (Rocksalt), (b) Zinc blende ve vurtzit...32	
Şekil 19.	ZnO geçirgenliği ile dalga boyu özellikleri diyagramı .....	32
Şekil 20.	X ışının çalışma prensibi .....	34
Şekil 21.	Gelen X ışının atomların ile çarpması diyagramı.....	35
Şekil 22.	SEM mikroskop çalışma prensibi.....	36
Şekil 23.	UV Spektrometresi temel bileşenleri. ....	37
Şekil 24.	Çözelti malzemeleri ve manyetik karıştırıcının cihazı fotoğrafları.....	39
Şekil 25.	Kullanılan Sol-gel döndürme kaplama ve tavlama fırın cihazlarının fotoğrafları.....	40
Şekil 26.	Sol gel tekniğiyle ZnO ince film hazırlanmasının aşamaları. ....	40
Şekil 27.	Ag kaplamsında kullanılmış soğuk altlık tekniği cihazı. ....	41
Şekil 28.	Elde ettiğimiz Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> /Cam Schottky diyot ve mask fotoğrafları .....	42
Şekil 29.	Sodal cam ve SnO <sub>2</sub> altlıklar üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin X ışınları kırınımı desenleri. İç şekil cam üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin yakınlaştırılmış halidir. ....	44

<b>Şekil 30.</b> Sırasıyla SnO <sub>2</sub> ve cam altlıklar üzerine büyütülen Z2 ve Z3 numunelerinin; a) Z2 filmini x40000 büyütme, b) Z3 filmini x40000 büyütme c)Z2 filmini x5000 büyütme d)Z3 filmini x5000 büyütme e) Z2 filmini x2000 büyütme f) Z3 filmini x2000 büyütme SEM görüntüleri. ....	46
<b>Şekil 31.</b> SnO <sub>2</sub> ve cam altlık üzerine büyütülen Z2 ve Z3 numunelerinin 60° eğimle kesit SEM görüntüleri ve film tabaka kalınlıkları .....	47
<b>Şekil 32.</b> ZnO filmler üzerine soğuk altlık sıcaklığı 200K ve oda sıcaklığında 300K de eld edilen Schottky kontakların a) 200K x80000 büyütme b) 300K x80000 büyütme c) 200K x 5000 büyütme d) 300K x 5000 büyütme e) 200K x50 büyütme f) 300K x50 büyütme SEM görüntüleri.....	48
<b>Şekil 33.</b> Elde edilen 30C° deki ZnO ince filmlerin geçirgenlik-dalga boyu grafiği.....	50
<b>Şekil 34.</b> Elde edilen filmlerin $(ahv)^2$ değerlerine göre foton enerji $(hv)$ grafiği sayısında yasak enerji aralıklarının gösterimi. ....	51
<b>Şekil 35.</b> Elde edilen filmlerin $(ln\alpha)$ eğrilerine göre foton enerji $(hv)$ grafiği sayısında Urbach enerji gösterimi. ....	52
<b>Şekil 36.</b> Elde edilen filmlerin ışın şiddetine göre foton enerji dalga boyu grafiği sayısında Fotoluminesans gösterimi.....	53
<b>Şekil 37.</b> Elde ettiğimiz Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot enerji bant diyagramı.....	54
<b>Şekil 38.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> uçlarına gerilim uygulandığında numunenin fotoğrafı ve enerji bant diyagramı .....	55
<b>Şekil 39.</b> I-V karakteristikleri elde edilmesinde kullanılan cihaz .....	55
<b>Şekil 40.</b> Sol-gel ve Soğuk altlık tekniğiyle büyütülen Ag/ZnO Schottk diyotun 300K ve 200K Akım yoğunluğu-Voltaj karakteristiği.....	56
<b>Şekil 41.</b> 200K ve 300K sıcaklıklarda kontaklanan Ag/ZnO Schottky diyotun yarı logaritmik Akım yoğunluğu-Voltaj karakteristiği.....	56
<b>Şekil 42.</b> 200K sıcaklığında H(I), Dv/d ln(I) ile J akım yoğunluğu karakteristikleri. ....	58
<b>Şekil 43.</b> 300K sıcaklığında H(I), dv/d ln(I) ile J akım yoğunluğu karakteristikleri.....	59
<b>Şekil 44.</b> 200K, 300K sıcaklığında üretilen diyotların çift logaritmik I-V karakteristikleri.....	60
<b>Şekil 45.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot 200K sıcaklığında cihazının kapasite voltaj Karakteristikleri.....	62
<b>Şekil 46.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot 300K sıcaklığında cihazının kapasite voltaj Karakteristikleri.....	62
<b>Şekil 47.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot 200 ve 300K sıcaklığında cihazının kapasite voltaj karakteristikleri .....	62
<b>Şekil 48.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot 200K sıcaklığında cihazının kapasite voltaj karakteristikleri.....	63
<b>Şekil 49.</b> Ag/ZnO/SnO <sub>2</sub> Schottky diyot 300K sıcaklığında cihazının C <sup>-2</sup> -V kapasite Voltaj karakteristikleri.....	64

**Şekil 50.** Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 200, 300K sıcaklığında cihazının C<sup>-2</sup>V kapasite voltaj karakteristikleri ..... 65



## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> ZnO fiziksel özellikleri. ....	31
<b>Tablo 2.</b> Altlıkların üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin numunelerinin isimleri .....	43
<b>Tablo 3.</b> ZnO/SnO <sub>2</sub> filmleri için hesaplanan düzlemler arası mesafesi (d) ve tanecik boyutları (D) değerleri.....	45
<b>Tablo 4.</b> Elde ettiğimiz numunenin geçirgenliği, enerji bant aralığı ve Urbach enerjisi .....	54
<b>Tablo 5.</b> ZnO, Ag ışık fonksiyonu ve elektron afinitesi değerleri.....	55
<b>Tablo 6.</b> Elde ettiğimiz n, I <sub>0</sub> , R <sub>s</sub> , Φ <sub>b0</sub> ve N <sub>d</sub> sonuçları.....	60
<b>Tablo 7.</b> Ag/ZnO Cihazdaki C <sup>-2</sup> -V parametrelerin değerleri. ....	65

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy)
XRD	X-Isını Kırınımı (X-Ray Diffraction)
SEM	Tarama Elektrom Mikroskobu
FWHM	Yarı Maksimumdaki Pik Genişliği (Full Width at Half-Maximum)
PVD	Fiziksel Buhar Birikimi (Physical Vapor Deposition)
CVD	Kimyasal Buhar Birikimi (Chemical Vapor Deposition)
RF	Radio Frekans (Radio-Frequency)
TGA	Termogravimetrik Analiz (Thermo Gravimetric Analysis)
ITO	Kalay Katkılı İndiyum Oksit (Indium Tin Oxide)
IR	Kızılötesi (Infrared)
UV	Morötesi (Ultraviole)
ZnO	Çinko Oksit
Ag	Gümüş
MEA	Monoetanolamin
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı (Revolutions per minute)
$E_g$	Enerji Band Aralığı
E	Elektrik Alanı
J	Akım Yoğunluğu
$\rho$	Özdirenç
$\sigma$	Elektriksel İletkenlik
$R_s$	Seri Rezistansı
$\omega$	Açısal Frekans
R	Direnç
$\lambda$	Dalgaboyu
$\alpha$	Soğurma Katsayısı
T	Geçirgenlik
N	Kırılma İndisi
A	Soğurma
d	Kalınlık
D	Tanecik Boyutu

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Yaşadığımız teknoloji devrinde geliştirilen elektronik cihazların birçoğu nanoteknoloji bilimi üzerine inşaa edilmeye başlanmıştır. Nanoteknoloji, atomik ve moleküler ölçekte maddenin özelliklerini değiştirme imkânı sağlayan bir bilimdir. Nanobilim ve nanoteknoloji, kimya, biyoloji, fizik, malzeme bilimi ve mühendislik bilimleri gibi birçok alanda kullanılabilir. Nanobilim ve nanoteknolojinin ardındaki fikirler ve kavramlar, 29 Aralık 1959'da California teknoloji enstitüsünde, Caltech Amerikan Fizik Derneği toplantısında fizikçi Richard Feynman tarafından "Maddenin atomlarının dibinde derin bir ilim vardır" başlıklı bir konuşma ile başlamıştır. Fizikçi Berd Binnig ve Henrinc Rohrer tarafından 1981'de taramalı tünel mikroskopunun (SEM) geliştirilmesiyle, atomlar ve molekülerin fotoğraflarının çekilebilmesi, hareket ettirebilmesi ve yerlerin değiştirebilmesi imkânı doğmuştur.

Taramalı tünel mikroskopu kullanılarak kristal nikel (nickel) yüzeyinin üzerine ksenon (xeneon) kaynağından otuz beş kadar atom koyarak IBM şirketinin ilk reklamı yapılmıştır. Son yıllarda ince film kaplama tekniği, önemli nanoteknolojik uygulamalardan biri olarak meydana çıkmıştır. İnce filmler geniş yelpazede birçok alanda kullanılmaktadır. İnce film geçirgenliği, saydamlığı, iletkenliği, korozyona karşı direnme, yansıma direnci gibi özellikler verebilen bir kaplama tabakasıdır. Optiksel, elektriksel özelliklerinde ve uygulama çeşitliliğinden dolayı başta yarı iletken aygıt teknolojisinde olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmışlardır. Bu çalışmada ince film tekniklerinden biri olan Sol-gel yöntemi kullanarak altlığın üzerine çinko oksit (ZnO) biriktirilmiştir. Çinko oksit, yarı iletken ve piezoelektrik özellikleri gösteren önemli bir malzemedir. İnce film ZnO materyalleri elektronik, optik ve fotonik uygulamalarda üstün bir performans gösterdiğinden dolayı dikkatleri üzerine çekmiştir. Gaz dedektörleri, elektronik göstergeler ve (LED) mavi ışık yayan diyotların imalatı vb. gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Çinko oksit (ZnO), 3,37eV civarında geniş bant aralığına sahip olan ve periyodik tabloda II-VI grubunda yer alan bileşik bir yarı iletkendir. Oda sıcaklığında 60meV'lik yüksek eksiton bağlama enerjisine sahiptir. X-ışınları Kırınımı (XRD) ve Taramalı elektrom mikroskopu (SEM) cihazı kullanılarak kristal yapısı ve

morfolojik karakterleri önemli ölçüde tespit edilmiştir. Çinko oksit, Wurtzit (Wurtzite) yapıda doğal olarak kristallenir ve  $a = 3,249\text{\AA}$  ve  $c = 5,206\text{\AA}$  civarında örgü parametreleriyle altıgen bir yapıya sahiptir.

Sunulan bu tez çalışmasında, Sol-gel döndürme kaplama metodu ile hazırlanan çinko oksit (ZnO) ince filmlerin üstüne fiziksel buhar biriktirme soğuk altlık yöntemiyle gümüş malzemesi (Ag) buharlaştırılmıştır. Üretilen Schottky diyotun morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir.

## 1.2. Literatür Özeti

Zhang vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada, ZnO ince filmin pulsed laser tekniği kullanarak altlığı (SnO<sub>2</sub>) üzerine 500nm kalınlığında biriktirmişlerdir. Elde edilen filmin üstüne püskürtme yöntemiyle 50nm kalınlığını ile gümüş tabakası biriktirerek Ag/ZnO Schottky diyot elde edilmiştir. Elde edilen filmdeki oksijen boşlukları ve morfoloji yüzeydeki bazı kusurları nedeniyle Ag biriktirme işlemi zor bir şekilde gerçekleştirmiştir. Monokromatik (1,542Å) DX2500 XRD cihazı kullanılarak ZnO 'nun kristal yapısını (002) tercihli yönelimli olduğu ve c eksini doğrultusunda altlık yüzeyine büyümüş wurtzit yapısında olduğu gösterilmiştir. Elektriksel özelliklerine göre oda sıcaklığının altında ters doyma akımı  $10^{-10}\text{A}$ , Schottky bariyer yüksekliği 0,6-0,8eV civarında bulunmuştur. Elektriksel özelliklerine yüzey kusurlarının, biriktirme tekniğinin ve şartların etki ettiğini göstermişlerdir.

Ahmed vd. (2018), katkısız ve Seryum katkılı ZnO'ya, Schottky diyotları, nano küreler oluşturacak şekilde kimyasal banyo çökeltme tekniği kullanılarak ITO altlık üzerinde imal etmişlerdir. XRD sonuçları, sentezlenen örneklerin, ITO altlığa dik büyütülen yüksek derecede kristallenmiş ve nano çubuklardan oluşan bir yapıyı ortaya çıkarmıştır. Ayrıca ZnO ve ITO haricinde başka hiçbir pik gözlenmemiştir. ZnO'nun kristal yapısının wurtzit bir şekilde olduğu belirtilmiştir. Optik sonuçlardan elde edilen ZnO'nun enerji bant aralığı, Ce'nin oranı artması ile artığı belirlenmiştir. Oda sıcaklığında Schottky diyotların I-V ölçümleri alınarak elektriksel karakterizasyonu yapılmış ve elektriksel parametreleri belirlenmiştir. Schottky diyotların rektifikasyon davranışı,



Schottky bariyer yüksekliği ve idealite faktörü sırasıyla 0,856eV ve 1,34 olarak %10 Ce katkılı ZnO için en iyi değerler olarak belirlenmiştir.

Keskenler vd. (2013), yaptıkları çalışmalarında Ag/n-ZnO/p-Si/Al hetro eklem sandiviç yapısını Sol-gel kaplama tekniği ile üretmişlerdir. XRD cihazı sonuçlarından, ZnO Filmlerin, alt tabakaya dik olan baskın (002) tercihli doğrultuda altıgen vurtzit yapısı sergililediği tespit edilmiştir. Ayrıca, düşük pik yoğunluğuna sahip olan (103) doğrultusunda bir pik gözlemlenmiştir. ZnO'nun kristal taneciklerinin büyüklüğü (D) 31,4nm olarak hesaplanmıştır. Numunenin c ve a kafes sabitleri sırasıyla 5,306 ve 3,353 Å bulunmuştur. Cam altlığın üzerinde büyütülen ZnO ince filminin enerji bant aralığı 3,27eV olarak bulunmuştur. Diyot bariyer yüksekliği ve ideal faktör değerleri sırayla 0,71 eV ve 2,03 olarak bulunmuştur. Elektriksel ölçümler  $dVd - (\ln I)$  ve  $H(I) - I$  eğrilerinden seri direnç değerleri sırasıyla 42,1 ve 198,3Ω olarak bulunmuştur. İdeal faktörü 1'den daha büyük olursa diyotun ideal olmadığı belirtilmiştir.

Al-Jawad vd. (2018), katkısız ve Ag katkılı Çinko oksit ince filmlerini Sol-gel Spin-kaplama işlemleri ile hazırlamışlardır. Saf ve %2-8 Ag içeren Ag-ZnO filmler, 2 saat boyunca 500C° 'de tavlannmıştır. Tüm ince filmler taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), UV-görünür spektroskopisi ve X-ışını difraksiyonu (XRD) ile incelenmiş ve karakterize edilmiştir. X-ışını difraksiyonuna göre katkısız ve Ag katkılı ZnO filmleri altıgen vurtzit polikristal yapısı göstermiştir. Kristal boyutunun hazırlanan örneklerin Ag katkı konsantrasyonlarının artırılması ile azaldığı bulunmuştur. Dalga boyları 300-1000nm arasında yapılan geçirgenlik spektrumları ölçümlerinde üretilen filmler, görünür bölgede yüksek geçirgenlik sergilemiştir. Optik enerji bant aralığı elde edilen filmlerde Ag konsantrasyonu arttıkça azalmıştır.

Zakhvalinskii vd. (2016) tarafından Al/Ag/p-Si(100)/PS/ZnO/Ag/Al ve Al/Ag/p-Si(100)/PS/ZnO/SiC/Ag/Al hetero-eklemlerinin özellikleri incelenmiştir. ZnO filmler Sol-gel yöntemiyle gözenekli silisyum üzerine biriktirilmiş ve SEM, XRD gibi ölçümler kullanılarak yapısal özellikleri belirlenmiştir. ZnO kristal yapısının altıgen hexagonal olduğu ve kristal sabitlerinin  $a=3,253\text{Å}$ ;  $c=5,207\text{Å}$  değerlerinde olduğu gösterilmiştir. ZnO-Si hetero-eklemlerine (SiC) Silisyum karbür tabakası ekli ve ekli olmayacak şekilde,

ileri ve ters beslem akım değerleri için iki hetero-eklem arasındaki elektriksel farklar tespit edilmiştir ve SiC'lü eklem daha iyi değerleri olduğu sonucuna varılmıştır.

Küçükömeroğlu vd. (2018), tarafından yapılan çalışmada, ZnO ince filmi SnO<sub>2</sub> kaplı cam altlığın üzerine basit bir spre y piroliz yöntemi kullanılmasıyla biriktirilmiştir. SEM ve XRD sonuçlarından ZnO çubukların altıgen kristal yapısında olduğu görülmüştür. Ag/ZnO Schottky diyot doğrultucu (rektifikasyon) davranışı, tavlama sıcaklığı'na bağlı olarak açıkça görülmüştür. İdealite faktörü ve bariyer yüksekliğinin değerlerinin de sıcaklığa bağlı olduğu görülmüştür.

Kumar vd. (2016), tarafından çinko oksit ince filmler P-Si altlığın üstüne pulsed lazer tekniğiyle büyütülmüştür. X-ışını kırınım modelleri, film taneciklerinin büyüklüğü ve kristal yapısını incelemek için kullanılmıştır. Filmlerin optik özellikleri UV-görünür spektroskopisi ile incelenmiştir. Deneysel gözlemler, elde edilen filmlerin görünür bölgede keskin emisyon potansiyeline sahip olduğunu doğrulamıştır. Yüksek saflıkta (%99,99) alüminyum metali vakum ortamında N-ZnO ve P-Si ile kontak yapmak için buharlaştırılmıştır. Al/n-ZnO/P-Si(100)/Al hetero yapılarının akım-voltaj karakteristikleri 60–300K sıcaklık aralığında, termoiyonik emisyon mekanizması temelinde incelenmiştir. Schottky bariyer yüksekliği ve diyot ideal faktörü, ölçülen akım-voltaj verilerinin termoiyonik emisyon difüzyonu üzerinden 0,55eV ve 1,6 olarak belirlenmiştir. Bariyer yüksekliğinin ve ideal faktörünün düştüğünü sıcaklığı düşürmesiyle gözlenmiş. Oluşturulan N-tipi ZnO filmlerindeki safsızlık konsantrasyonu ölçülen kapasite voltaj verilerinden hesaplanmıştır.

Rakhshani (2008), çalışmasında ZnO filmi Si altlığın üzerine kaplamıştır. Elde edilen filmlerin yüzeyine yüksek kaliteli Ag kontağı yaparak Schottky diyot üretmiştir. Yüksek bariyer yüksekliğine 1,2eV, düşük doyma akımı yoğunluğuna 1,3 Pa/cm<sup>2</sup> ve yüksek rektifikasyon faktörüne (5×10<sup>6</sup>±3V) sahip diyotlar elde edilmiştir. Oksijen ile işlenmiş mikro çubuklardaki serbest elektronların konsantrasyonu ve hareketliliği sırasıyla 1,4×10<sup>14</sup>cm<sup>-3</sup> ve 1,2cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.

Singh vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada, İndiyum Tin Oksit (ITO) kaplı cam yüzeylerde büyütülen (ZnO-NRs) ZnO nano çubukları ile Ag Schottky kontakların

özellikleri araştırılmıştır. ZnO kristalinin büyümesi için düşük sıcaklıklı hidrotermal yöntemi kullanılmıştır. Maske tekniği kullanılarak ZnO-NRs/ITO numunelerin üzerine Ag dairesel kontaklar yapılmıştır. ZnO yapısal özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve X-ışını kırınımı (XRD) kullanılarak karakterize edilmiştir. Sonuçta; (002) yönelimli vurtzit altıgen kristal yapısı tespit edilmiştir. Ag/ZnO Schottky kontaktların elektriksel özellikleri, karanlık ve UV ışınlama altında ileri beslemde 0 -1V aralığında incelenmiştir. Karanlık ve ışık altında akım değerleri sırasıyla  $1,29 \times 10^{-5}$  ve  $2,16 \times 10^{-5}$  A ölçülmüştür. Sonuç olarak bu aygıtın düşük maliyetli ve düşük voltajlı UV tespit uygulamaları için faydalı olabileceği gösterilmiştir.

Singh vd. (2011), çalışmalarında ZnO tabakalarının Hidrojen Peroksit ön işlemiyle Au/N-ZnO kontak yapısında omik davranıştan doğrultucu davranışa dönüşüm gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Temizlenmiş ZnO tabakanın üzerine Au kontağı biriktirerek, 5 V'lık bir ters gerilim altında  $6 \mu\text{A}$ 'lık yüksek bir kaçak akımı ölçülmüştür. ZnO film tabakaların her biri  $100^\circ\text{C}$  altında tavlansak 3 dakika boyunca hidrojen peroksit ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ile işlenmiştir.  $\text{H}_2\text{O}_2$  işlemine maruz bırakılan tabakalar, 5V'lık ters gerilim altında  $2 \times 10^{-9}$  A'lık kaçak akım ile en iyi doğrultucu davranışı göstermiştir. Schottky diyot için, akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden hesaplanan bariyer yüksekliği ve ideal faktörü sırasıyla 0,85eV ve 3,3 değerleri olarak elde edilmiştir. ZnO yüzeyindeki OH konsantrasyonunun azaltılmasıyla, ZnO yüzey iletkenliği azaltılmıştır. Dolayısıyla Au/ZnO Schottky diyot elektriksel davranışında iyileşmeye yol açtığı tespit edilmiştir.

Mayes vd. (2012), yaptıkları bir çalışmaya göre darbeli lazer biriktirme tekniği kullanarak N-tipi ZnO tek kristal tabakasının üstünde oksidize iridyum ( $\text{IrO}_x$ ) anotları üretmişlerdir. Homojen ara yüzlere bağlı olarak bariyer yüksekliği ve idealite faktörü 0,85eV ve 1,05 değerlerine sahip olan yüksek kaliteli Schottky engeller üretmişlerdir. ZnO Schottky kontaktları, transmisyonlu elektron mikroskobu (TEM) kullanılarak analiz edilmiş ve 2-3nm kalınlığında amorf ara yüzey tabakası barındırdığı ortaya çıkarılmıştır.  $\text{IrO}_x$  tabakasına doğru yönelerek ara yüzdeki Zn atomları büyük bir difüzyon oluşturmuştur. Ayrıca,  $\text{IrO}_x$  biriktirme sayesinde, ortamdan kaynaklanan aktif bir oksijen ara yüzeyde oluşturulmuştur.

Zhu vd. (2015), çalışmalarında ZnO ince filmleri, ITO cam üzerine RF-magnetron ile püskürtülerek büyütülmüştür. Ag/ZnO/ITO Schottky diyotları üretilmiş ve diyotların iyi bir doğrultma sergilediği gözlenmiştir. ZnO filmlerin yapısal ve optik özellikleri X-ışını difraktometresi ile incelenmiştir. Ag/ZnO diyotunun akım-voltajı (I-V), çeşitli frekanslarda ışınlama altında ölçülmüştür. İdealite faktörü, bariyer yüksekliği ve diyotun seri direnci gibi elektriksel parametreleri belirlemek için düz beslem akım-gerilim ölçümleri kullanılmıştır. Bariyer yüksekliğinin ve ideal faktörü değerlerinin aydınlatma yoğunluğu ile güçlü bir ilişkisi tespit edilmiştir. Sonuç olarak, idealite faktörü ve bariyer yüksekliği aydınlanma yoğunluğunun artmasıyla azaldığı gösterilmiştir. Cheung ve Norde yöntemlerinden elde edilen seri direnç (Rs) değerleri aydınlatma yoğunluğu arttıkça azalmıştır. Diyotun yanıt verebilme özellikleri analiz edilmiş ve diyotun hızlı bir tepki gösterdiği belirtilmiştir. Hazırlanan diyotların optoelektronik aygıtlar olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Karataş vd. (2018), Rutenyum (Ru) katkılı nanoyapılı ZnO filmleri Sol-gel spin kaplama yöntemi ile hazırlamıştır. Katkısız ve Ru katkılı ZnO filmler ince tabakası (Fiber) olarak oluşturulmuştur. Katkısız, %0,1 ve %0,5 Ru katkılı ZnO filmlerin optik bant aralıkları sırasıyla 3,31, 3,30 ve 3,29 eV olarak bulundu. Katkısız ve katkılı ZnO/p-Si hetero yapı diyotlarının elektriksel özellikleri incelenmiştir. Akım-voltaj (I-V) ölçümlerini karanlık ve görünür ışık aydınlatmalarının altında alınmıştır. Diyotların ara yüzey tabakası ve seri direnci nedeniyle ideal olmayan bir I - V davranışı sergilenmiştir. Aydınlatma koşullarında farklı metotlardan elde edilen ideali faktörleri, bariyer yükseklikleri ve seri dirençleri gibi elektriksel parametreleri belirlenmiştir. %0,1'lik Ru katkılı ZnO'ya sahip olan diyot, 100 MW/cm<sup>2</sup> ışık altında en yüksek değer olan 7,75 × 10<sup>3</sup> Ω luk seri direnç değeri sergilemiştir. Elde edilen sonuçlara göre Ru katkısı ile ZnO diyotların ışığa karşı duyarlılık ve elektriksel özellikleri geliştirilebilmiştir.

Polyakov vd. (2006), çalışmasında, elde edilen katkısız ZnO kristalleri için öz direnç değerini 5 × 10<sup>4</sup> - 3 × 10<sup>5</sup> Ω-cm, elektron konsantrasyonunu n = 10<sup>14</sup> cm<sup>-3</sup>, elektron hareketliliğini 130-150 cm<sup>2</sup>/Vs olarak göstermiştir. Dirençteki değişimin numunelerde mevcut olan Li katkısının termal dengesizliğiyle ilişkili olabileceği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca 77-300K sıcaklık altında gerçekleştiren deneysel gözlemler ise sıcaklığın

azaltılmasıyla özdirenç değerinin artacağı ve elektron hareketliliği ile elektron konsantrasyonunun azalacağı gösterilmiştir.

Wang vd. (2012), N-tipi ZnO ince filmleri RF püskürtme yöntemi kullanarak vakum ortamında yüksek sıcaklıkta tek kristal Si (111) üzerine büyütmüşlerdir. XRD ve SEM cihazlarından elde edilen bulgulara göre ZnO kristal yapısının c eksenine yönelmiş olarak büyüdüğü, ZnO'nun yüzeyinin ise pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı biriktirme koşullarında, ZnO ince filmin, Kuvars cam yüzey üzerine dikey mimaride Al/ZnO/Ag Schottky diyotu imal edilmiştir. Schottky özellikleri UV ışınlama altında ve karanlıkta akımı-voltaj, kapasite-voltaj ölçümleri ile araştırılmıştır. Oda sıcaklığında test sonuçları Ag ve ZnO arasında iyi bir Schottky davranışı olduğunu göstermiştir. I-V ve C-V ölçümlerinden elde edilen etkin bariyer yüksekliğinin sırasıyla 0,53; 0,60eV olduğu belirlenmiştir. Yük taşıyıcı yoğunluğu  $3,1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. İdeal faktörünün değeri 12,6 olarak bulunmuştur. 3V ileri besleme altında, karanlık akım değeri 24,19mA çıkmıştır. Yine 3V ileri beslemede, dalga boyu 365nm olan monokromatik ışık kullanarak yapılan aydınlatma altında akım 27,47mA değerine ulaşmıştır. Elde edilen Al/ZnO/Ag Schottky diyotun önemli elektriksel özelliklere sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Zakrzewski vd. (2015), Atomik tabaka biriktirme tekniğiyle 80C° sıcaklıkta 100nm kalınlığında ZnO ince filmlerini cam altlık üzerine biriktirmişlerdir. Elde edilen ZnO filmlerin yüzeyine 1,25 ile 7,5nm arasında değişen bir kalınlıkta 135C° 'de HfO<sub>2</sub> (Hafniyum dioksit) ince tabakası kaplanmıştır. Daha sonra Ti/Au omik ve Ag Schottky olacak şekilde ZnO/HfO<sub>2</sub>/Altık üzerinde kontak yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyle ilgili hesaplamalar, ince bir HfO<sub>2</sub> filminin ZnO Schottky bağlantısının metalik elektrotları altında oluşan atmosferik etkiden ZnO yüzeyini koruduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte HfO<sub>2</sub> tabakasının kalınlığı 2,5nm olduğunda seri direnç değerini azalttığı belirlenmiştir. İdealite faktörü, bariyer yüksekliği sırasıyla 1,5 ve 0,7eV olarak bulunmuştur.

Fan ve Freer (1995), Zn elektriksel özellikleri üzerine Ag ve Al katkılarının etkileri üzerine çalışmışlardır. Dört ZnO bazlı seramik numuneler (referans numuneler-ZNR, alüminyum katkılı (AL), gümüş katkılı (AG), alüminyum ve gümüş katkılı (AA)) Al ve

Ag katkısı ile hazırlanmıştır. Akım -voltaj (I-V) karakteristikleri ise akım yoğunlukları  $\text{mA.cm}^{-2}$  'e kadar ulaşmıştır. Akım yoğunluğu ve uygulanan elektrik alan arasında doğrusal olmayan katsayı değerleri sırasıyla 38, 60, 22 ve 56 tespit edilmiştir. Al katkılı ZnO film yük yoğunluğu arttığı, seri direnç değerinin azaldığı ve I-V özelliklerinin iyileştiği ancak ZnO yapısının kararlılığının bozulduğu belirlenmiştir. Buna karşılık Ag katkılı ZnO film yük yoğunluğu azaldığı, seri direnç değerinin arttığı, I-V özelliklerinin iyileştiği ve ZnO kararlılığında iyileştiği belirlenmiştir. Sonunda AA isimli Ag ve Al katkılı ZnO filmlerin en iyi özelliklere sahip olduğu bulunmuştur.

Liang vd. (2011), tarafından yapılan çalışmada üretilen Schottky diyotun UV foto-dedektör aygıt sonuçları sunulmuştur. ZnO filmleri, safir altlığın üzerine metal organik kimyasal buhar biriktirme ile büyütülmüştür. Metal yarı iletken-metal (MSM) foto-dedektör olarak bilenen Schottky kontak metali olarak Ag kullanılmıştır. Karşılaştırma için, Al omik kontaklı ZnO foto iletken dedektörler üretilmiştir. 1V'lik bir ters beslemede, Schottky foto-diyot, foto-iletken ile karşılaştırıldığında yaklaşık 5 kat daha küçük bir kaçak akım sergilemiştir. ZnO Schottky tipi (MSM) UV dedektörün 5V ön gerilimde foto özelliği 1,5A/W ve kaçak akım değeri yaklaşık 1nA'dır. Dedektör, 12ns'lik bir yükselme süresine ve 50ns'lik bir düşme süresine sahip olan hızlı bir bileşen olduğunu göstermiştir.

Gençyılmaz vd. (2013), ZnO filmleri 300C° sıcaklıktaki cam altlığın üzerine ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanarak hazırlamışlardır. Katkılı filmler 350, 450, 550C° sıcaklıklarda 2 saat süre ile tavlansmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ZnO filmlerinin optik, elektrik ve yüzey özellikleri üzerine tavlama sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Filmlerin ortalama geçirgenliği görünür aralıkta %60'ın üzerindedir. En düşük özdirenç değeri  $2,13 \times 10^{-3} \Omega.\text{cm}$  olarak 550C° tavlama sıcaklığı altında belirtilmiştir. Sonuçlar, tavlama sıcaklığı arttığında özdirencin azaldığını göstermiştir. Belirlenen kırılma indisi, tavlama sıcaklığı arttıkça azalmıştır. Ortaya çıkarılan pürüzlülük, tavlama işlemiyle dikkat çekici şekilde arttırılmıştır. Filmlerin enerji bant aralıkları 3,24-3,27eV arasında bulunmuştur. Elde edilen tavlansmış filmlerin, oda sıcaklığında Fotoluminesans spektrumları, bant aralığının yakınında kusur bağlantılı emisyonlara sahip olduğunu göstermiştir.

Sorar vd. (2008), bir çalışmasında Sol-gel kaplama yöntemiyle hazırlanan katkı ve katkısız ZnO ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Isıl işlem sıcaklığı olarak 100, 250, 350 ve 550°C 'de ısıl işlem uygulanan bütün ZnO filmlerin 400-1000nm dalga boyu aralığında oldukça yüksek geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. Isıl işlem sıcaklığının etkisi daha çok 300-400nm dalga boyu aralığında kendini göstermiştir. Bu bölgedeki farklı davranış yarı iletken malzemelerde görülen eksiton soğurulmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. XRD sonuçlarından 350°C'ye kadar olan sıcaklıklarda filmler amorf olup, 550°C 'de ise kristal yapıda oldukları görülmüştür. Aynı şekilde, hesaplanan yasak bant aralıklarının da 3,3eV olduğu görülmektedir. AFM ölçümlerinden de filmlerin oldukça pürüzsüz yüzey morfolojisine sahip oldukları bulunmuştur. Bu çalışmada Al, Ga ve Si ile katkı ve katkısız ZnO filmlerin Sol konsantrasyonu ve katkılanmış malzemelerin farklı oranı ile yapısal, optik ve elektriksel özellikleri üzerinde etki sebepleri belirlenmiştir.

Temel vd. (2017), ZnO ince filmleri Sol-gel döndürerek kaplama tekniği kullanarak cam altlığın üzerine büyütmüşler ve elde edilen ince filmleri farklı sıcaklıklarda hava ortamında tavlamaşlardır. Döndürerek kaplama tekniğinin parametreleri değiştirilerek üretilen ince filmlerde en iyi kristalleşmeyi gösteren şartlar X-Işını Kırınımı (XRD) ile belirlenmiştir. Bu özellikleri ile en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin 9 katmanlı, 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C de tavlanan filmler olduğu belirlenmiştir. ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece parçacıkların birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. Filmlerin optik özelliklerine göre, oda sıcaklığında elde edilen temel absorpsiyon spektrumlarından yararlanılarak ince filmlerin yasak enerji aralığının 3,33eV olduğu bulunmuştur. Filmlerin optik geçirgenlik spektrumları incelendiğinde de geçirgenliğin görünür bölgede %85–90 civarında olduğu belirlenmiştir. Bu geçirgenlik değeri de ZnO'nun saydam iletken oksit yapısı ile örtüşmektedir.

Keskenler vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada yüksek kaliteli saydam indiyum katkı ZnO (IZO) ince filmler, Sol-gel spin kaplama yöntemi ile cam altlığın üzerine çökeltilmiş ve bunların yapısal, morfolojik ve optik özellikleri incelenmiştir. Kristal yapıya ait tercihli yönelime sahip en şiddetli pik değeri (002) düzlemine ait

olmasına rağmen, (004, 100, 101, 102, 103, 110, 112) gibi başka yönelimlere ait piklerde gözlemlenmiştir. Tüm kırınım pik şiddetlerinin yoğunluğu indiyum katkı oranının artırılması ile azalmıştır. SEM görüntüleri ise, elde edilen film yüzeylerinin morfolojilerinin, indiyum katkısından etkilendiğini göstermiştir. Katkı konsantrasyonunun %0,5'ten %2,0'ye artırılması IZO filmlerinin tane boyutlarını azaltmıştır. Üretilen Filmlerin elde edilen sonuçları için standart ve hesaplanan değerler arasında neredeyse hiçbir fark çıkmadığı belirlenmiştir.

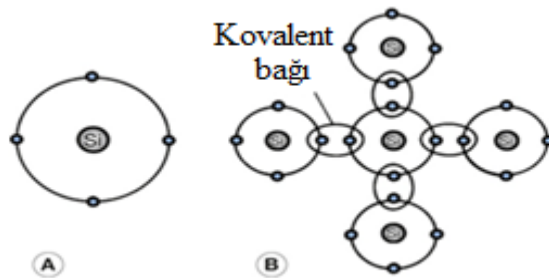
### 1.3. Kuramsal Temelleri

#### 1.3.1. Yarı İletkenler

Malzemeler, elektrik iletkenliğine göre 3 gruba ayrılabilir (Harper, 2003). Yarı iletkenler, oda sıcaklığında  $\rho=10^{-3}$ 'den  $10^{12}\Omega.cm$  kadar öz dirençleri olan malzemelerdir (Askeland vd., 2006). Yarı iletkenlerde dolu valans bandı ile boş iletkenlik bandı arasındaki yasak enerji aralığı  $\sim 5eV$ 'tan küçüktür.

Yarı iletkenlerin bazıları bileşik örneğin çinko oksit "ZnO", bakır oksiti "CuO" bazıları da element örneğin germanyum "Ge", silisyum "Si" olabilir. Yarı iletkenlerin atomlarının son yörüngelerinde 4 elektron bulunduğu için periyodik çizelgenin 4. Grubunda yer almıştır (Akat, 2012).

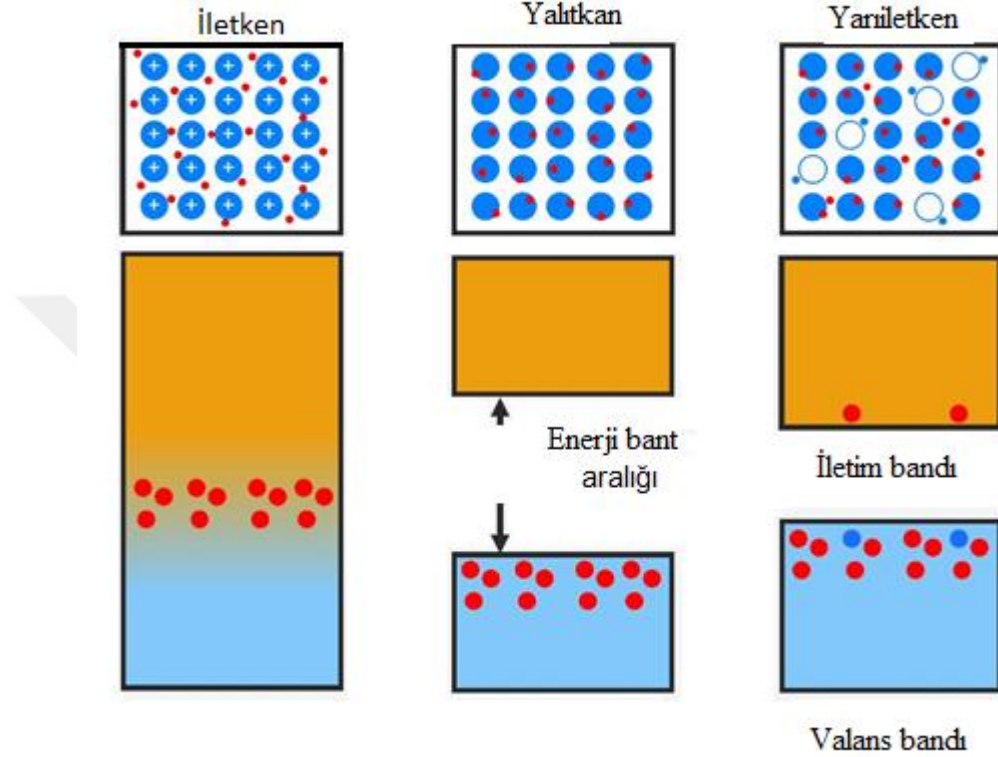
Silisyum ya da Germanyum son yörüngelerindeki atomların elektronları komşu atomların 4 elektronuyla bağ kurarlar. Şekil 1'den de görülebileceği üzere bu tarz bağlara kovalent bağ denir. Dolayısıyla kristal yapıyı oluştururlar (URL-1).



**Şekil 1.** Kovalent bağ oluşması diyagramı (URL-1).



İletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler arasındaki fark, atomun içindeki enerji seviyelerin üzerinden açıklanabilir.  $T=0K$ 'de elektronlarla tam doldurulan enerji seviyeye valans bandı denir. Valans bandının üstündeki ilk boş enerji seviyesine ise iletim bandı denir (Özcan, 2014). Şekil 2'de malzemedeki valans ve iletim bandı gösterilmiştir.



**Şekil 2.** İletken, yalıtkan ve yarı iletken malzemedeki valans ve iletim bandı (Özcan, 2014).

Elektronik bant, bir elektronun malzemede kaplayabileceği potansiyel enerjisinin veya durumların bir göstergesidir. Metallerdeki elektronlar atomlara zayıf bir şekilde bağlıdır. Bu nedenle, iyi elektrik iletimi sağlayan metallerde serbest elektronların bir okyanusu vardır denilebilir. Metaller, elektronlarla tam olarak doldurulmayan geniş bir elektronik band'a sahiptir ve yasaklanmış enerji seviyeleri yoktur. Metallerdeki elektronlar serbest ve hareketlidir (URL-2). Yalıtkanlarda da valans ve iletim enerji seviyeleri arasında çok büyük bir enerji boşluğu vardır. Doldurulmuş valans seviyelerinden boş iletim seviyelerine kadar elektronları hareket ettirmek için oda sıcaklığında yeterli enerji yoktur. Dolayısıyla yalıtkindaki elektronlar hareket edemez ve elektrik iletmezler. Yarı iletkenler, metaller ve izolatörler arasında orta düzeydedir. Elektronların dolu valans bandı ile boş iletim bandı arasında bir yasak enerji aralığı vardır,

ancak bu aralık yalıtıkandakinden daha azdır, dolayısıyla elektronlar termal enerji ile veya 400nm 'den daha büyük bir dalga boyuna sahip ışık ile daha üst enerji bandına hareket edebilir ve elektrik akımı sağlar (Uguz, 2016).

Teknoloji devrimine sebep olan yarı iletkenlerin keşfi tüm entegre devrelerin ve mikro işlemcilerin temelini oluşturmuştur. Ayrıca yarı iletkenlerin elektriksel özellikleri; optiksel uyarılma, katkılandırma, ısı işleme uygulaması gibi yöntemler ile değişebilir. Bu nedenle yarı iletken malzemeleri transistör, anahtar, diyot, dedektör, termistör, sensör ve gibi birçok aygıt yapımında kullanılmaktadır. Yarı iletken optoelektronik aygıtların kapsamı genel olarak ışığın üretimi, algılanması, yükseltilmesi, modülasyonu, ışık-enerji dönüşümüne dayalı olup ışık yayan diyotlar, yarı iletken lazerler, güneş hücreleri, fotodedektörler, optik yükselteçler, optoelektronik tümleşik devreleri, optoelektronik aygıtların temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Yarı iletken iki türe bölünmektedir (URL-3).

### **1.3.2. Yarı İletken Türleri**

Yarı iletken iki gruba sınıflandırılabilir:

- Katkısız (saf) yarı iletken
- Katkılı yarı iletken

Saf yarı iletkenler kusur içermeyen ideal duruma yakın kristalografik sergileyen malzeme grubudur. Atomlar ve onların elektronları bulunmaları gereken ideal durumda olduklarından dolayı iletim zordur ve kötü elektriksel iletkenliğe sahiptirler. Aynı sayıda negatif ve pozitif yük taşıyıcısına sahiptirler. Katkı işlemi ile saf yarı iletken malzemesine az miktarda farklı bir malzemedan eklenebilir. Dolayısıyla yarı iletkenin elektriksel özelliklerini değiştirir. Bu işlem ayrıca iletkenliği artırabilir. Katkı işlemi iki grup yarı iletken oluşturur.

- a) Negatif yük taşıyıcılı yarı iletkenler veya (N-tipi)
- b) Pozitif yük taşıyıcılı yarı iletkenler veya (P-tipi) (Fiore, 2008).

### **1.3.2.1 Katkısız Yarı iletken**

Kimyasal bakımdan saf olan katkısız yarı iletken malzemelerdir. Yarı iletken mutlak 0K sıcaklığında yalıtkan gibi davranır. Ama ısı, ışık, manyetik alanın etki altında bırakıldığında veya gerilim uygulandığında elektronlar valans bandından iletkenlik bandına geçer. Yani elektronların aldığı enerji yasak enerji değerine ulaşırsa elektronlar valans bandından kopar iletkenlik bandına geçer. Boşluk /hole, elektronun yüküne karşı zıt işaretli ve aynı değere sahip olduğu bilinmektedir. Valans bandında olan bu boşluklar, aynı banttaki başka elektronlar tarafından doldurulur ve yer değişen elektronlar yeni boşluklara oturmuş olurlar. Böylelikle boşluk hareket etmiş olur. Elektronlar ve boşluklar bu şekilde serbest yük taşıyıcısı gibi davranarak elektriksel iletkenliğe katkı sağlamış olurlar (Kasapoğlu, 2014).

Katkısız yarı iletkenlerin elektriksel özelliklerinden iyi bir şekilde yararlanılmaz çünkü elektronlar ve boşlukların sayısı aynıdır. Dolayısıyla valans banttaki elektronlar iletkenlik bandına taşınmak için yeterli enerji sağlanmalıdır. Ancak eğer serbest taşıyıcı varsa elektronlar ve boşlukların hareketi daha kolayca olabilir. Bu bakımdan katkılı yarı iletken (Doped semiconductor) düşüncesi meydana getirilmiştir (Yacobi, 2003).

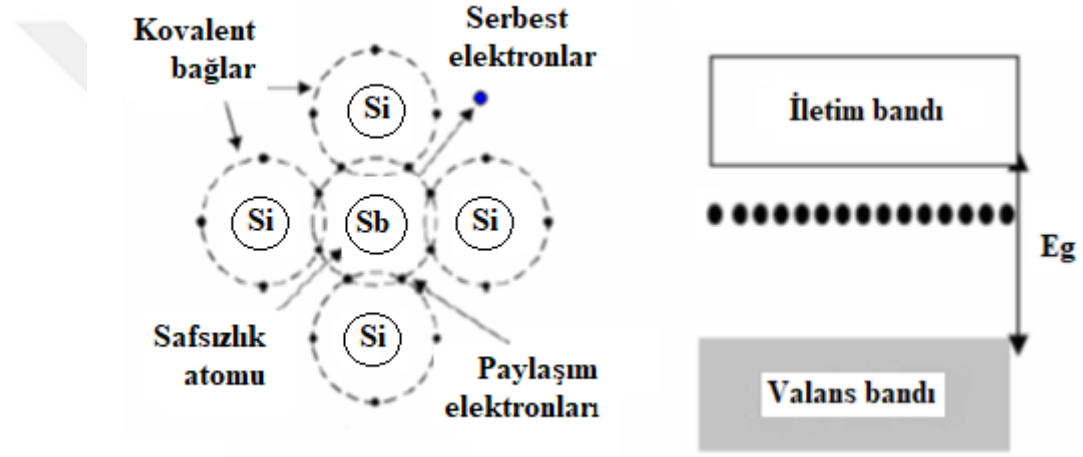
### **1.3.2.2. Katkılı Yarı İletken**

Yarı iletken malzemesi safken, elektriksel iletkenlik bakımından yetersizdir. Bu sebeple malzemedeki elektronlar ya da boşlukların konsantrasyonunun değiştirilmesi düşüncesi ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla yasak bant enerjisinin değeri değiştirilebilecektir. Yarı iletkenin içine istenilen özelliklere göre bir takım katkı atomları eklenerek iletkenlikleri artırılmaktadır. Katkılanmış yarı iletken malzemeler iki gruba ayrılmaktadırlar (Yacobi, 2003).

#### **1.3.2.2.1. N-tipi Yarı İletken**

Son yörüngesinde 4 elektron içerdiği Silisyum ya da Germanyumun içine katkılanarak son yörüngesindeki 5 elektron bulunan Arsenik (As) ya da Fosfor (P), Antimon (Sb) maddesi eklendiğinde, Arsenik, 4 elektrona sahip olan Silisyumun

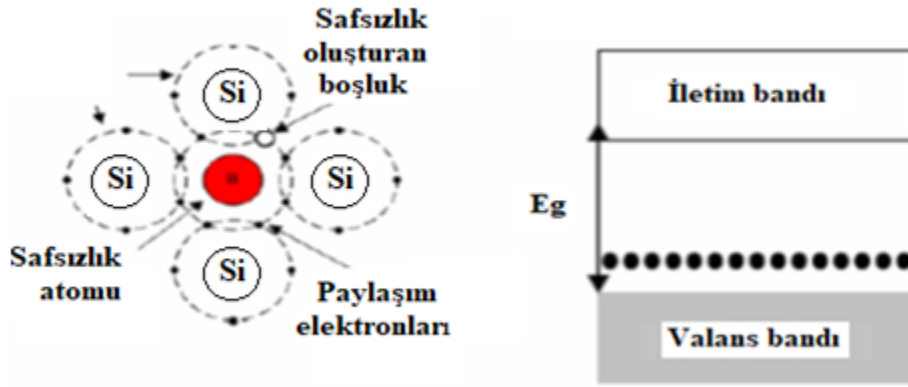
elektronlarıyla kovalent bağ yapar. Bir elektron ise boşta kalır. Dolayısıyla serbest hale geçen Arseniğin beşinci fazlalık elektronu, kristal yapıdaki maddenin içinde dolaşır. Elektron yönünden zengin olan bu yapıya N-tipi yarı iletken denir. Kristal yapının içine elektron veren maddenin elektronun yeri pozitif (+) yüklü iyonun durumuna geçer. Serbest halde dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir. N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektronların çoğalmasına neden olur, bunlara verici (donör) adı verilir. N tipi yarı iletkendeki serbest olan elektronların sayısı çok fazla olduğu için bunlara çoğunluk taşıyıcıları denir. Yani N-tipi yarı iletkende elektronlar, elektrik akımının taşınmasında görev yaparlar (URL-4).



Şekil 3. N-tipi yarı iletken oluşumu (URL-4).

#### 1.3.2.2.2. P-tipi Yarı İletken

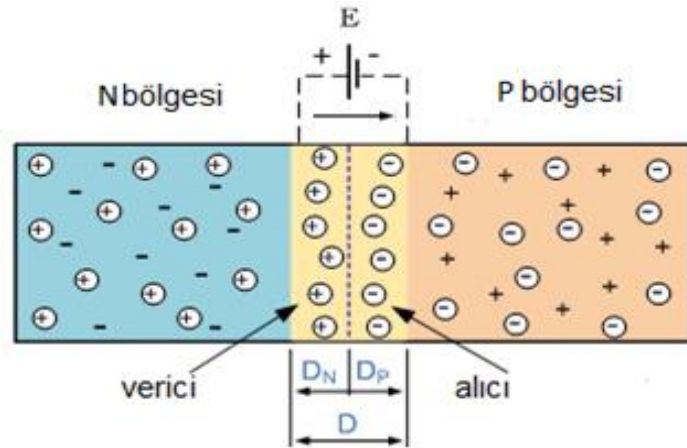
Si veya Ge gibi yarı iletkenler içerisine periyodik tablodaki III-A grubu Alüminyum (Al), Galyum (Ga), vb. gibi malzemelerin eklenmesi ile kovalent bağlarda eksik bir elektron olacaktır. Bu eksiklik katkı atomuna bağlı bir boşluk gibi görülebilir. Bu boşluk, başka bir elektronun bu boşluğu işgal etmesiyle birlikte yapı içerisinde hareket edebilir. Böyle bir katkı kristal yapının bant aralığının içinde yeni bir enerji seviyesi oluşturur ve bu yeni seviye valans (değerlik) bandının hemen üstündedir. Kristal yapı içerisine bu tip boşluklar oluşturan katkı atomları alıcı (akseptör) olarak adlandırılır ve bant aralığında meydana gelen ara seviyeye ise alıcı seviyesi adı verilir. Bu tip yarı iletkenlerde boşlukların sayısı elektronların sayısından fazla olduğu için P-tipi yarı iletken olarak adlandırılır (Kasapoğlu, 2014).



Şekil 4. P tipi yarı iletken oluşumu diyagramı (URL-4).

### 1.3.3. P-N Eklemi

P ve N-tipi yarı iletken malzemeler tek kristalde birleştiğinde iki bölge arasında bir arakesit yüzey oluşturur ve bu yüzeye P-N jonksiyonu ya da P-N eklemi denir. N bölgesinde bilindiği gibi çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardır. Ayrıca P bölgesinde boşluklar çoğunluk yük taşıyıcısına sahiptir. Birleşimin esnasında elektronlar ve boşluklar yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere taşınmaktadır. Elektron ve boşluklar hareket esnasında geride negatif ve pozitif iyonlar oluşturur. N bölgesinde elektron verici atomlara donör ve P bölgesindeki elektron alıcı atomlara akseptör adı verilmektedir. P ve N yarı iletkenlerin birleştirilmesiyle oluşan eklem bölgesinde yük taşıyıcılarının difüzyonu ile deplasyon bölgesi oluşur. P ve N bölge arasındaki bu geçiş bölgesi olarak bilenen alanda iç elektrik alana bağlı olarak gerilim oluşur ve bir süre sonra denge durumuna ulaşır (Fiore, 2008).



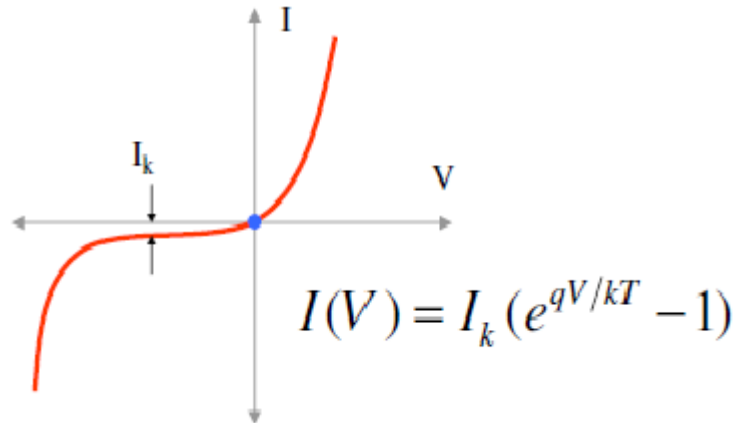
Şekil 5. Pozitif ve negatif iyonları oluşumu (Fiore, 2008).

Oluşturulan geriliminin değeri yarı iletken bölgelerin katkı konsantrasyon, ısı, sıcaklık ve yarı iletkenin türüne bağlıdır. P-N eklemi Si yarı iletken kullanılarak yapılmış ise bu gerilimin değeri normal sıcaklıklarda 0,6-0,7V kadardır ve Germanyum için bu değer 0,3V civarındadır. Dış etki altında oluşan gerilim 0,7V değerine ulaşırsa (örneğin Silisyum) yani  $V_{dış} > V_{iç}$  ise bu durumda elektronlar hareket eder ve akım oluştururlar (Fiore, 2008). P-N eklemi, akım ters yönde engellemeye çalışır ve akım sadece bir yönde (diyotun ileri yönü) gerçekleştirir. Bu yüzden diyotlar alternatif akımı doğru akıma dönüştürmek için kullanılır.



Şekil 6. Diyot sembolü.

Denge durumuna ulaştıktan sonra P-N eklemi uçlarına dış gerilimi uygulanmadan, tüketim bölgesindeki oluşan elektrik alanı N/P tarafından elektronlar/boşluklar P/N tarafına geçmesini engeller. Bu yüzden dış gerilim olmadığı için ( $V=0$ ) karanlıkta ve uçlar arasında akımı sıfırdır ( $I_k=0$ ). Tipik diyotların elektriksel özellikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Diyodun ileriye doğru küçük bir voltaj uygulandığında akım kolayca akar, fakat voltaj ters yönde uygulandığında, diyot akım akışına büyük bir direnç gösterir. Hâlbuki tüketim bölgesinin genişliğinden dolayı eklem üzerinden geçen akımı değiştirir.



Şekil 7. Diyottaki I-V eğrisi (Fiore, 2008).

Burada:

$I_k$ : Doyma karanlık akımı

$K$ : Boltzman sabiti ( $8,617 \times 10^{-5} \text{eV.K}^{-1}$ )

$T$ : Oda sıcaklığı (300K)

$q$ : Elektron yükü ( $1,6 \times 10^{-19} \text{c}$ )

$V$ : Uygulanan gerilimi

P-N eklemının uçların arasına uygulanan pozitif gerilim ile (ileri besleme) eklem üzerinden geçen akım üstel olarak artar. Negatif gerilim altında (ters besleme) ise akım önce gerilimden bağımsız küçük bir değeri alır (karanlık akım), daha büyük gerilimlerde ise de üstel olarak artar (URL-5).

#### 1.3.4. Yarı iletken Eklemlerin Türleri

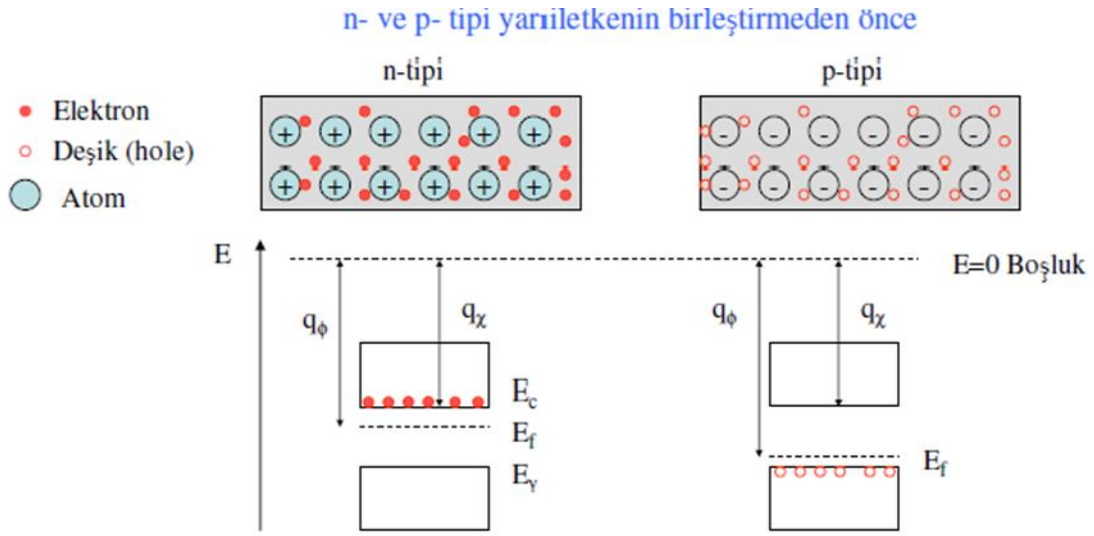
Yarı iletken eklemi, bilindiği gibi P ve N- tipi yarı iletkenlerden malzemelerin birleştirerek oluşmaktadır. Ancak P ve N maddeleri aynı tür Silisyum ya da Germaniyum gibi olursa ona Homo-eklem (jonksiyon) denir ve farklı malzemelerden (Si: Ge, GaAs: GaAlAs) oluşturulan eklemlere ise hetero-eklem (jonksiyon) denilmektedir.

##### 1.3.4.1. Aynı Tür Eklemler (Homo-Eklem)

Bu türe göre, Silikon ya da Germaniyum' dan yapılmış N-tipi ve P-tipi katkılanmış yarı iletken malzemeyi oluşturur. Kullanılan maddeleri, aynı tür olduğundan dolayı N ve P yarı iletkende yasak bant aralığı aynıdır. N tarafta, iletim bandında serbest hareket eden elektronlar, P tarafta da boşluklar bandında serbest hareket eden boşluklar bulunur. Bu tür eklemlerin üretimi kolay ve maliyeti ucuzdur, fakat çok verimli devre elemanları sağlamaz.

Şekil 8'de  $q_\phi$  (iş fonksiyonu); bir elektronun ( $E_f$ ) Fermi seviyesinden ( $E=0$ ) vakum seviyesine ( $E=0$ ) götürmek için gereken enerjiiyi,  $q_\chi$  (Elektron ilgisi); bir elektronu iletim bandından ( $E_c$ ) vakum seviyesine ( $E=0$ ) götürmek için gereken enerjidir (URL-5).

P-N yarı iletkenler birleştirildikten sonra hemen P-N eklemi oluşur, P-N tarafındaki yük yoğunlukları farklı olduğundan ( $E_f$  seviyesi farklı) yük dağılımı denge durumuna ulaşmaya kadar (Fermi seviyesi eşitleninceye kadar) N tarafındaki elektronlar P tarafına geçerek buradaki boşluklarla birleşir. N/P tarafından ayrılan elektronlar/boşluklar arkalarında pozitif/negatif hareketsiz iyonlar bırakır. Hareketli yüklerinden arınan bu bölgedeki (tüketim bölgesi) oluşan elektrik alan, daha fazla elektronların N/P tarafından P/N tarafına geçmesini engeller ve denge durumu oluşturur (Brennan, 2005).

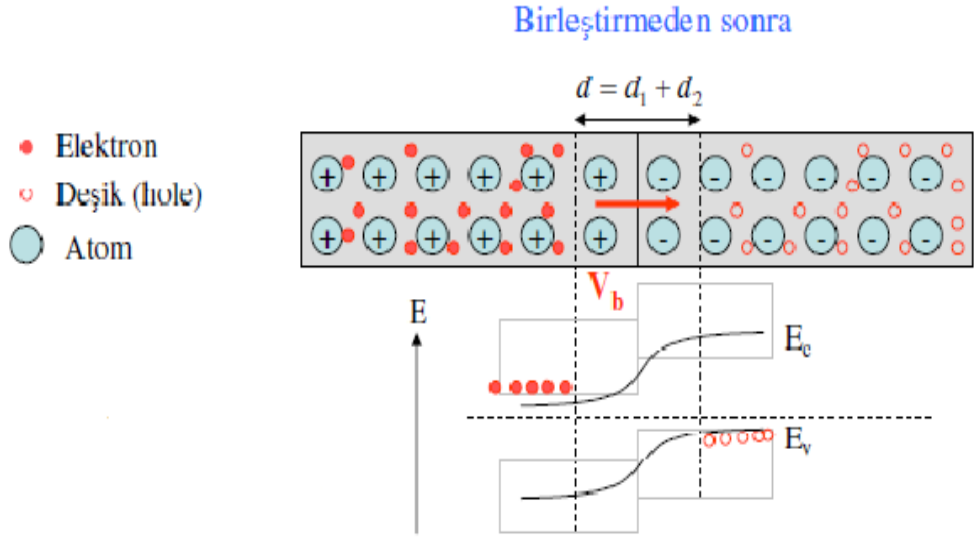


**Şekil 8.** P-N tipi yarı iletken birleştirmeden önce diyagramı (URL-5).

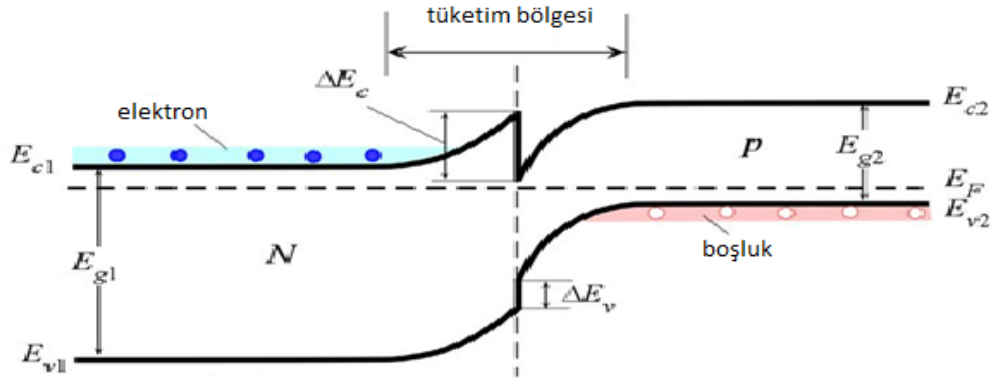
#### 1.3.4.2. Farklı Tür Eklemler (Hetero-Eklem)

Hetero-eklemi, farklı bant aralıklarına sahip iki farklı yarı iletken malzemenin birleşimidir. Şekil 9'da gösterildiği gibi enerji bant aralığı farklı olduğundan dolayı tüketim bölgesinde kuantum kuyuları oluşur. Farklı türden yarı iletkenler ile yapılan eklemlerde oluşturulan kuantum etkilerini kontrol ederek (katkı atomlarının konsantrasyonu) verimli ve hızlı devre elemanlarının yapılabildiği hetero-eklem yapılar Şekil 10'da göstererek elektronik (örneğin transistor) ve optoelektronikte (lazerler, verimli güneş pillerinde) oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-5).





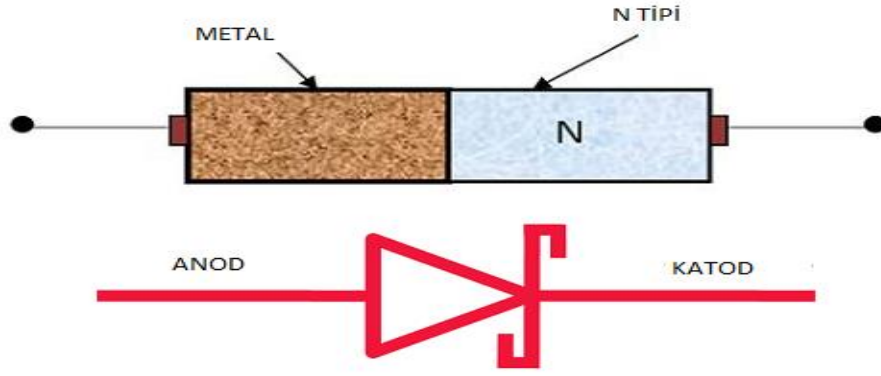
Şekil 9. P-N tipi yarı iletken birleştirmeden sonra diyagramı (URL-5).



Şekil 10. Hetero-eklemde enerji diyagramı (URL-5).

### 1.3.5. Schottky Diyot

Schottky diyot, P-N eklemli diyottan daha az ileri voltaj düşüşüne sahip olan ve yüksek hızlı anahtarlama uygulamalarında kullanılabilen bir metal-yarı iletken bağlantı diyotudur (URL-6). Schottky diyotta alüminyum veya platin gibi metaller P-tipi yarı iletkenin yerine alınmıştır. Schottky diyot, Alman fizikçi Walter H. Schottky tarafından bulunmuştur. Schottky diyotlar, P-N bağlantılı diyotlardan daha hızlı açılıp kapanabilir. Ayrıca, Schottky diyot P-N eklem diyoduna göre daha az gürültü oluşturur. Schottky diyodu bu özelliğinden dolayı yüksek hızlı anahtarlama, güç devrelerinde ve (RF) Radyo Frekansı uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 11. Schottky diyot sembolü.

Alüminyum veya platin metal ile N-tipi yarı iletken birleştirildiğinde, metal ve N-tipi yarı iletken arasında bir bağlantı oluşur. Bu bağlantı bir metal yarı iletken birleşimi veya M-S birleşimi olarak bilinir. Bir metal N-tipi yarı iletken arasında oluşan birleşimi, Schottky bariyeri olarak bilinen bir bariyer ya da tüketim tabakası oluşturur. Schottky diyotun uçlarına yeterli gerilim uygulandığında, akım ileri yönde akmaya başlar. Bu akım akışı nedeniyle, küçük bir gerilim kaybı meydana gelir. Bu gerilim kaybı voltaj düşmesi olarak bilinir.

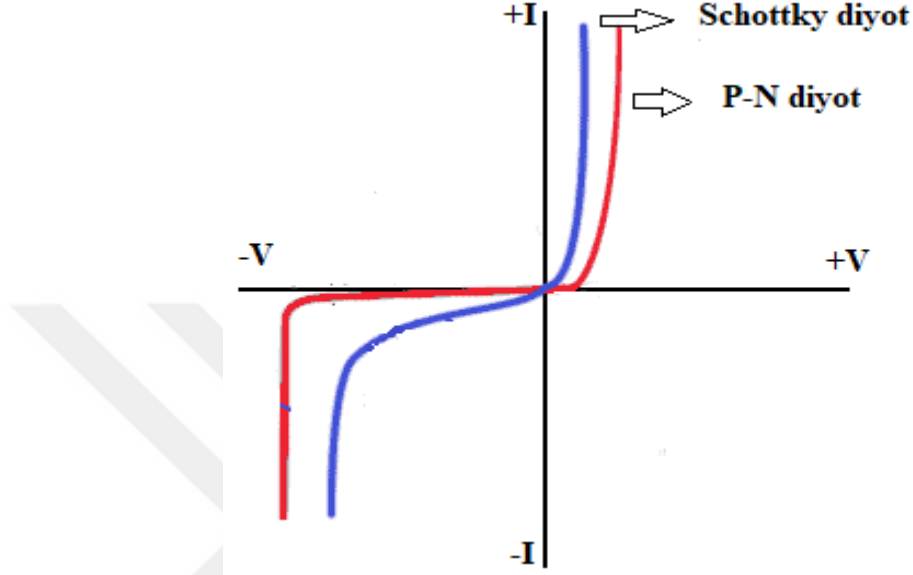
Bir silikon diyot 0,6-0,7V ile gerilim düşüşüne sahipken, bir Schottky diyot 0,2-0,3V gerilim düşüşüne sahiptir. Gerilim kaybı veya gerilim düşümü, diyotun kapısını açmak için boşa harcanan voltaj miktarıdır.

Kısacası Schottky bariyeri, potansiyel enerji bariyeridir. Yani elektronlar, diyodun üzerinden akmak için bu potansiyel enerji bariyerini aşmak zorundalardır. Schottky diyodu en önemli özelliklerinden biri Schottky bariyer yüksekliğidir. Bu bariyer yüksekliğinin değeri yarı iletken ve metal birleşimine bağlıdır (URL-6).

### 1.3.5.1. Schottky Diyot Türleri

Metal ve yarı iletken birleştiğinde ya doğrultucu (rectifying) ya da omik kontak olabilir. Kısaca Schottky doğrultucu ise yarı iletken tarafında katkı oranı azdır. Yeterli bariyer yüksekliği ve çok yüksek bir direnç özelliğine sahiptir. Ama diğer türü özelliklerine göre doğrultucunun özelliklerine ise zıt bir şekilde gösterir. Omik kontak çizgisel (linear) bir akım gerilim (I-V) eğrisine sahiptir.

Schottky diyotun I-V (Voltaj-Akım) karakteristikleri aşağıdaki Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekil 12’den görüleceği üzere Schottky diyotun I-V özellikleri neredeyse P-N eklem diyotuna benzer. Bununla birlikte, Schottky diyotun ileri voltaj düşüşü, P-N eklemi diyotuna kıyasla çok düşüktür.



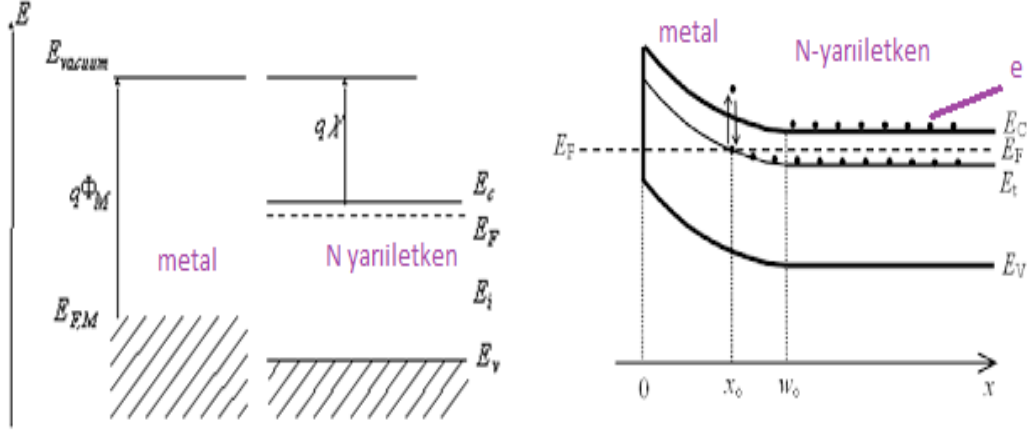
Şekil 12. Schottky diyodu I-V eğrileri (URL-5).

### 1.3.5.2. Schottky Diyotun Enerji Bant Diyagramı

N-tipi yarı iletken ve metalin enerji bant şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Vakum seviyesi, materyalin dışındaki elektronların enerji seviyesi. İş fonksiyonu (enerjisi) ise, bir elektronu Fermi seviyesinden ( $E_f$ ) vakum seviyesine ( $E_0$ ) taşımak için gereken enerji olarak tanımlanır. İş fonksiyonu metal ve yarı iletken için farklıdır. Metalin işlevi yarı iletkenin çalışma fonksiyonundan daha büyüktür. Bu nedenle, N-tipi yarı iletkendeki elektronlar metaldeki elektronlarından daha yüksek potansiyel enerjisine sahiptir.

Metal ve yarı iletkenlerin enerji seviyeleri farklıdır. N-tipi yarı iletken taraftaki Fermi seviyesi, metal tarafın üstüne bulunur. Daha yüksek enerji seviyesindeki elektronlar, düşük enerji seviyesindeki elektronlardan daha fazla potansiyel enerjiye sahiptir. Metal N-tipi yarı iletken ile birleştirildiğinde, Schottky diyot olarak bilinen bir cihaz oluşturulur. Schottky diyodun dahili gerilimi ( $V_b$ ) bir metal ile N-tipi yarı iletkenin çalışma fonksiyonları arasındaki farkına denilir.

Metal N-tipi yarı iletken ile birleştirildiğinde, N-tipi yarı iletkendeki iletim bandındaki elektronların (serbest elektronlar), denge halini oluşturmak için N-tipi yarı iletkenden metala geçecektir. Yarı iletkende iletim bandındaki elektronları veya serbest elektronları, metaldeki atomlara fazla elektron sağlayacaktır. Sonuç olarak, metalin tarafındaki atomlar fazla elektronu kazanır ve N-yarı iletken tarafındaki atomlar elektronları kaybeder (URL-6).



Şekil 13. Schottky Diyot Enerji Diyagramı (URL-19, 2018).

Konuştığımız gibi yarı iletkendeki elektronlar metalden potansiyel enerjisine daha fazla sahip olduğu için metal N- tipi yarı iletken birleştiğinde elektronlar yarı iletken iletim bandından metala geçer ve oradaki negatif iyonları oluşturur. Pozitif iyonlar içeren yarı iletkende oluşturulan bölgenin genişliği negatif iyonlar içeren metalde oluşturulan bölgeden daha büyüktür. Bu yüzden M-Y birleşimin bölgesinde iç gerilimi ( $V_b$ ) oluşturur ve elektronların geçmesini engeller. Bu bariyeri aşmak için, serbest elektronların oluşturulan gerilimden daha fazla enerjiye ihtiyacı vardır. Bunun için M-Y uçlarına bir dış gerilim uygulandığında elektronlar yarı iletken bölgesinden metal bölgesine geçer ve elektrik akımı akar

### 1.3.5.3. İleri Besleme

Schottky diyodun uçlarına ileri gerilim uygulanırsa, N-tipi yarı iletken ve metalde çok sayıda serbest elektron üretilir. Bununla birlikte, N-tipi yarı iletken ve metaldeki serbest elektronlar. Uygulanan gerilim bariyer potansiyel değerine ulaşırsa, serbest elektronlar yeterli enerjiyi kazanır ve tükenme bölgesindeki oluşturulan gerilimi yener.

Sonuç olarak, elektrik akımı Schottky diyodu boyunca akmaya başlar. Şekil 14'te gösteren; uygulanan gerilim sürekli olarak artarsa, tükenme bölgesi çok ince olup ve nihayetinde kaybolur (URL-19).

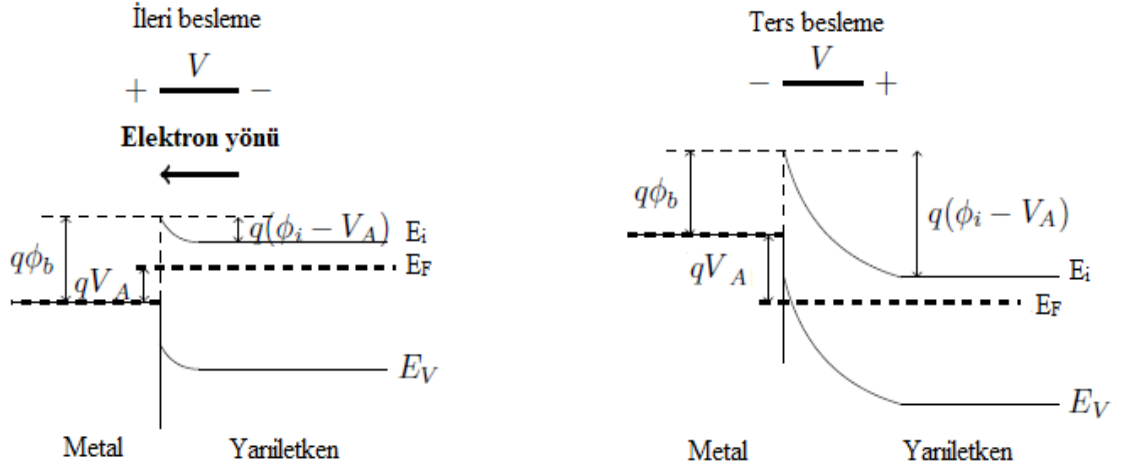
#### **1.3.5.4. Ters Besleme**

Schottky diyodun uçlarına ters gerilim uygulandığında, tükenme bölgesinin genişliği artar. Sonuç olarak, elektrik akımı durur. Bununla birlikte, metalde termal uyarılmış elektronlar nedeniyle küçük bir kaçak akım olmaktadır.

Şekil 14'te görüldüğü gibi, uygulanan ters gerilim sürekli artarsa, zayıf bariyere bağlı olarak elektrik akımı giderek artar. Böylelikle devam ederse ve büyük oranda artarsa, zıt bir şekilde elektrik akımı yükselir. Elektrik akımında ani yükselme, tükenme bölgesinin bozulmasına neden olur ve bu da cihaza kalıcı hasar verebilir.

Schottky diyot ve P-N eklem diyodu arasındaki temel farklar şu şekilde belirtilebilir. Schottky diyotta, serbest elektronlar elektrik akımının çoğunu taşırlar. Delikler (boşluklar) ihmal edilebilir. Yani Schottky diyot tek bir kutuplu bir cihazdır P-N eklem diyotta hem serbest elektronlar hem de delikler elektrik akımını taşıyor. Yani P-N eklem diyodu iki kutuplu bir aygıttır. Schottky diyotun ters gerilimi P-N eklem diyoduna kıyasla çok azdır. Schottky diyodun, ileri beslemede tükenme bölgesi yok ya da ihmal edilebilir, oysa P-N eklem diyotta tükenme bölgesi mevcuttur.

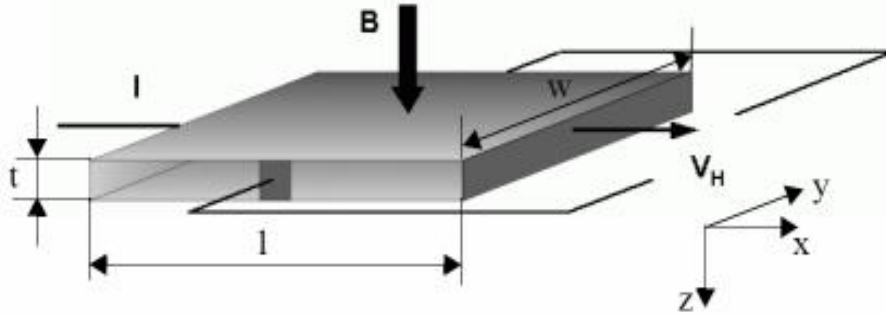
Schottky diyot yüksek anahtarlama hızına ihtiyaç duyulan bilgisayar ve radyo frekans (RF) devrelerinde genellikle doğrultma amacıyla kullanılmaktadır. Dedektörler ve mikrodalga sistemleri gibi yüksek frekanslı sistemlerde kullanılırlar. Bataryaların hızlı boşalmasını engellemek için güneş pillerinde, anahtarlama güç kaynaklarında doğrultucu olarak, Sinyallerin algılamasında ve mantık (entegre) devrelerinde kullanılmaktadır (URL-19).



Şekil 14. İleri ve ters beslemede Schottky diyot enerji diyagramı (URL-19).

### 1.3.6. Hall Olayı

1879 tarihinde Amerikalı fizikçi Edwin Hall tarafından akım taşıyan bir iletkeni manyetik alanın içerisine yerleştirildiğinde akıma ve manyetik alana dik yönde voltaj farkı ürettiği keşfedilmiştir ve bu Hall voltajı olarak tanımlanmıştır. Hall etkisi metallerin ve yarı iletkenlerin özelliklerinin incelemesinde kullanılmaktadır. Şekilde basit bir Hall levhası, genişliği ( $w$ ), uzunluğu ( $l$ ) ve kalınlığı ( $t$ ) olarak ince bir metal göstermektedir.



Şekil 15. Hall etkisinin Basit bir levhasını gösterme (URL-12).

Hall etkisini akımı oluşturan, yük taşıyan parçacıkların hareketi (genellikle elektronlar) olarak bilenebilir. Yüklerin hareket ettikleri yönlerine paralel olmama koşulu ile bir manyetik alan içerisinde hareket eden yükler üzerine Lorentz kuvveti etki etmektedir. Dolayısıyla hareket eden yükler belli bir yüzeyde toplanacaktır. Bu durumda

elektrik alan oluşup ve bu alan sayesinde elektronların yer değiştirmesi engellenmiş olacaktır. Lorentz kuvvetinin ifadesi aşağıdaki denklemden ifade edebilir.

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{V} \vec{B} ) \quad (1)$$

Öyleyse sırayla  $q$ ,  $E$ ,  $V$  ve  $B$  elektron yükü, elektrik alanı, gerilim ve manyetik alanı ifade eder.

Hall etkisi ile yarı iletkenlerin türlerini belirlemek hem de taşıyıcı yoğunluğunun ölçümü mümkündür. Hall etkisi, zıt yönde hareket eden pozitif ve negatif yükleri birbirinden ayırmaktadır. Yönleri Şekil 15’de ki gibi verilen bir yapıda yarı iletken N-tipi ise alt yüzeyindeki negatif yük taşıyıcıları (elektronlar) karşı yüzeye ise boşluklar toplanıp iki yüzeyin arasında Hall voltajı oluştururlar (Allen, 2003).

### 1.3.7. İndiyum Kalay Oksit (ITO) Özellikleri

İndiyum, kalay ve oksijenin değişken oranlarda üçlü bir bileşimidir. Oksijen içeriğine bağlı seramik veya alaşım olarak tarif edilebilir. İnce tabakalarda saydam ve renksizdir, toplu halde ise sarımsı ve gridir. Spektrumun kızıl ötesi bölgesinde metal benzeri bir ayna gibi davranır. İndiyum kalay oksit, elektrik iletkenliği ve optik şeffaflığı özelliğinden dolayı en yaygın kullanılan şeffaf iletken oksitlerden biridir, ayrıca ince bir film tabakası olarak kolaylıkla altlığa yerleştirilebilir. Tabakanın kalınlığının ve yük taşıyıcıların yoğunluğunun artırılması, malzemenin iletkenliğini artırır, ancak şeffaflığını azaltır. İndiyum kalay oksit ince filmleri, çoğunlukla fiziksel buhar biriktirme ile yüzeylerin üzerinde biriktirilir. İndiyum kalay oksit (ITO) hem araştırmalarda hem de endüstride yaygın olarak kullanılan optoelektronik bir malzemedir. ITO, düz panel ekranlar, akıllı pencereler, polimer bazlı elektronikler ve ince film fotovoltikler gibi birçok uygulamada kullanılabilir.

ITO'nun ince filmleri ayrıca ışık yayan diyotlar, güneş hücreleri ve birçok alanda kullanılabilir. ITO büyük ölçüde 4eV 'lik bir bant genişliğine sahip ve ağır şekilde katkılı N-tipi yarı iletken bir malzemedir. Görünür bölgede yüksek düzeyde geçirgenlik ve benzersiz elektrik iletkenliği gibi çekici özelliklere sahiptir. Yasak bant aralığı 3,5-

4,3eV aralığında olan büyük bant aralıklı N-tipi yarı iletken olarak bilinmektedir (URL-7).

### **1.3.8. Gümüş (Ag) Özellikleri**

Gümüş; doğada bulunan madenlerden biri olan ve periyodik çizelgedeki 1B grubunda (IUPAC numarasına göre 11. grupta) yer alan bir metaldir. Altın, bakır gibi üstün elektriksel ve ısıl iletkenlik özelliklerine sahip olan bir elemendir. Daha çok elektrik ve sanayi alanında kullanılmaktadır. Bu çalışmada üretilen ZnO/ITO hetero eklemine kontak olarak Ag buharlaştırılarak Schottky diyot (metal-yarı iletken) elde edilmiştir. Elde edilen diyodun uçlarının arasında gerilim uygulanarak Schottky diyot elektrik özellikleri incelenmiştir (URL-8).

### **1.3.9. İnce Film Kaplama Yöntemleri**

Son yıllarda ince film kaplama teknikleri büyük bir önemi kazanış ve geniş çalışma alanlarına yayılmıştır. İnce filmlerin iki tekniği yukarıdan aşağı (top-down), aşağıdan yukarı (down-up) ve farklı özellikleri için aynı malzemeler kullanarak geliştirilmiştir. İnce filmlerin özellikleri morfoloji parametre değişimleri (sıcaklık, kalınlık ve katkı oranı gibi) ve kullanılmış malzemeler üzerinden belirtilmiştir. Dolayısıyla farklı uygulamalardaki ince filmlerin farklı performansı doğrudan yüzey hacim oranına bağlıdır. İnce film kaplaması için birçok teknikler ortaya çıkmıştır. Bunlardan yaygın olarak kullanılan bazıları; Metal organik kimyasal buhar biriktirme (Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)), Darbeli lazer biriktirme (Pulsed-Laser Deposition (PLD)), Kimyasal püskürtme (spray pyrolysis), Kimyasal banyo ve Sol-gel yöntemidir (İlcan vd., 2005).

### **1.3.10. Sol-gel Yöntemi**

Son yıllarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları arasında büyük bir önem kazanan ince filmler, elektronik aygıt ve güneş plakaları üretim teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle ince filmlerin üretilmesinde birçok teknik geliştirilmiştir. Sol-gel yöntemi, nano yapılı seramik kolloidal malzemelerin daldırarak kaplama



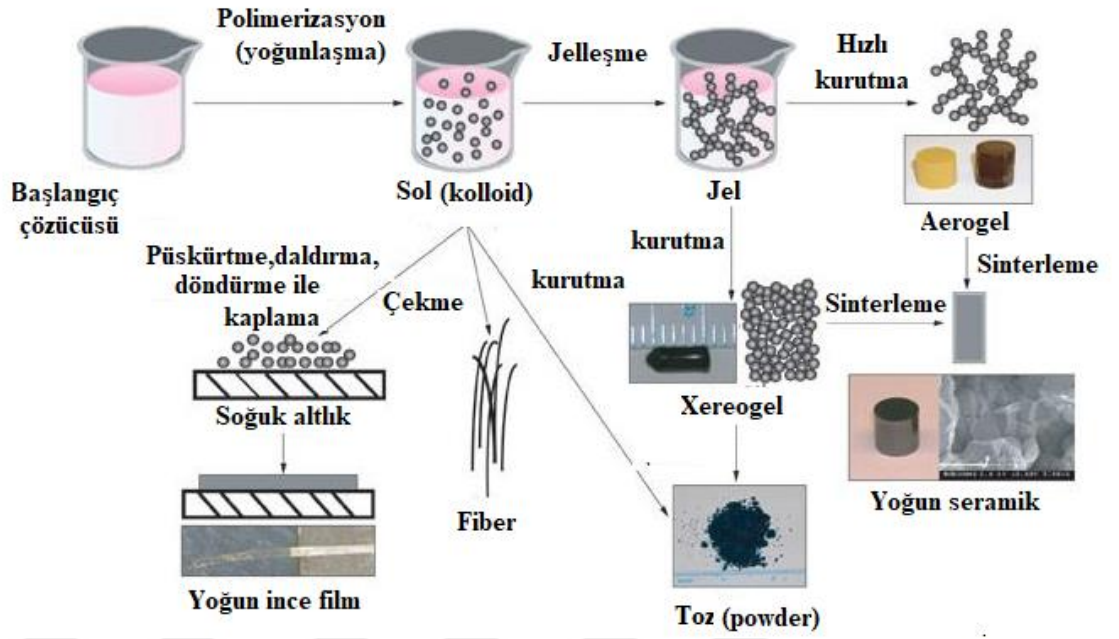
(dip-coating) veya döndürerek kaplama (spin-coating) teknikleri ile ince filmlerin kaplamasında büyük ölçüde kullanılan yöntemlerinden birisidir.

Sol-gel yöntemi, çeşitli film parametrelerini kontrol edilebilen, basit ve düşük maliyet özelliklerine sahip olan bir prosestir. Bu kapsamda kullanılan diğer yöntemler arasında önemli ölçüde sıyrılır. Kısaca Sol-gel işlemi, hazırlanmış sıvıdaki molekülerin polimer reaksiyonları üzerinden oksit ağı oluşturması olarak tarif edebiliriz.

Sol ise, çözücü içerisinde çözünmeyen ve dibe çökmeyen koloidal parçacıkları veya polimerleri içeren bir çözeltilidir. İşte bu parçacıklar çözelti içinde genişleyerek üç boyutlu ağı oluştururlar. Sol-gel yöntemi gözenekli yapıların, ince liflerin, yoğun tozların ve ince filmlerin sentezi gibi çeşitli şekillerde ve özelliklerde malzemeler hazırlamak için birçok alanda kullanılabilir (Karataş vd., 2018).

### **1.3.11. Sol-Gel Aşamaları**

Sol gel, hazırlanmış çözeltinin su ile katalize edilen polimerleşme reaksiyonu kullanılarak nano yapıları inorganik katı maddeye çevrilme prosesidir. Genel olarak metal alkoksit (MOR), su ile kolayca tepki verdiği için dolay yaygın olarak kullanılmıştır. Sol-gel sentezlenmesi zamana bağlı bir dizi işlem adımı ile oluşur. İlk aşamada çözelti hazırlanmasıdır. Bu aşamada çeşitli başlangıç maddeleri, uygun çözücülerle reaksiyon sonucunda homojen çözeltiliye dönüştürülür. Tipik olarak çözelti hazırlandıktan sonra nihai yoğun ürüne kadar ki Sol-gel aşamaları hidroliz, polimerizasyon, yoğunlaşma, jelleşme ve kurutma şeklindedir (Houng vd., 2006).



Şekil 16. Sol-gel yöntem aşamaları (Kasapoğlu, 2014).

Normal olarak metal tuzları suda ve alkoksitler ise alkolde çözünür. Asidik/bazik ya da nötr koşullarda su ilavesiyle hidroliz prosesi oluşturulmaktadır. Hidroliz sırasında oksijen atomları su molekülleriyle etkileşimdedir. Dolayısıyla alkol gider ve metal hidroksit oluşur. Denklem (2)'de bu durum belirtilmiştir (Hongxia vd., 2005).



Burada:

MOR: Metal alkoksit

MOH: Metal hidroksit

ROH: alkol

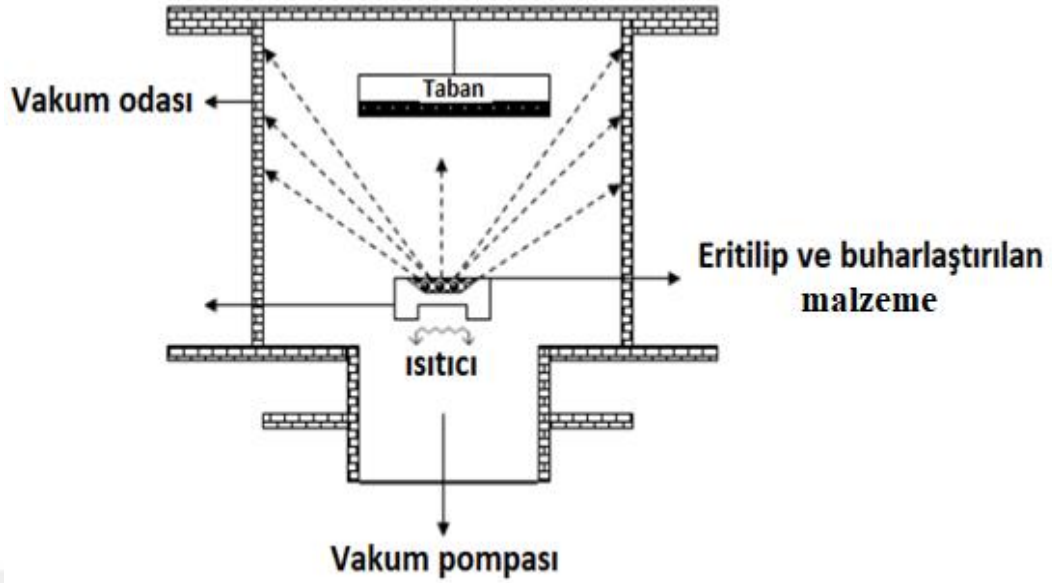
Daha sonra, yoğunlaşma reaksiyonu gerçekleşmesiyle sol sıvı içerisindeki kolloidal katı tanecikleri diğer taneciklere de bağlanarak polimerleri oluştururlar. Bu oluşum tüm çözeltideki büyük polimerlerin oluşması ve tüm çözeltinin katı polimer ağları ile kaplanmasına kadar devam eder. Buna da gel (gel) denir (Hongxia vd., 2005). En son adımda gözeneklerdeki sıvıların uzaklaştırılması ile gellerin kurumasını sağlar ve bu yapıda Xerogel (Xerogel) adını alır.

Sol-gel yöntemi bazı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Elde edilen filmlerin homojen ve saf olması, enerji tasarrufu sağlaması, yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymaması, geniş yüzeylere uygulanabilirliği, kullanılan kimyasal malzemelerin çeşitliliği vb. gibi durumlar avantajları olarak görülebilir. Dezavantajları ise ham malzemelerin maliyetinin yüksek olması, kaplama esnasında fazla kayıp olması ve karbon çökeltisinin kalması gibi olabilmektedir. (Pehlivan vd., 2007; Zayim, 2002) olarak sıralanabilir.

### **1.3.12. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)**

Fiziksel buhar biriktirme (PVD-FBB) vakum ortamında kaplanacak malzemenin atomizasyonu veya buharlaştırılması ile altlık üzerine kaplanması temeline dayanan bir yöntemdir. Kaplanacak malzeme vakum ortamında iyon-elektron demeti ile ya da ısı olarak buharlaştırılır ve kaynak karşısında yerleştirilen altlık üzerine kaplanır (Akbaş, 2015). Yarı iletken endüstrisinin gelişmesiyle kendine endüstride yer bulan fiziksel buhar biriktirme tekniği, günümüzde mikroelektronik, tıp, dekoratif amaçlı, oksidasyon ve korozyona karşı direnç oluşturulması gibi pek çok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. Vakum ortamında katı veya sıvı halde bulunan materyallerin buharlaştırılmak veya sıçratılmak suretiyle yüzeyden koparılması ve kaplanacak olan altlık malzemesi yüzeyine iyonik veya atomsal olarak biriktirilmesi esasına dayanan FBB tekniği kaplama yöntemi “Sıçratma” (sputtering) ve “Buharlaştırma” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Tiron vd., 2018).

Her malzemenin kendine has kaynama, erime ve buharlaşma sıcaklıkları gibi ayırt edici fiziksel özellikleri vardır. Bu teknikte ince film halinde kaplama yapılmak istenen malzeme öncelikle buharlaşması için gereken sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra ısıtılarak buharlaştırılan malzeme vakum ortamındaki soğuk sıcaklık bölgesine yerleştirilen altlık üzerine taşınarak yoğunlaştırılır. Azot gazı gibi inört gazlarda kullanılarak altlığın yüzeyine buharlaştırılan atomların film olarak büyütmesine etki edilebilir.



Şekil 17. Buharlaştırma yönteminin şematik gösterilişi (Ilıcan, 2005).

### 1.3.13. ZnO Özellikleri

Çinko oksit (ZnO), yarı iletken ve Pizelektrik özellikleri gösteren eşsiz bir malzemedir. Nano yapılı ZnO materyalleri elektronik, optik ve fotovoltik uygulamalarda üstün bir performans gösterdiği için dikkat çekmektedir (Ilıcan vd., 2005). Çinko oksit, 3,37 eV geniş bant aralığına sahip olan ve periyodik tabloda II-VI grubundan bir bileşik yarı iletkendir. Oda sıcaklığında 60meV 'lik yüksek eksiton bağlama enerjisine sahiptir (Kawano vd., 2010).

Ucuzca bulunan, toksik (zehirli) olmayan ve çeşitli nano yapıları bulunabilen bir materyaldir. Bu özelliklerinden dolayı teknoloji sahasında büyük önem kazanmıştır. Çinko oksit; kısa dalga nano lazerler, çok hassas nano boyutlu gaz sensörleri, alan etkili transistörler, transdüserler, nano rezonatörler, (kondansatör ve endüktör ihtiva eden ve elektriksel salınımlar üreten elektrik devresi), nano destek kolları, optoelektronik cihazlar, alan emisyonları (telefonlarda kullanarak) ve nano destek kolları (nano robot) gibi uygulamalar için temel materyal olarak kullanılmıştır (Chul, 2005). ZnO'nun tüm bu ilginç özellikleri ve uygulamalarının yanı sıra ince film formundaki çalışmalarında cazbedicidir. Tablo 1'den ZnO bileşik yarı iletkenine ait birtakım veriler sunulmuştur.

**Tablo 1.** ZnO fiziksel özellikleri (Bouhenni, 2015).

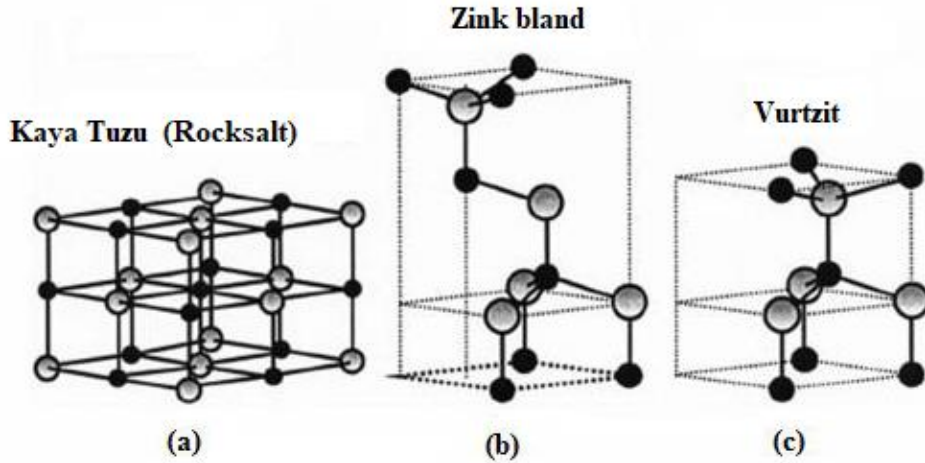
Fiziksel özelliği	Değer
Örgü parametreleri (300 K)	
$a$ (Å)	3,249
$c$ (Å)	5,206
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	5,606
300K'de kristal yapısının türü	Vurtzit
Erime noktası (C°)	1975
Termal iletkenlik ( $\Omega\text{cm}^{-1}/\text{C}^\circ$ )	0,6-1,2
Statik yalıtkanlık sabiti	8,656
Kırılma indisi	2,008
Uyarma bağlanma enerjisi (meV)	60
Enerji bant aralığı	3,37eV
Elektron etkin kütlesi ( $m_0=9,11 \times 10^{-31}\text{kg}$ )	0,24 $m_0$
300K'da elektron hareketliliği (cm <sup>2</sup> /Vs)	200
Boşluk etkili kütlesi ( $m_0=9,11 \times 10^{-31}\text{kg}$ )	0,59 $m_0$
300K'da boşluk hareketliliği (cm <sup>2</sup> /Vs)	5-50

### 1.3.13.1. Çinko Oksit Kristal Yapısı

Çinko Oksit, Vurtzit, Çinko blende ve Roksalt olmak üzere üç farklı yapıda bulunabilir. Genel ortam koşullarında ve termodinamik kararlı faz altında Vurtzit yapısındadır. GaAs ve InP gibi bileşik yarı iletkenlerin elmas benzeri kristal yapısına sahiptir. Bununla birlikte, kafes iki farklı tipte atom içerir. Her bir atomun dört tane kovalent bağı vardır. Hem elmas kafes hem de çinko blende kafes, kübik yapıli kafeslerdir (URL-9). Üçüncü bir ortak kristal yapı, aynı zamanda, altıgen biçimindeki çinko sülfürün (ZnS) vurtzit kristal yapısı olarak da adlandırılan altıgen yapıdır. Birçok yarı iletken malzeme birden fazla kristal yapıya sahip olabilir. GaAs, GaN, ZnS ve ZnO dahil olmak üzere çok sayıda bileşik yarı iletkenler kübik veya altıgen olabilir. Kübik kristaller tek bir parametre, kafes sabiti ( $a$ ) ile karakterize edilirken altıgen yapılar kafes sabiti ( $a$ ) ve altıgen düzlemlerin arasındaki mesafe ( $c$ ) ile karakterize edilir (URL-10). Araştırmacılar tarafından X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı kullanarak ZnO'nin yapısı basitçe  $\text{Zn}^{+2}$  ve  $\text{O}^{-2}$  iyonlarının ( $c$ ) ekseninin yanına sıralanmış olup dört yüzlü yüzeylerden oluştuğu belirtilmiştir. Vurtzit ZnO altıgen bir yapıya sahiptir ve kafes parametreleri  $a = 3,296\text{Å}$  ve  $c=5,206\text{Å}$  'dur. ZnO 'nin kutupsal ve kristal yapı özelliklerinden dolayı pizoelektrik malzeme olarak birçok alanda kullanılmaktadır (Keskenler vd., 2012).

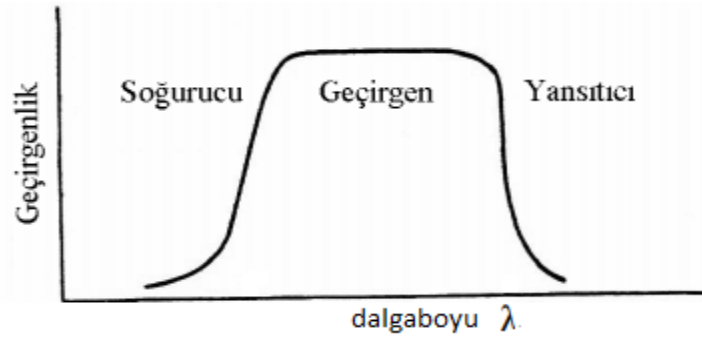
### 1.3.13.2. Çinko Oksit Optik Özellikleri

İletken şeffaf ince filmlerin optik özellikleri; kaplama parametreleri, kirlilik derecesi, mikro yapı ve kaplama tekniğine önemli ölçüde bağlıdır. Yarı iletken optik özelliklerine göre seçici geçirgen tabaka olarak davranırlar.



Şekil 18. ZnO 3 fazda bulunur; (a) Kayatuzu (Rocksalt), (b) Zinc blende ve vurtzit (Meyer, 2003).

Şeffaf ZnO yarı iletkenleri genel olarak Radyasyon Spektrometresi cihazı ile elde edilen optik özelliklerinde mor ötesi, görünür bölge ve infrared bölgelerinde dalga boylarına göre soğurucu, geçirgen ve yansıtıcı olarak gözlenmektedir (Yadav, 2004).



Şekil 19. ZnO geçirgenliğinin dalga boyuna göre değişim diyagramı (Yadav, 2004).

Çinko oksit periyodik tabloda II-VI grubunda yer alan ve geniş enerji bant aralığı sahip olan (3,2-3,4eV) bir yarı iletkenidir. Bu değer film büyütme yöntemleri, katkılama, kalınlık ve diğer koşullara bağlıdır (Houng ve Huang, 2006). ZnO üstün pizoelektrik özelliklerinden dolayı araştırmacıların dikkatlerini çekmektedir. Birçok çalışmada ZnO

ince filmlerin optik özellikleri; oda sıcaklığında ve görünür bölgede dalga boylarının 300-1150 nm arasında, cam üstüne kaplandığında geçirgenliğinin 85-90% ve enerji bant aralığının 3,2-3,4eV civarında olduğu bulunmuştur. Çinko oksit, katı formunda 0,9'lük kırılma indisine sahip şeffaf bir malzemedir. İnce tabakalarda kırılma indisi farklıdır. Bu katmanların üretim koşullarına bağlı olarak, kırılma indisi 1,9-2,2 arasındadır (Kim vd., 2007).

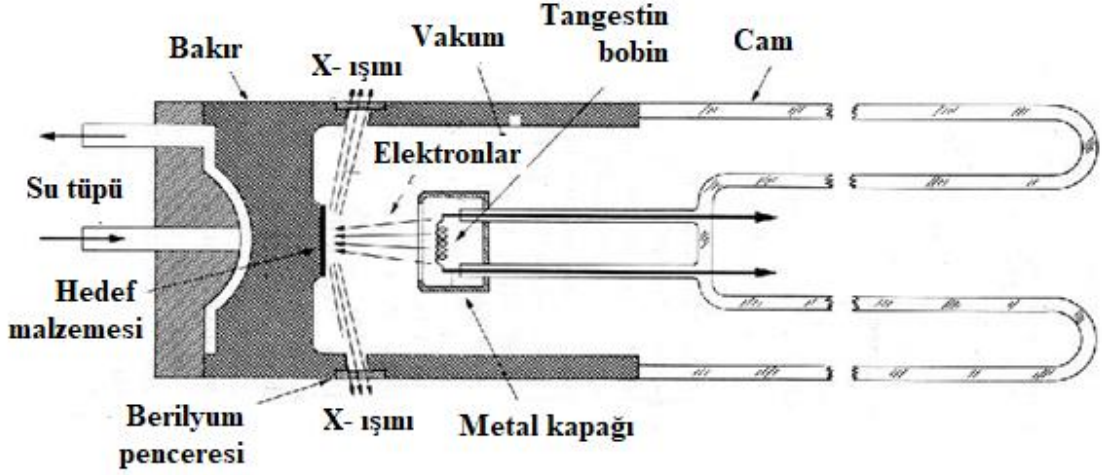
### **1.3.13.3. Çinko Oksit Elektrik Özellikleri**

Çinko oksit, genel olarak N-tipi davranan bir yarı iletkenidir. Katkısız çinko oksitte serbest yük taşıyıcıları, oksijen boşlukları ve kristal örgü arasındaki boşluklarda bulunan çinkonun oluşturduğu sığ donör seviyelerinden kaynaklanır. Bununla birlikte kristal örgü arasındaki boşluklarda bulunan oksijen ile çinko eksikliği kusurları da olabilir. Bu durum kristal yapıda akseptör durumları oluşturabilirler ve P-tipi yarı iletken oluşturur. Kaplama metoduna bakmaksızın bütün katkısız ZnO filmler uzun vadede stabil olmayan elektriksel özelliklere sahiptir. Çinko oksit filmlerin elektriksel özellikleri, kaplama yöntemi, ısıl işlem ve oksijen kemisorpsiyonuna kuvvetli bir şekilde bağlıdır (Sorar, 2008). Bazı çalışmalara göre katkılı ZnO yapısının elektriksel özellikleri katkısızdan daha kararlı bir hal göstermektedir.

### **1.3.14. X-Işını Difraksiyonu**

X-Işınları Alman fizikçisi (Wilhelm Röntgen) tarafından 1895 yılında keşfedilmiş ve geniş bir alanlarda kullanılmıştır. X-Işınları çalışma prensibi, hızlı ve yüksek enerjili elektronların metal yüzeyindeki (hedef malzemesi) atomlarla çarpışarak elektronların kinetik enerji kayıp edip fotonlar (elektromanyetik dalgaları) oluşturması süreci olarak

tarif edilebilir. Elektronlar genel olarak 35kV gibi yüksek voltaj uygulanarak hızlandırılırlar. X-Işınları  $0,1\text{\AA} < \lambda < 100\text{\AA}$  aralığında kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalga türüdür (URL-11).



Şekil 20. X ışının çalışma prensibi (URL-12).

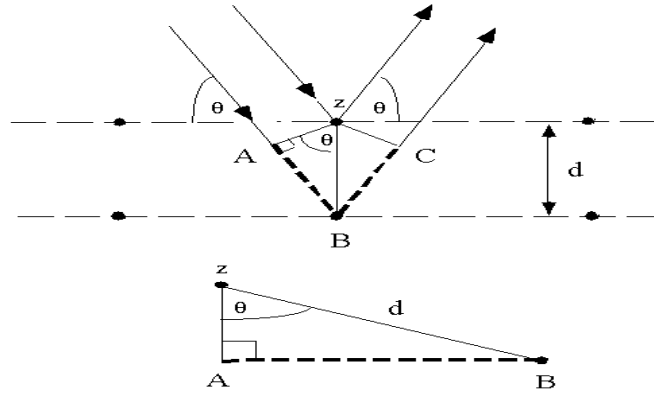
1913 yılında İngiliz fizikçiler W.H. Bragg ve oğlu tarafından X-Işınları difraksiyonu açısı ( $\theta$ ), spektrum dalga boyu ( $\lambda$ ) ve atom tabakaları arasındaki uzaklık ( $d$ ) arasındaki ilişki olarak belirlenmiştir.

$$n\lambda = AB + BC, AB = BC, \sin \theta = AB/d \quad (3)$$

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (n:1,2,3.... \text{ Tam sayısı}) \quad (4)$$

Burada;  $\theta$  Bragg açısı (gelen ışınlarla atom düzlemlerinin yaptığı açı) ve  $\lambda$  (kullanılan X-ışınının dalga boyu) bilinirse  $d$  (atom tabakaları arasındaki uzaklık) hesaplanabilir.





**Şekil 21.** Gelen X ışınının atomların ile çarpması diyagramı (URL-12).

Bilindiği üzere hemen her madde farklı kristal yapıya sahiptir. Bu yüzden Miller tarafından kristal yapılar araştırılmış ve önemli sonuçlara ulaşılmıştır. En önemlilerinden biride maddenin kristal yapısının endeksleri belirtilmiştir (URL-12).

X ışınlarının spektrumları kullanmasıyla kristal yapı ve kafes özellikleri belirlenebilir, tane boyutları ve ince film kalınlığı hesaplanabilir (URL-13).

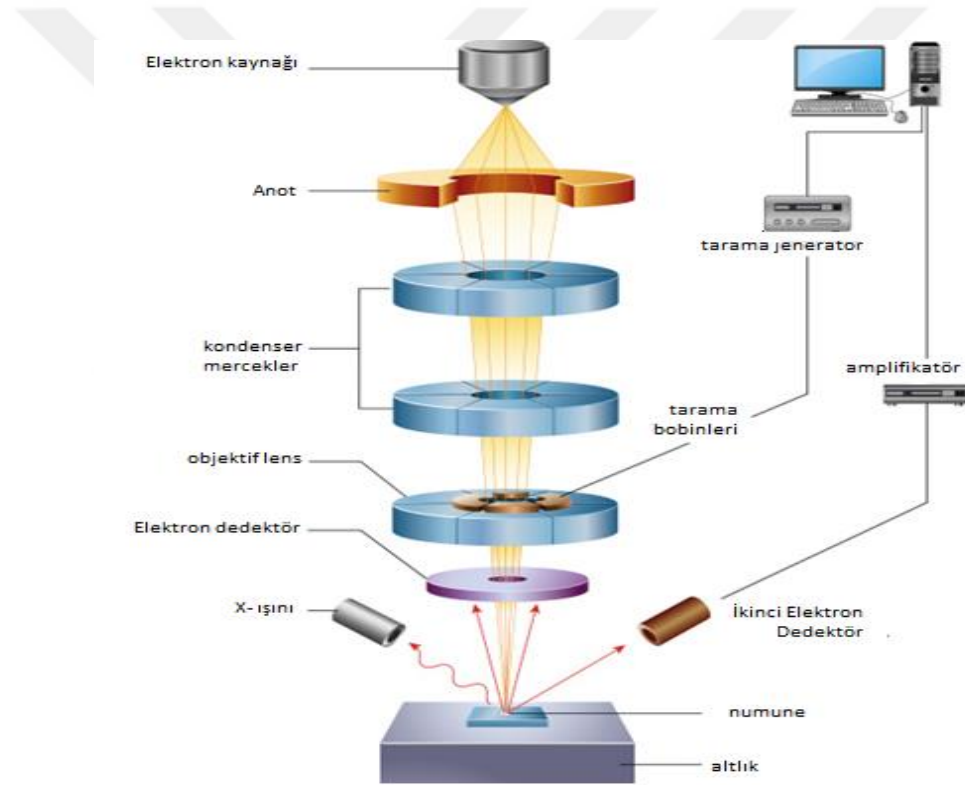
### 1.3.15. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), malzemelerin yüzeylerinin daha net görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Örneğin, üstüne gönderilen elektron demetinin saçılması ile yüzey görüntüsü 30nm'nin altındaki yapılara kadar gözlenebilmektedir (Shin, vd., 2006).

SEM cihazı Şekil 22'den görüleceği üzere; elektron tabancası, elektromanyetik mercekler, ışın saptırıcı, objektif mercekler, PMT (foto çoğaltıcı tüp) dedektörler ve vakum sisteminden oluşmaktadır. Elektron tabancası yüksek ısısal enerjili tungsten ipleri üzerinden sürekli ve hızlı elektronlar üretir.

Elektronlar anot ve katot arasında oluşturan elektrik alanı ile hızlandırılarak malzemenin yüzeyine gönderilir. Optik mikroskoplarda olduğu gibi, SEM'de net ve ayrıntılı görüntüler elde etmek için elektromanyetik mercekleri kullanır.

Bununla birlikte, bu cihazlardaki mercekler camdan yapılmış değildir. Mercekler elektronların yolunu bükebilecek mıknatıslardan yapılmıştır. Mercekler elektron ışımına odaklanır ve kontrol ederler, böylece elektronlar gitmeleri gereken yere tam olarak ulaşması sağlanır. Elektron tabancasında gönderilmiş elektronlar numuneyi ile etkileştikten sonra ikincil elektronlar olarak adlandırılırlar. Dedektörler üzerinden elektronlar ve sebep oldukları ışınımlar toplanıp sinyale çevrilir. Bilgisayar vasıtasıyla sinyaller okuyucu tarafından fotoğrafa çevrilir. Elde edilen fotoğrafların üzerinden malzemenin yüzeysel karakterleri (Topografi), materyal molekül büyüklükleri ve şekli (Morfoloji), atomların düzenlenmesi ve biriktirilmesi (kristalografi) gibi özellikleri tespit edilebilir (URL-14).

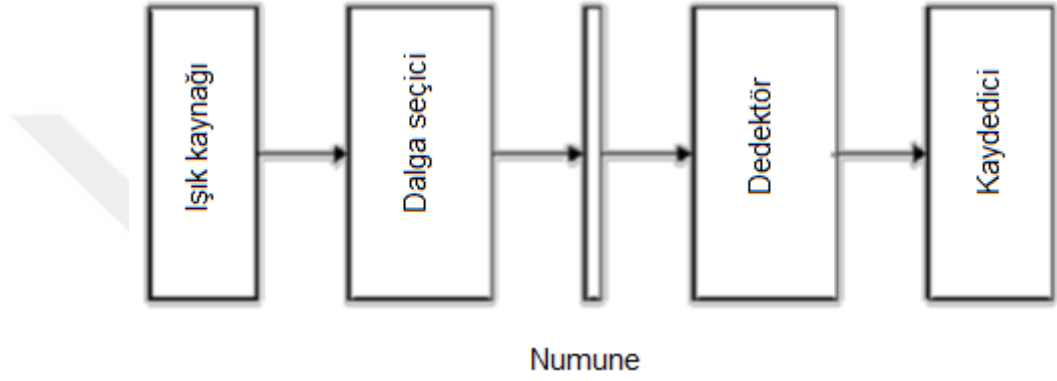


Şekil 22. SEM mikroskop çalışma prensibi (URL-14).

### 1.3.16. UV -Spektrofotometre

UV spektrometresi ışık kaynağı, dalga boyu seçici ve dedektörden oluşur Şekil 23'te gösterilmiştir. Dedektörde elektrik sinyaline çevrilen optik sinyal bir kaydedici ile ölçülür. Işık kaynağı olarak tungsten teli, ksenon ark, hidrojen veya döteryum lambalar kullanılır. Işık kaynağından gelen polikromatik ışık monokromatör sayesinde tek bir

dalga boyunda ışık olarak gönderilir. Monokromatör olarak optik ağ veya prizma adı verilen parçalar kullanılır. Daha sonra tek dalga boylu ışık numune üzerine düşer. Eğer fotonun enerjisi, yasak enerji aralığından daha büyük ise fotonlar soğurulur, küçük ise fotonlar soğurulmadan direk geçer. Maddeden geçen ışığın ne kadar soğurulduğunu anlamak için geçen demet şiddetini ölçmek üzere düzeneğe dedektör yerleştirilmiştir. Mor ötesi ve görünür bölgede kullanılan üç türlü dedektör vardır. Bunlar, fototüpler, fotovoltatik dedektörler ve foto çoğaltıcı tüplerdir (Polat, 2009).



Şekil 23. UV Spektrometresi temel bileşenleri.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Altlıkları Hazırlanması ve Temizlenmesi

Bu çalışmada cam ve ITO (indiyum kalay oksit) hazırlanacak filmler biriktirmesi için altlık olarak kullanılmıştır. Altlıkların film özelliklerin üzere etkilenen pis parçacılıklarından temizlenmiştir. Altlıkların etanol bileşiği kullanarak 5 dakikaya kadar bekleyerek sonra iyonsuz su içerek 5 dakika koyduktan sonra ultrasonik cihazına koyarak 10 dakikaya kadar temizlenip iki defa tekrarlanıp saf ve temiz altlıkları elde edilmiştir. Altlıklar temizledikten sonra 75C° sıcaklığın altında kurutulmuştur.

### 2.2. ZnO Ön Çözeltisi (Sol) Hazırlanması

Çözelti hazırlamak için başlangıç malzemeleri olarak Çinko Asetat Dihidrat  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  molekül ağırlığı (219,49g/mol), çözücü olarak 2-Metoksietanol 5 ml alınmıştır. Stabilizör olarak Monoetanolamin (MEA) Molekül ağırlığı (61,08g/mol) kullanılmıştır. ZnO çözeltisi 0,4M olarak hazırlanmıştır. Solüsyon hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

$$m = n \times m_A \quad (5)$$

$m$ , Ön çözeltisi hazırlanacak maddeden alınması gereken miktar miktarı,  $m_A$  Molü hazırlanacak olan maddenin 1 molünün ağırlığı (219,49g/mol),  $n$  ise mol sayısıdır.

$$n = M \times V \quad (6)$$

$V$  Hazırlanacak ön çözelti hacmi (0,5ml olarak alınmıştır),  $M$  ise molaritedir. Ön çözelti molaritesi 0,4M olarak hazırlanmıştır.

$$n = 0,4 \times 5 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

$$m = 219,49 \times 2 \times 10^{-3} = 0,439 \text{ g}$$
 Olarak ön çözeltiliye Çinko Asetat tuzu eklenmiştir.

Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O ise 0,439g olarak ve aynı şekilde Monoetanolamin ise 0,122g hesaplanmıştır. Kullanılan sıvı Monoetanolamin hacim miktarı ise aşağıdaki ifadeden tespit edilmiştir.

$$d = m/V \quad (7)$$

Burada,  $d$  Monoetanolamin yoğunluğu (1,012 g/ml)  $m$  kütlesi  $V$  ise hacmidir. Dolayısıyla  $V = m/d \Rightarrow V = 0,12\text{ml}$  olarak hesaplanmıştır.

Çözelti hazırladıktan sonra manyetik karıştırıcıda koloidal parçacıkların oluşumunun sağlanması ve çözeltinin jelleşmesi için 50C° sıcaklık altında 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Şeffaf olan çözelti rengi işlem sonunda kahverengiye dönüşmüştür.



Şekil 24. Çözelti malzemeleri ve manyetik karıştırıcının fotoğrafları.

### 2.3. Filmlerin Kaplanması

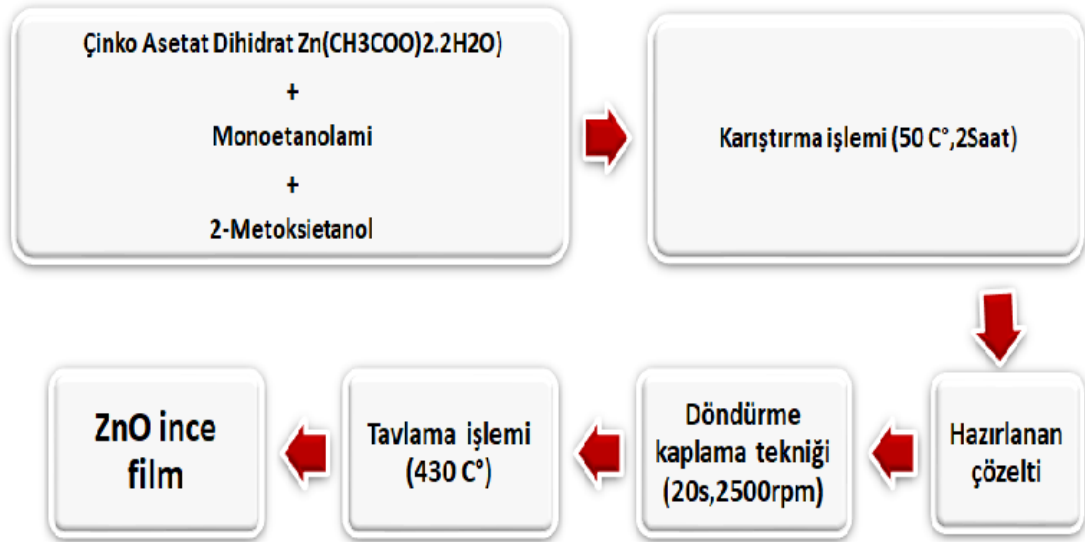
ZnO ince film tabakasının Sol-gel yöntemi ile oluşturulması için öncelikle kaplanacak çözelti hazırladıktan sonra kaplama işlemi Cam ve SnO<sub>2</sub> altlıklar üzerine 20 saniye döndürme süresinde dakikada 2500 devir (rpm) döndürülerek hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Kaplanan filmler daha sonra 200C°'de 5 dakika kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemler belirli bir film kalınlığına ulaşmak amacıyla 7 tur olarak tekrarlanmıştır (Şekil 25). Son işlem olarak elde edilen filmler hava ortamında 430C° sıcaklığında tüp fırında 45 dakika süresince tavlansmıştır Z1, Z2, Z3, Z4 ve Z5 olarak isimlendirilen beş farklı numune üretilmiştir. Z1 ve Z2 örnekleri SnO<sub>2</sub> üzerine kaplı ZnO

ince filmleri, Z3, Z4 ve Z5 isimleri ise Cam altlık üzerine kaplı ZnO ince filmleri temsil etmektedir.

Filmlerin, XRD ve SEM cihazları yardımıyla kristal yapısı ve yüzey morfolojisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Filmlerin optiksel özellikleri UV optik spektrometre ile ölçülmüştür. Yine multimetre ve hall ölçüm cihazı yardımıyla elektriksel özellikleri ve taşıyıcı konsantrasyonları tespit edilmiştir.



Şekil 25. Kullanılan Sol-gel döndürme kaplama ve tavlama fırın cihazlarının fotoğrafları.



Şekil 26. Sol gel tekniğiyle ZnO ince film hazırlanmasının aşamaları.

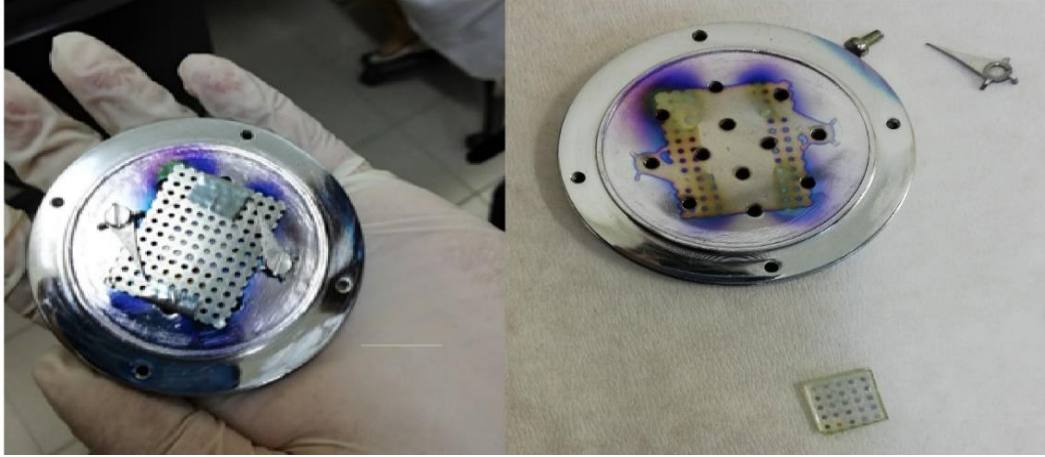
## 2.4. Soğuk Altlık Tekniği ile Ag Kaplanması

Elde ettiğimiz ZnO filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri incelendikten sonra Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub>/Cam mimarisinde Schottky diyotlar ZnO filmler üzerine soğuk altlık yöntemiyle 200K sıcaklıkta ve ayrıca normal oda şartlarında Ag buharlaştırılarak elde edilmiştir. Fiziksel buharlaştırma işlemleri için Vaksis PVD handy/1DLE-LN cihazı kullanılmıştır. Malzemeyi doymuş buhar haline dönüştüren ısıtıcı, buharlaştırılacak malzeme, altlığın tutucularının ve ayarlanabilir pencerenin bulunduğu bölüm, altlık sıcaklığını ayarlamak için ısıtıcı, altlığı soğutmak için sıvı azotun dolaşacağı bakır boru, vakum odası, mekanik pompası ve vakum pompasından oluşmaktadır. Sistemde altlık sıcaklığı 200K ve 300K, vakum ortamın basıncı  $1,5 \times 10^{-5}$ - $8 \times 10^{-6}$ torr ve uygulanan akım değeri 33A belirlenerek Ag kaplama işlemi 7 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Doymuş buharla Cam ve SnO<sub>2</sub> altlığın teması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 27. Ag kaplamasında kullanılmış soğuk altlık tekniği cihazı.

ZnO/SnO<sub>2</sub> filmlere Schottky kontakların fabrikasyonu, altlığın üzerine maske yardımıyla Ag buharlaştırılarak yapılmış ve her bir sıcaklık değeri için çapları 1,5mm civarında 20 Schottky diyot üretilmiştir. Şekil 28'de gösterilmiştir.



Şekil 28. Elde ettiğimiz Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub>/Cam Schottky diyot ve mask fotoğrafları.



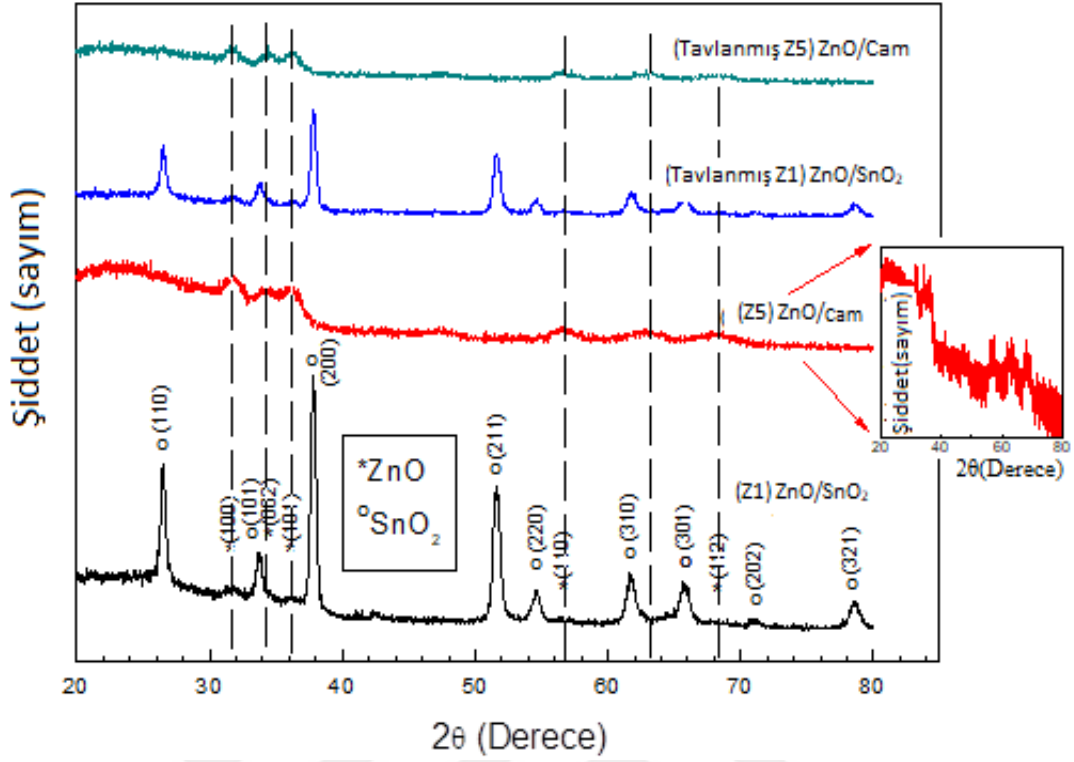
### 3. BULGULAR

#### 3.1. ZnO Filmlerin XRD Ölçümleri

$\text{SnO}_2$  ve cam altlık üzerine büyütülen ZnO ince filmlerin X-ışınları kırınım sonuçları Şekil 29'de sunulmuştur. Grafikten ZnO'nun (002), (100), ve (101) pikleri ile birlikte  $2\theta$  sırasıyla (31,77), (34,42) ve (36,25) açılarında olduğu tespit edilmiştir. Kristal yapıda baskın pik bulunmamaktadır. Elde edilen piklerin şiddetleri düşüktür ve gauss etkisi görülmektedir. Bu durum elde edilen filmlerin nano parçacıklar ihtiva etmesi ile açıklanabilir. Yine film tabakalarının çok ince olmasında etkisi mevcuttur. XRD sonuçlarından ZnO yapısının, vurtzit hegzagonal yapıda olduğu tespit edilmiştir. ZnO filmleri özel bir kübik altlık üzerine büyütülmediğinden ve yine yüksek basınç altında üretilmediğinden (10Gpa) bu duruma etkisi olabilir. Jwad vd., (2018) göre ZnO yapısının X-ışınları kırınım cihazından elde edilen sonuçlarından, (002) piki tercihli yönelimli vurtzit hegzagonal kristal yapıda olarduğu benzer sonuçlar tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** Altlıkların üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin numunelerinin isimleri.

Numune				
Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$\text{SnO}_2$	$\text{SnO}_2$	Cam	Cam	Cam



**Şekil 29.** Sodalı cam ve SnO<sub>2</sub> altlıklar üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin X-ışınları kırınımı desenleri. İç şekil cam üzerine büyütülen ZnO ince filmlerinin yakınlaştırılmış halidir.

ZnO filminin ortalama kristal taneciklerin boyutu  $D = 25$  nm olduğu, X-ışını kırınım piki genişlemesinden yararlanılan Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (8)$$

Burada  $D$  tanecik boyutu,  $\beta$  kırınım genişlemesinden elde edilen maksimum şiddetin radian/derece birimi cinsinden yarısını,  $\theta$  Bragg açısı ve  $\lambda$  ise X-ışınları dalga boyunu göstermektedir. Kristalin yönelimini ifade eden Miller indislerinden yola çıkılarak tanecik boyutları hesaplanmış ve Tablo 3’de verilmiştir.

Atomik düzeyler arası mesafe  $n\lambda = 2d\sin\theta$  ifadesinden hesaplanabilir. Örgü parametreleri (lattice) ise denklem (9), (10) ve (11)’den hesaplanabilir.

$$\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (9)$$

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{3} \sin \theta(100)} \quad (10)$$

$$c = \frac{\lambda}{\sin \theta(002)} \quad (11)$$

Burada  $d$ ,  $n\lambda=2d\sin\theta$ 'den elde edilen atom tabakalarının ara mesafesi ve (hkl) Miller indisleridir. Elde edilen veriler Table 3'de sunulmuştur.

**Tablo 3.** ZnO/SnO<sub>2</sub> filmleri için X-ışınları grafiğinden elde edilen ve hesaplanan bazı değerleri.

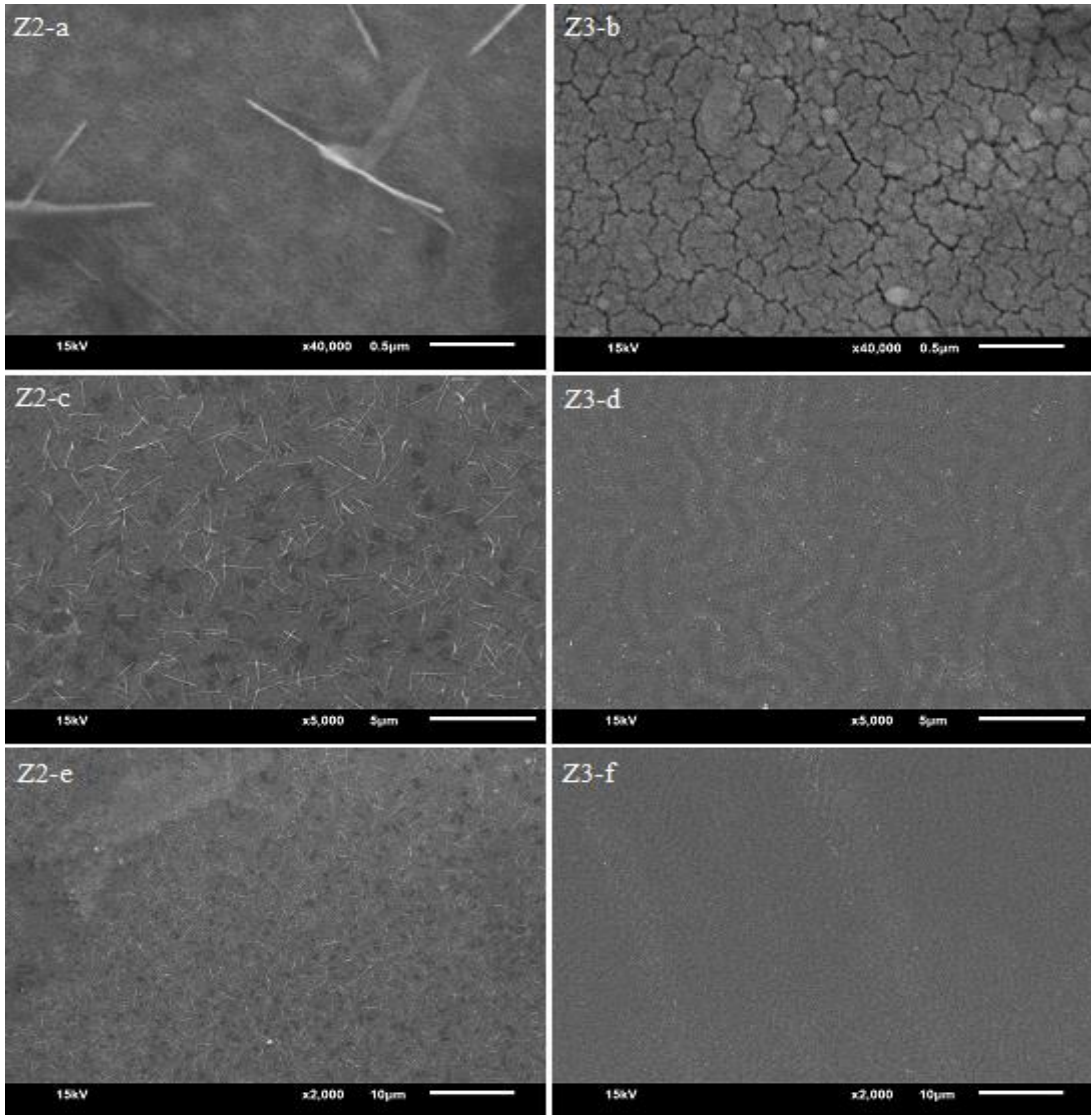
Miler (hkl)	2θ (der)	β (der)	FWHM	D(nm)	d(A°)
100	31,77	0,48		30,02	2,81
002	34,42	0,55		26,38	2,60
101	36,25	0,54		27,00	2,48
110	56,60	0,65		24,21	1,62
103	62,86	0,73		22,25	1,48
112	67,96	0,78		21,42	1,38

Tablo 3 incelendiğinde, elde edilen ZnO/SnO<sub>2</sub> filme ait ortalama tane boyutu 25nm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu filmlerin pik şiddetinin diğer filmlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Tane boyutu ve pik şiddetlerindeki artış ile birlikte kristalleşmede iyileşmeler gözlenir. Bu özellikleri ile en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin ZnO/SnO<sub>2</sub> filmlerine ait olduğu belirlenmiştir. Şekil 29'de ZnO/SnO<sub>2</sub> ait filmin XRD spektrumu sonuçlarına göre hekzagonal ZnO örgü parametreleri  $a= 3,18\text{Å}$ ,  $c= 5,30\text{Å}$  olarak bulunmuştur. Keskenler vd., (2012) tarafından yapılan benzer çalışmaya göre ZnO ince filmlerin kristal tane boyutu, örgü parametreleri ve kristal yapısı için çok yakın değerler rapor edilmiştir.

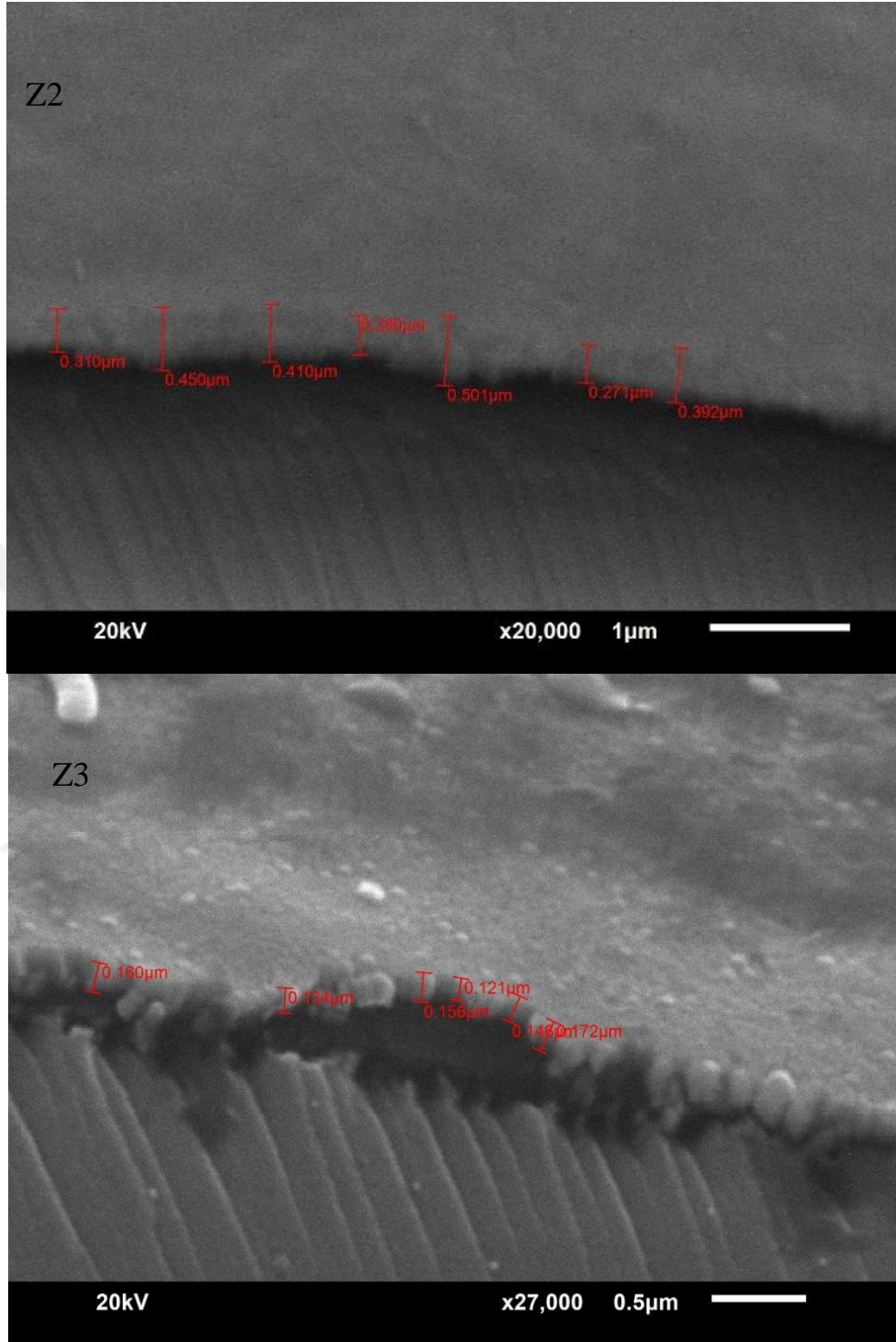
### 3.2. ZnO Filmlerin ve Schottky Kontakların SEM Analizi

Filmlerin Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) görüntüleri Şekil 30'da verilmiştir. Görüntülerden filmlerin morfolojik özelliklerinin altlığa göre değişiklik gösterdiği açıkça görülmektedir. Şekil 30-a ve 30-c'de, Kalay Oksit (SnO<sub>2</sub>) altlıklar üzerine büyütülen filmlerde (Z2) ince katlanmaların neden olduğu iğnemsî yapılar belirlemekle birlikte yapının daha küçük tanecikli yapıda olduğu görülmektedir. Cam üzerine elde edilen filmlerin (Z3) Z2 numunelerine nispetle daha büyük tanecik yapılar sergiledikleri açıktır. Film tanelerinin ayrılma bölgeleri geniş vadi gözenekler

içermektedir. Şekil (30-c, d, e ve f) ile birlikte filmlerden uzaklaşıldığında Z2 numunesinin homojen şekilli iğnemsî yapıları netlik kazanırken Z3 numunesi yüzeyinde dalgalı bir yapı gözlemlenmektedir. Bu duruma altlığa ilk tutunan atom tabakalarının yüzey etkileşmelerinin sebep olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekil 30-a da 30-b ye nisbeten daha sıkı ve homojen bir yapıda olduğu ve Şekil 30-b'nin parçalı bir yapıda olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, Z2 numunesinin SnO<sub>2</sub> yarı iletken altlık üzerine büyütülmüş olması ve bu yapının ZnO'ya referans kalıp büyüme ve yüzeye daha sağlam tutunma ortamı sağlaması olarak açıklanabilir.



**Şekil 30.** Sırasıyla SnO<sub>2</sub> ve cam altlıklar üzerine büyütülen Z2 ve Z3 numunelerinin; a) Z2 filmini x40000 büyütme, b) Z3 filmini x40000 büyütme c) Z2 filmini x5000 büyütme d) Z3 filmini x5000 büyütme e) Z2 filmini x2000 büyütme f) Z3 filmini x2000 büyütme SEM görüntüleri.

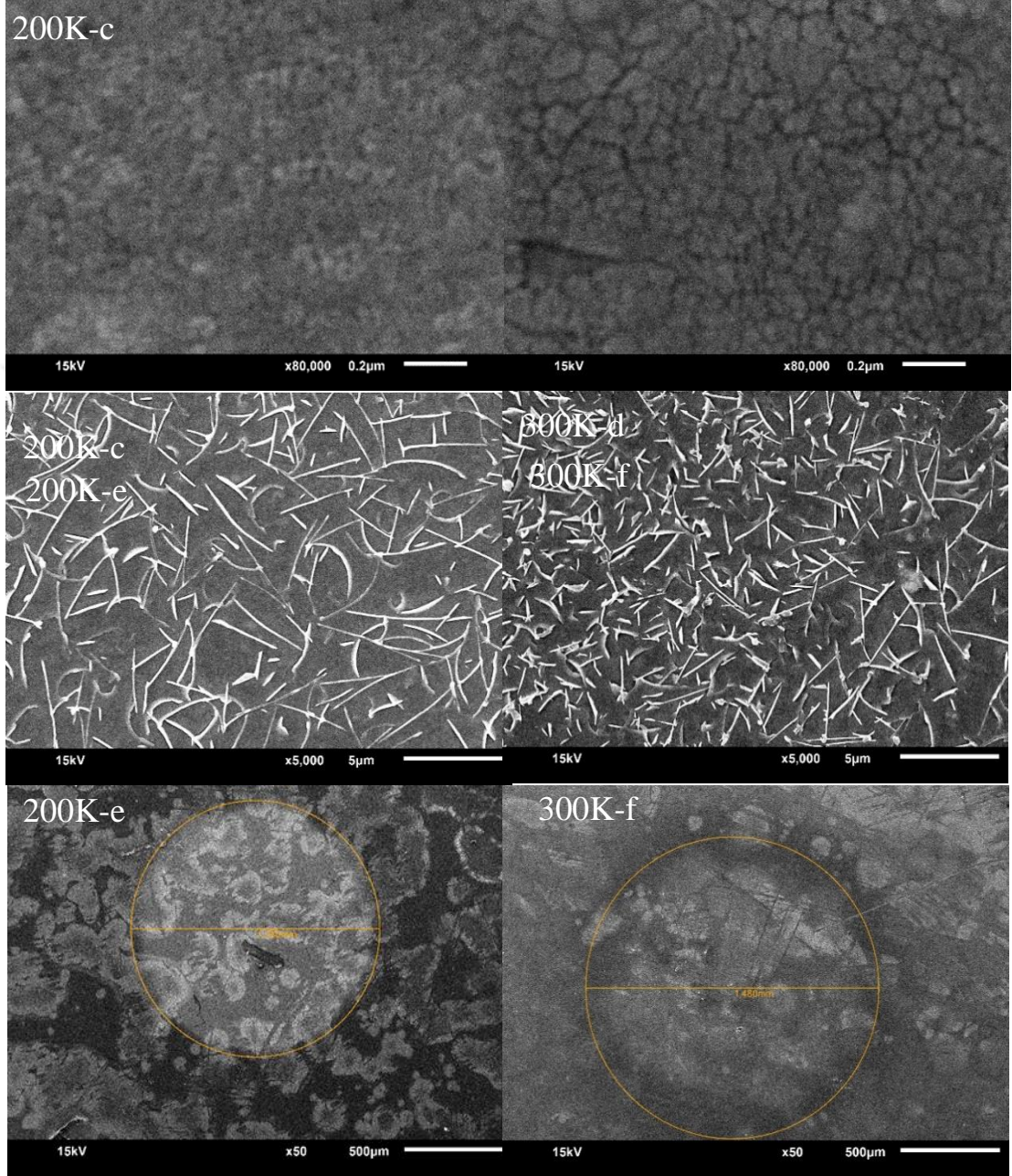


**Şekil 31.** SnO<sub>2</sub> ve cam altlık üzerine büyütülen Z2 ve Z3 numunelerinin 60° eğimle kesit SEM görüntüleri ve film tabaka kalınlıkları.

Şekil 31’de sunulan çapraz kesit SEM görüntülerinden film kalınlıkları görülmektedir. Mikroskop görüntülerinden film kalınlıkları Z2 numunesi için ortalama



320nm ve Z3 numunesi için ortalama 149nm olarak tespit edilmiştir. Görüntülerden film kalınlıklarının homojen olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 32.** ZnO filmler üzerine soğuk altlık sıcaklığı 200K ve oda sıcaklığında 300K de elde edilen Schottky kontaktların a) 200K x80000 büyütme b) 300K x80000 büyütme c) 200K x5000 büyütme d) 300K x5000 büyütme e) 200K x50 büyütme f) 300K x50 büyütme SEM görüntüleri.

Şekil 32’de SnO<sub>2</sub> altlık üzerine büyütülen ZnO yapılarına 200K ve 300K sıcaklıklarında yapılan Ag Schottky kontaktlarının SEM görüntüleri verilmiştir. Soğuk altlık (200K) ve oda sıcaklığında bulunan altlık (300K) üzerine büyütülen filmlerin yüzey

morfolojileri ve tane boyutlarının analizi Şekil 32-a ve 36-b yardımıyla yapılmıştır. 200K sıcaklığında ki ZnO üzerine buharlaştırılan Ag kontağın 300K sıcaklığındakilere göre çok daha küçük tane boyutlarına sahip olduğu açıktır. 200K sıcaklıklı altlık üzerine oluşturulan Ag film tabakası diğerine göre daha pürüzsüz ve gözeneksiz bir yapıya sahiptir. 300K sıcaklıklı altlık üzerinde ki Ag vadi şekilli gözeneklere sahiptir ve bu gözenekler ile ayrılan tane boyutları oldukça büyüktür. Vakum çemberinde buharlaştırılan Ag atomları yüksek enerjileri ile hedef altlığa yönelirler ve hedef altlığa çarparak birikime yol açarlar. Hedef altlık sıcaklığı düşürüldüğünde Ag atomları yüzey aktivasyon enerjisi azaltılmış bir altlık ile karşılaşır. Bu durum yüksek enerji ile altlığa ulaşan Ag atomlarını şoklar ve çarptıkları yerde donmalarını sağlar. Böylece daha homojen ve özellikle nano boyutlu küçük tanecikli yüzey oluşumlarına imkân verir. Hedef altlık yüzey termal enerjisinin kaplanacak metal kontak üzerinde önemli etkileri olduğu sonucu çıkarılmıştır. Şekil 32-c ve 32-d bakıldığında Ag tabakasının iğnemi bir yapı sergilediği ve bu yapının 300K sıcaklıklı altlıkta daha yoğunlaştığı sonucuna varılmaktadır. Kaplanan Ag tabakasının ince kalınlığından dolayı Ag'nin altında bulunan ZnO filmlerine ait yüzey özellikleri kendini göstermeye devam etmiştir. Şekil 32-e ve 32-f'de her iki altlık sıcaklığı için kaplanan kontak alanının büyüklüğü yaklaşık 1,5mm<sup>2</sup> olduğu görülmektedir.

### 3.3. ZnO Filmlerin Optik Ölçümleri

Yarı iletken malzemeler üzerlerinde düşürülen ışığa verdikleri tepki olarak üç gruba ayrılmaktadır.

Geçirgenlik; malzeme üzerine gelen ışın ile incelenen malzeme üzerinden geçen ışın arasında ki orandır.

$$T_{\%} = \phi_T / \phi_0 \quad (12)$$

Yansıma; malzeme üzerine gelen ışın ile incelenen malzeme yüzeyinden yansıyan ışın ışın arasında ki orandır.

$$R_{\%} = \phi_R / \phi_0 \quad (13)$$

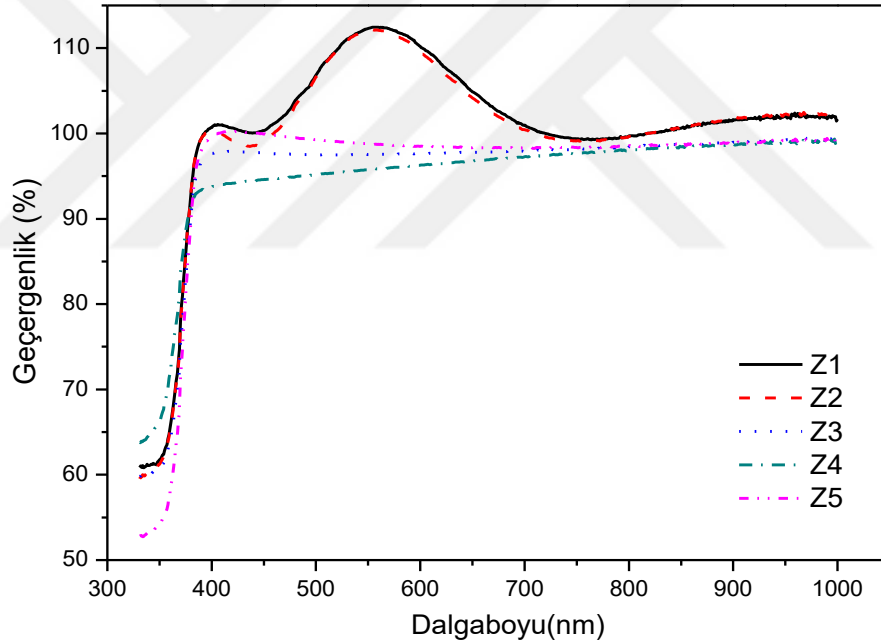
Soğurma; malzeme üzerine gelen ışın ile incelenen malzeme tarafından soğrulan ışın arasında ki orandır.

$$A_{\%} = \Phi_A / \Phi_0 \quad (14)$$

$$\Phi_0 = \Phi_T + \Phi_R + \Phi_A \quad (15)$$

$$T + R + A = 1 \quad (16)$$

Elde ettiğimiz ZnO/SnO<sub>2</sub> ve ZnO/Cam ince filmlerin optiksel analizleri oda sıcaklığında 300 ile 1100nm dalga boyu aralığında UV Optik Spektrometre ile yapılmıştır.



**Şekil 33.** Elde edilen 30C° deki ZnO ince filmlerin geçirgenlik-dalga boyu grafiği.

Şekil 33'de SnO<sub>2</sub> (Z1 ve Z2) ve Cam (Z3, Z4 ve Z5) altlık üzerine kaplı filmlere ait geçirgenlik eğrileri sunulmuştur. Şekilden, filmlerin optik geçirgenliğinin 95% 'ten daha fazla olduğu görülmektedir. Yine Z1 ve Z2 numunelerine ait eğrilerde gişim saçakları tespit edilmiştir. Bu durum, Z1 ve Z2 numunelerinin yarı iletken altlık üzerine büyütülmesinden dolayı daha homojen bir film tabakası oluşturduğundan kaynaklanabilir. Temel vd., (2017), benzer bir çalışmalarında ZnO filmlerin optik

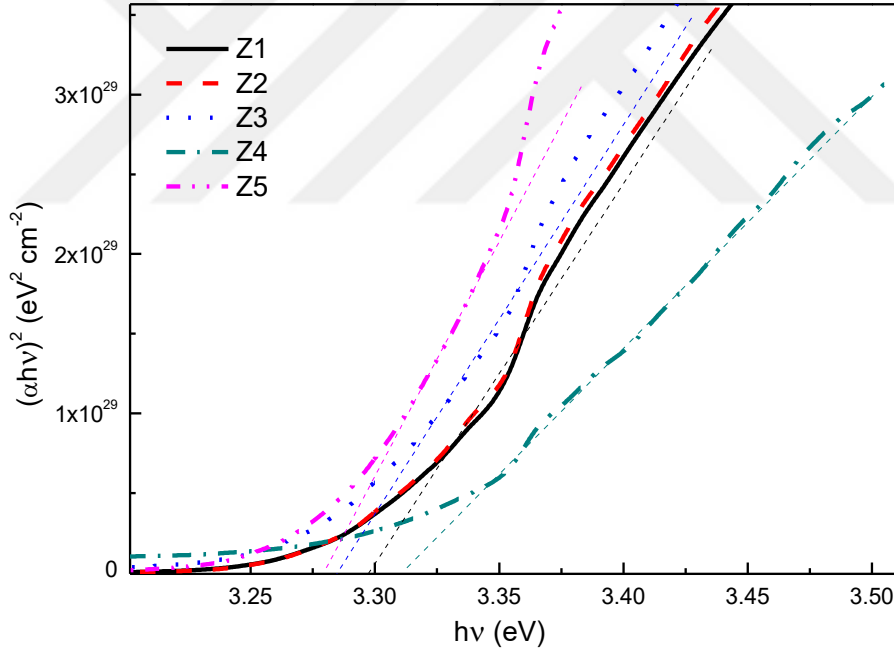


geçirgenliklerini yaklaşık olarak %90 civarında bulmuşlardır. Beer Lambert denkleminde (17) soğurma katsayısı şöyle ifade edilmektedir.

$$T = (1 - R)e^{-\alpha d} \quad (17)$$

Yarı iletken bant aralığı soğurma katsayısıyla foton enerjisinin ilişki üzerinden hesaplanabilir (Banerjee, Chattopadhyay, 2005). Şekil 34'te filmlere ait  $(\alpha h\nu)^2$  ifadesine karşın foton enerjisi grafiği sunulmuştur. Grafik eğrilerinin lineer kısımlarının  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  değeri için  $h\nu$  eksenini kestiği nokta yasak enerji bant değerleridir. Bu metodu Tauc metodu olarak bilinir ve denklem (18) ile ifade edilir.

$$\alpha^2 \propto (h\nu - E_g) \quad (18)$$



**Şekil 34.** Elde edilen filmlerin  $(\alpha h\nu)^2$  değerlerine göre foton enerjisi ( $h\nu$ ) grafiği sayısında yasak enerji aralıklarının gösterimi.

Bahsedildiği gibi kristaldeki iletim bandı ile valans bandı arasında bulunan  $\Delta E$  enerji farkı yasak enerji aralığı olarak bilinmektedir. İletken, yalıtkan ve yarı iletkenleri karakterize eden önemli bir parametredir. Yarı iletkenler için bu enerji farkı yaklaşık 0,5 ile 5eV aralığındadır. Şeffaf oksit yarı iletkenler için yasak enerji değerleri 3-5eV civarında bulunmaktayken, bu değerler hazırlanacak çözeltideki bileşiklerin

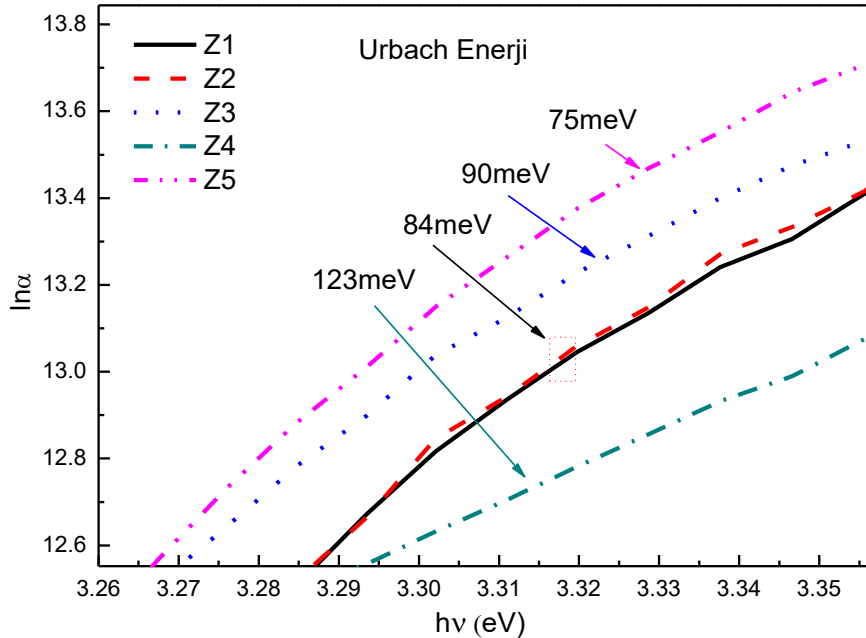
konsantrasyonlarına, türlerine, kaplama yöntemine ve ortamın şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Şekil 34'de sunulan grafikten farklı altlık üzerine biriktirilen ZnO filmlere ait enerji bant aralığı değerleri 3,25-3,35eV civarında bulunmuştur. Karataş vd., (2018), tarafından yapılan çalışmada elde edilen değerlere uyumlu sonuçlar bulunmuştur.

Şekil 35'te  $\ln \alpha$ 'nın foton enerjisine karşın grafiği sunulmuştur. Soğurma katsayısı eğrisi boyunca ve optik bant kenarı yanında Urbach kuyruğu adı verilen üstel bir kısım vardır. Düşük foton enerji aralığında, absorpsiyon katsayısının ( $\alpha$ ) ve foton enerjisinin ( $h\nu$ ) spektral bağımlılığı, ampirik denklemlerle (19, 20, 21) verilen Urbach Enerjisi olarak bilinir (URL-17). Urbach enerjisi kristaldeki kusurlara ve sıcaklığa bağlı olarak ifade edilir. Elde edilen değerler sıcaklık sabit tutularak kusurlara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\ln \alpha = E \frac{1}{E_u} \left( \ln(\alpha_0) + \frac{E_0}{E_u} \right) \quad (19)$$

$$E_u^{-1} = \Delta(\ln \alpha) / \Delta(h\nu) \quad (20)$$

$$E_u^{-1} = \frac{d(\ln \alpha)}{dE} \quad (21)$$

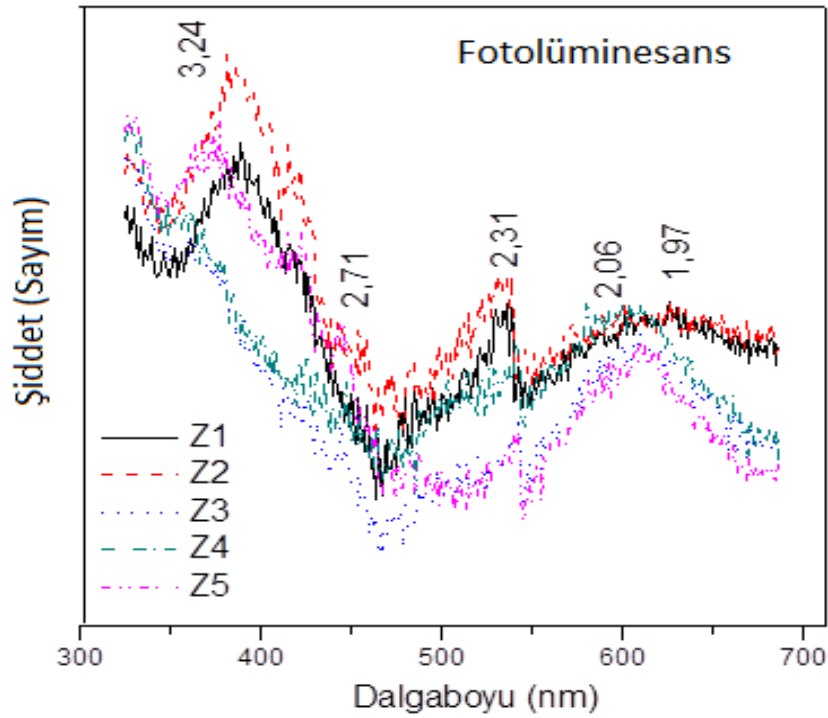


Şekil 35. Elde edilen filmlerin ( $\ln \alpha$ ) eğrelerine göre foton enerji ( $h\nu$ ) grafiği sayısında Urbach enerjisi gösterimi.

**Tablo 4.** Elde ettiğimiz numenin geçirgenliği, enerji bant aralığı ve Urbach enerjisi değerleri.

ZnO/Altılık	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
T %	98	97	95	93	96
$E_g$ (eV)	3,298	3,298	3,285	3,311	3,279
$E_u$ (meV)	84	84	90	123	75

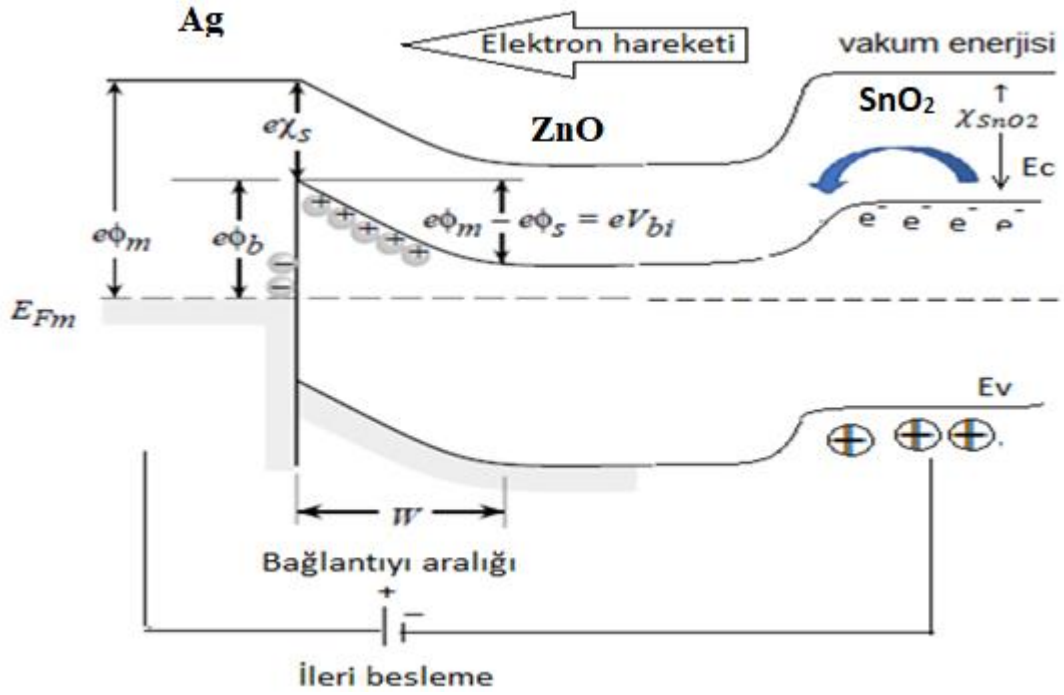
Fotoluminesans optik uyarımı ile ayırık enerji seviyelerini araştırmak ve yarı iletken numune kompozisyonu, kuantum kuyusu kalınlığı veya kuantum nokta monodispersitesi hakkında değerli bilgiler çıkarmak için güçlü bir tekniktir. Bu teknikte, iletim bandına uyarılan elektron, valans bandına inip boşlukla birleşir ve elektron kaybettiği enerjisiye denk frekansta foton meydana getirir. Fotoluminesans, malzemenin özelliklerinden, kristaldeki kusurlardan ve optik uyarım parametrelerinden etkilenmektedir (Zhu vd., 1994).



**Şekil 36.** Elde edilen filmlerin ışımın şiddetine göre foton enerji dalga boyu grafiği sayısında Fotoluminesans gösterimi.

### 3.4. Ag/ZnO Schottky Diyotun Elektriksel Karakterizasyonu

Schottky bariyer metal ve yarı iletken arasında ön gerilim uygulandığında meydana çıkar. Genel olarak metal tarafına pozitif ve yarı iletken tarafına N-tipi ise negatif gerilim uygulanır. Deneyde fabrikasyonu gerçekleştirilen katmanlı Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> yapısına düz ve ters beslem gerilimleri uygulanmıştır.



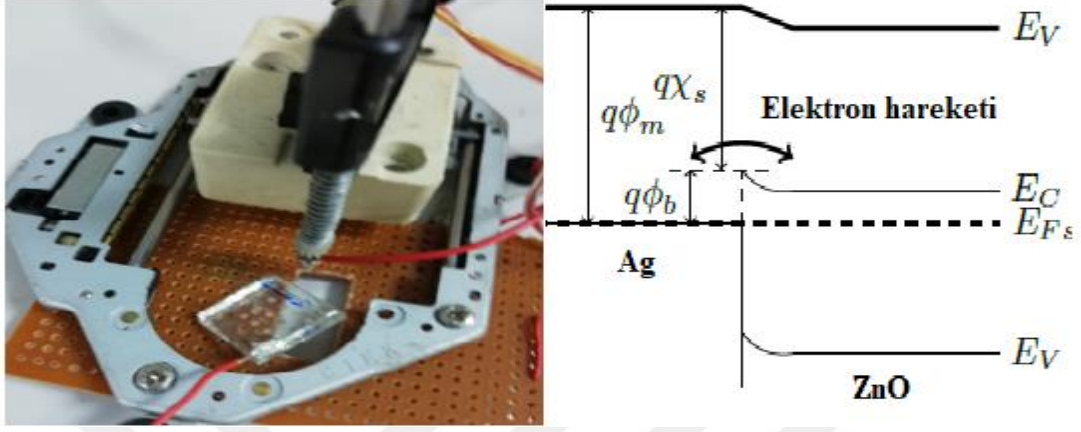
Şekil 37. Elde ettiğimiz Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot enerji bant diyagramı.

Bilindiği üzere Schottky kontaklar doğrultucu olarak çalışırlar ve yüksek anahtarlama hızları nedeniyle yüksek hızlı uygulamalar için uygundur. Teorik olarak, metalin iş fonksiyonu ( $\phi_m$ ), N-tipi yarı iletkenin elektron ilgisinden ( $\phi_s$ ) daha büyükse Schottky kontak oluşur. Şekil 37 termal dengedeki bir metal ile N-tipi yarı iletken arasında oluşturulmuş enerji durumlarını göstermektedir.

Metal ve yarı iletkenin Fermi seviyeleri eşitlendiğinde ve enerji şemasında bant bükülmesi gözlemlendiğinde iş fonksiyonundaki farkı olarak hesaplanır.

$$\phi_i = \phi_m - \phi_s$$

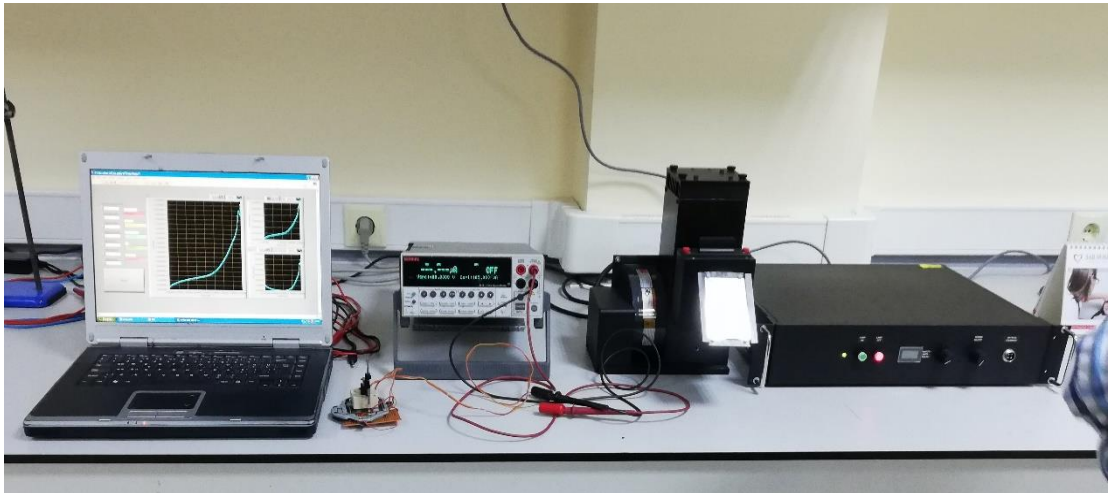
Bariyer potansiyeli ( $\phi_b$ )  $\phi_b = \phi_m - \chi_s$  ifadesinden hesaplanabilir. Burada  $\chi_s$  yarı iletkenin elektron afinitesidir. Bir beslem uygulandığında, yarı iletken ve metalin Fermi seviyeleri arasında ( $qV_A$ ) kadar enerji farkı oluşur.



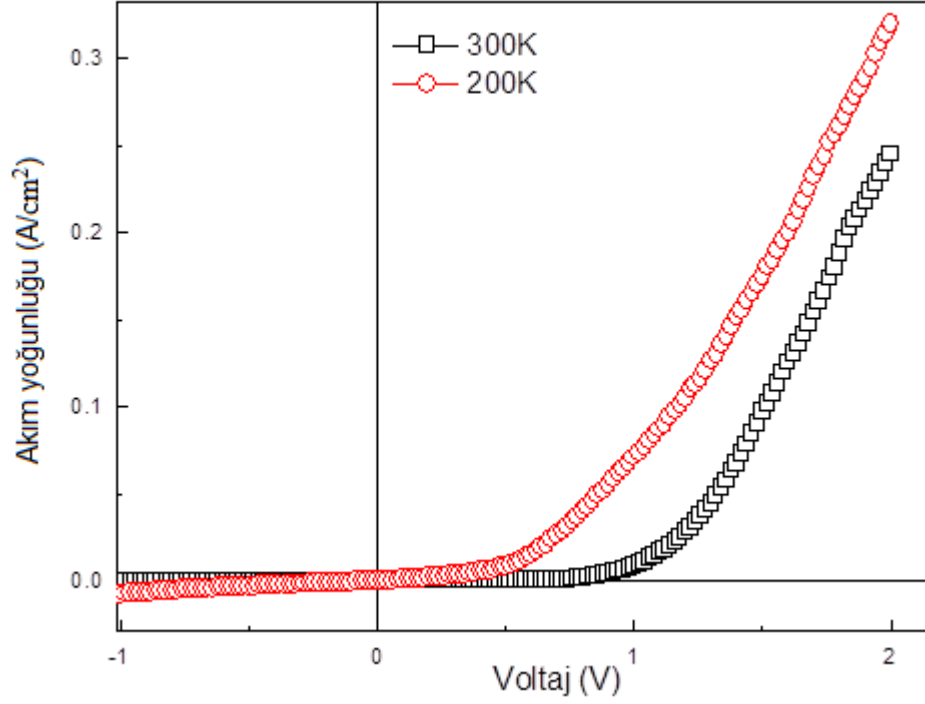
Şekil 38. Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> uçlarına gerilim uygulandığında numunenin fotoğrafı ve enerji bant diyagramı.

Tablo 5. ZnO için Ag iş fonksiyonu ve elektron ilgisi ( $q\phi$  ve  $q\chi$ ) değerleri (URL-18).

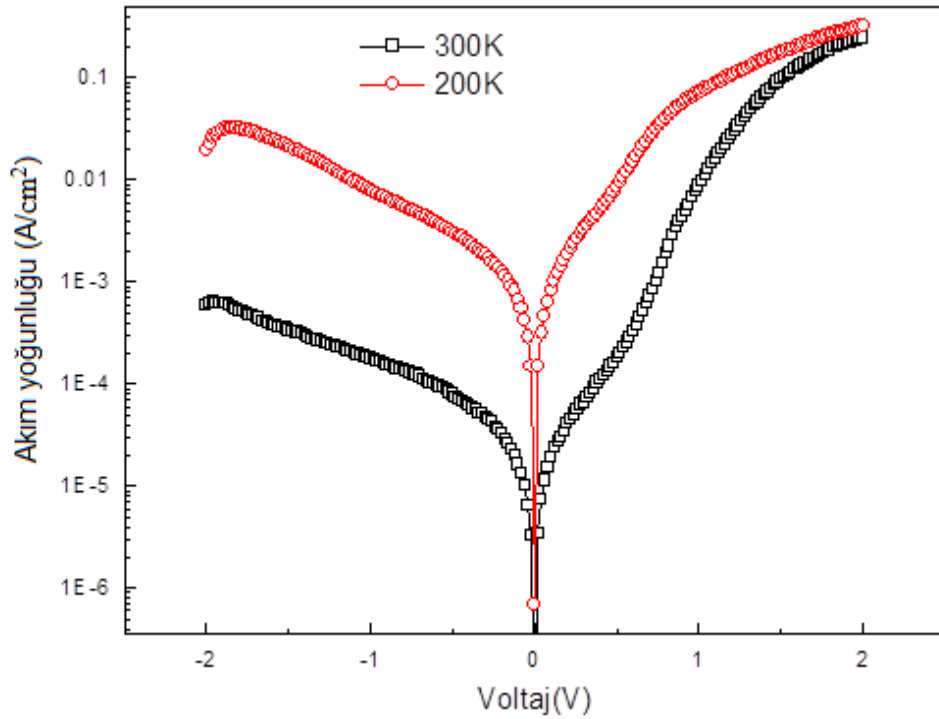
Tür	$q\phi$ (eV)	$q\chi$ (eV)
ZnO	5,076	4,52-4,74
Ag	4,2	1,3



Şekil 39. I-V karakteristikleri elde edilmesinde kullanılan cihaz.



Şekil 40. Sol-gel ve Soğuk altlık tekniğiyle büyütülen Ag/ZnO Schottky diyotun 300K ve 200K Akım yoğunluğu-Voltaj karakteristiği.



Şekil 41. 200K ve 300K sıcaklıklarda kontaklanan Ag/ZnO Schottky diyotun yarı logaritmik Akım yoğunluğu-Voltaj karakteristiği.

Sol-gel yöntemiyle üretilen ZnO yapılarının üzerine soğuk altlık fiziksel buharlaştırma tekniğiyle fabrikasyonu gerçekleştirilen Ag/ZnO diyotun akım yoğunluğu voltaj grafiği Şekil 40’de sunulmuştur. Görüldüğü üzere 200K sıcaklığında oluşturulan kontak 300K sıcaklığında oluşturulan kontakta göre zayıf diyot etkisi göstermektedir. 200K’de oluşan kontakların nano tanecikli yapısı bu duruma sebep olabilir. Tanecik boyutunun küçülmesi yüzey alanının büyümesi ve tane sınırı etkileşmelerinin artması sonucunu doğurmaktadır. Buda malzeme direncinin artmasına sebep olmaktadır. 200K’de üretilen diyot yaklaşık~0,5 voltta aktif olurken yine bu kesim voltajı 300K’de üretilen diyot için yaklaşık~1 voltur. Ters beslem altında erken bir kırılma görülmemekle birlikte 300K sıcaklıkta elde edilen diyotun daha stabil olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Oluşturulan Schottky eklem yapının yarı-logaritmik J-V karakteristiği Şekil 41’de verilmiştir ve şekilden yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğu söylenebilir. 200K’de oluşturulan Ag/ZnO Schottky eklemi diyot davranışı göstermekle birlikte omik özelliğe yaklaşmaktadır. Benzer durum Sol-gel tekniğiyle tarafından üretilen Schottky Ag/ZnO kontaklarda da gözlenmiştir. Oda sıcaklığında Schottky diyotların doyum akımı, logaritmik J-V grafiğinin ters akım bölgesinin ekstrapolasyonundan elde edilir. Ters doyum akım yoğunluğu uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak şu şekilden ifade edilir (Cheung ve Cheung, 1986).

$$I = I_0 \left( e^{qV/nkT} - 1 \right) \quad (22)$$

Burada  $I_0$ ,  $q$ ,  $V$ ,  $k$ ,  $n$  ve  $T$  sırasıyla; doyum akımı, elektrik yükü, uygulanan voltaj, Boltzmann sabiti, idealite factörü ve Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Ters doyum akımı  $I_0$  şöyle yazılır.

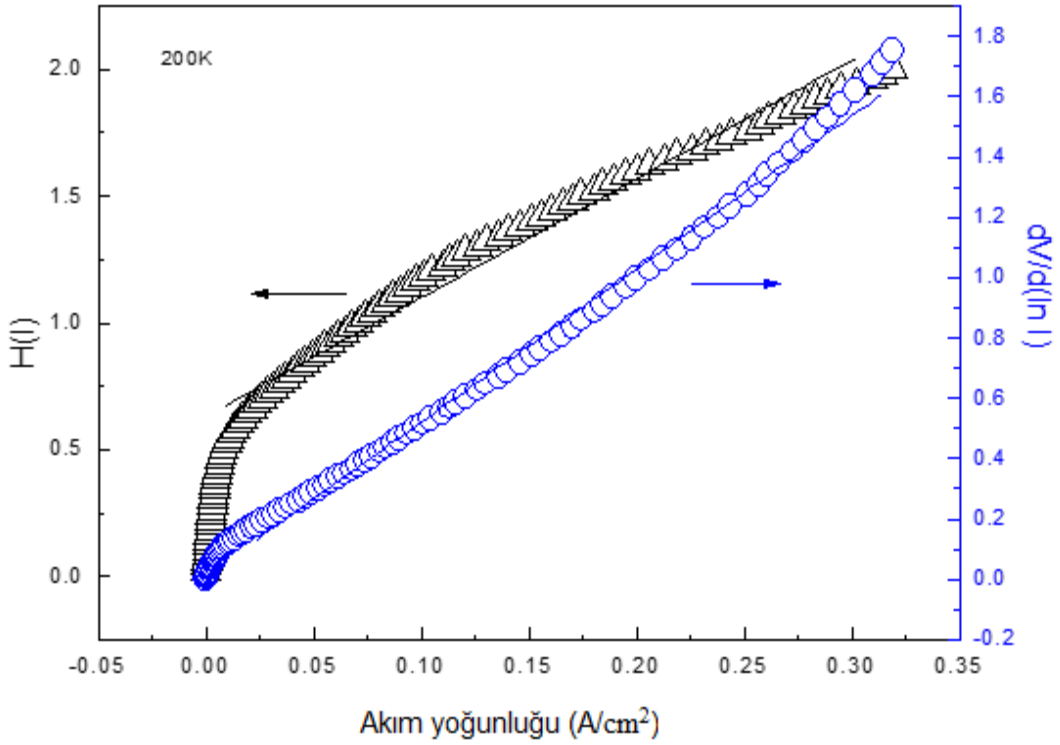
$$I_0 = AA^*T^2 e^{-q\phi_{b0}/kT} \quad (23)$$

Burada  $A^*$  teorik Richardson sabiti (ZnO için;  $32A/cm^2K^2$ ),  $A$  diyot alanı (SEM görüntüsünden elde edildi) ve  $\phi_{b0}$  ise sıfır beslemde bariyer yüksekliğidir.  $\ln(I)-V$  grafiği ileri beslemenin düz çizgi bölgesi eğiminden idealite faktörü  $n$  bulunur ve ifade şu şekilde yeniden düzenlenir;

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (24)$$

İdeal durumda idealite faktörünün 1 olması istenir. Fakat idealite faktörü  $1 < n$  değerlerde olabilir. Eğer  $n$  1 ile 2 arasında bir değer ise bu durumda tünellemeli akım mekanizması baskın olduğu manasına gelmektedir. Eğer  $n=2$  ise jenerasyon rekombinasyon akım mekanizması baskındır. Şayet  $n > 2$  ise budurumda da sızıntı akım mekanizması baskın olduğu sonucuna varılır (Keskenler vd., 2013).  $I_0$ ,  $\ln(I)$ - $V$  eğrisinin ileri beslem bölgesinin  $V=0$  da ekstrapolasyonundan tespit edilebilir.  $\Phi_{bo}$  verilen formülden (25) elde edilir.

$$\Phi_{bo} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (25)$$



Şekil 42. 200K sıcaklığında  $H(I)$ ,  $Dv/d \ln(I)$  ile  $J$  akım yoğunluğu karakteristikleri.

Yukarıda sunulan eşitliklerden hesaplanan  $n$ ,  $I_0$  ve  $\Phi_{bo}$  'ın deneysel verileri Tablo 6'de sunulmuştur.  $\Phi_{bo}$ ,  $n$  and  $R_s$  elektriksel parametrelerin değerleri aynı zamanda Cheung ve Cheung (1986) tarafından geliştirilen metotlarda hesaplanabilir. Cheung ve



Cheung fonksiyonundan seri direnç aşağıda sunulan denklemler yardımıyla tespit edilebilir

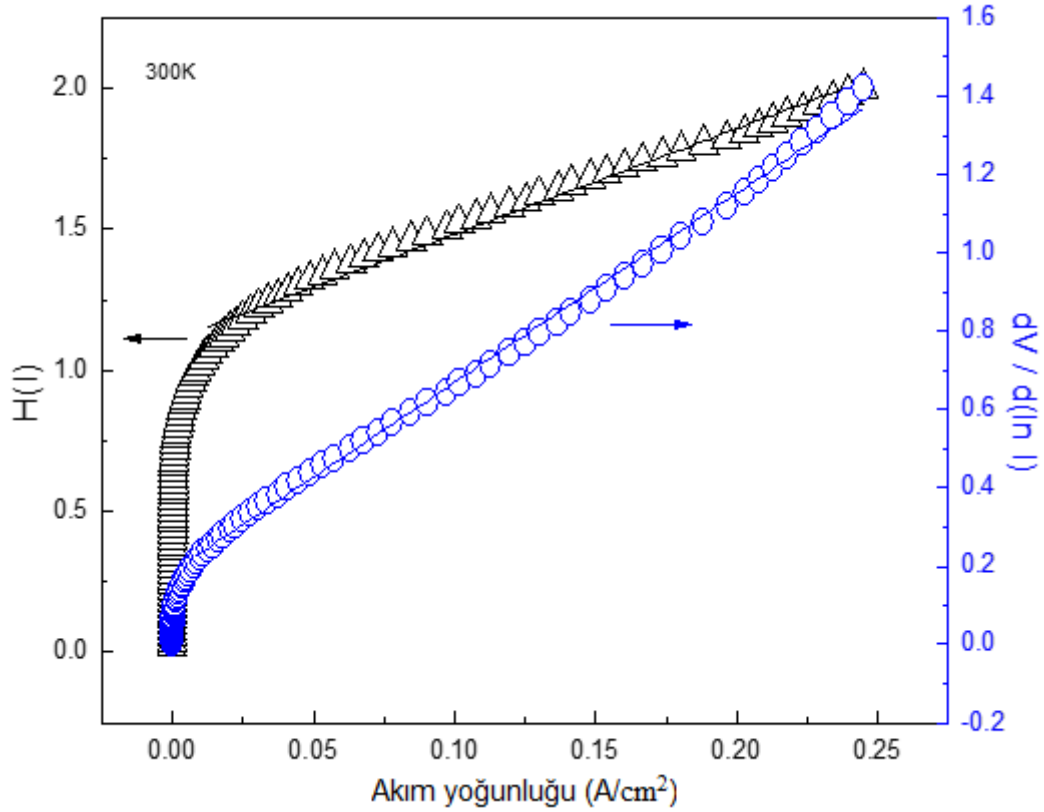
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = IR_s + \frac{nkT}{q} \quad (26)$$

Denklemden (26) yola çıkılarak  $dv/d(\ln I)$ -I grafiğinin eğimi seri direnci ( $R_s$ ) ve ekstrapolasyonundan ise idealite faktörü ( $n$ ) bulunabilir. Eğer  $n=1$  ise eşitlik şu şekilde yazılabilir.

$$H(I) = IR_s + \frac{\phi_{b0}}{q} \quad (27)$$

$$H(I) = V - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (28)$$

Şekil 42 ve 43 sırasıyla 200K ve 300K sıcaklıklarında elde edilen Ag/ZnO Schottky diyotların  $dv/d(\ln I) - I$  ve  $H(I) - I$  grafiklerini göstermektedir. Seri direncin ( $R_s$ ) ve bariyer yüksekliğinin ( $\Phi_{b0}$ ) ikinci bir tespit ise  $H(I)-I$  grafiğinin sırasıyla eğimi ve  $H(I)$  eksenini kestiği noktadan hesaplanabilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

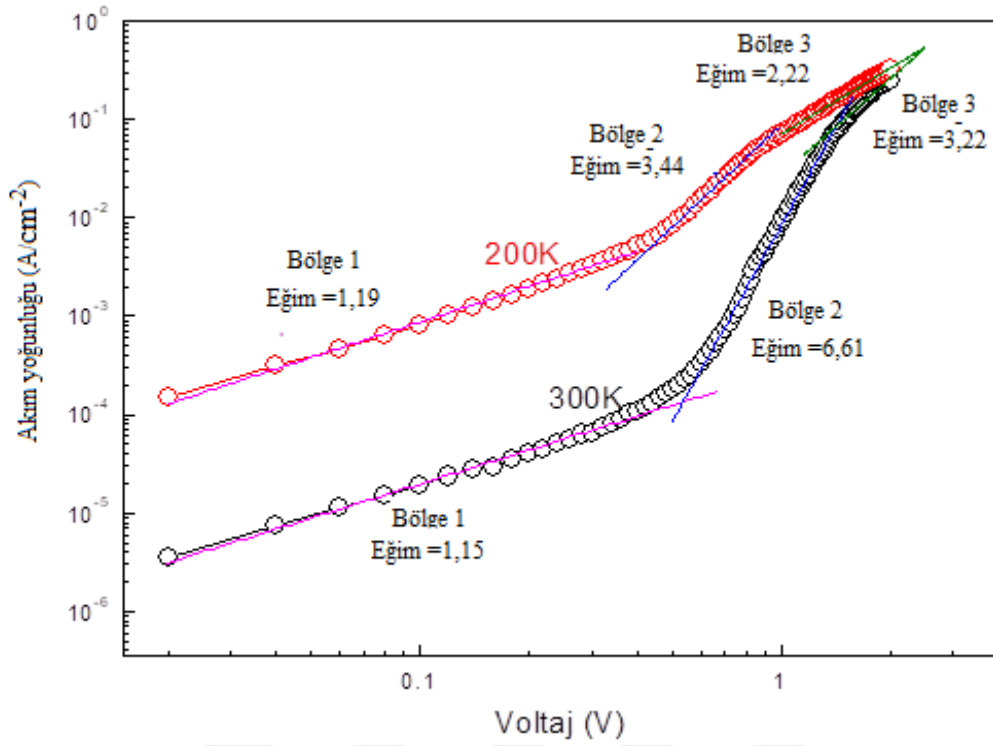


**Şekil 43.** 300K sıcaklığında  $H(I)$ ,  $dv/d \ln(I)$  ile  $J$  akım yoğunluğu karakteristikleri.

Elde ettiğimiz  $I_0$ ,  $\Phi_{b0}$ ,  $R_s$  değerleri (Rakhshani, 2008; Singh vd., 2017) tarafından yapılan çalışmalar ile benzer değerler göstermiştir. İdealite faktörü, büyütülen ZnO filmlerin çok ince olmasından (ortalama~300nm) dolayı büyük değerlerde elde edilmiştir. Burada akım mekanizması yük taşıyıcıların birikmesinden oluşmaktadır. Yakuphanoglu vd., (2004) ile Wang vd., (2012), tarafından yapılan çalışmalarda da büyük değerlerde olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Elde ettiğimiz  $n$ ,  $I_0$ ,  $R_s$ ,  $\Phi_{b0}$  ve  $N_d$  sonuçları.

Ag/ZnO Diyodu	V – ln (I)		H(I) – I			dv/dln(I) – I	
	n	$I_0$ (A)	$\Phi_{b0}$ (eV)	$\Phi_{b0}$ (eV)	$R_s$ ( $\Omega$ )	n	$R_s$ ( $\Omega$ )
200K	15,6	$4,7 \times 10^{-4}$	0,48	0,43	4,46	15,6	4,88
300K	8,6	$4,6 \times 10^{-7}$	0,66	0,15	3,65	7,41	4,78

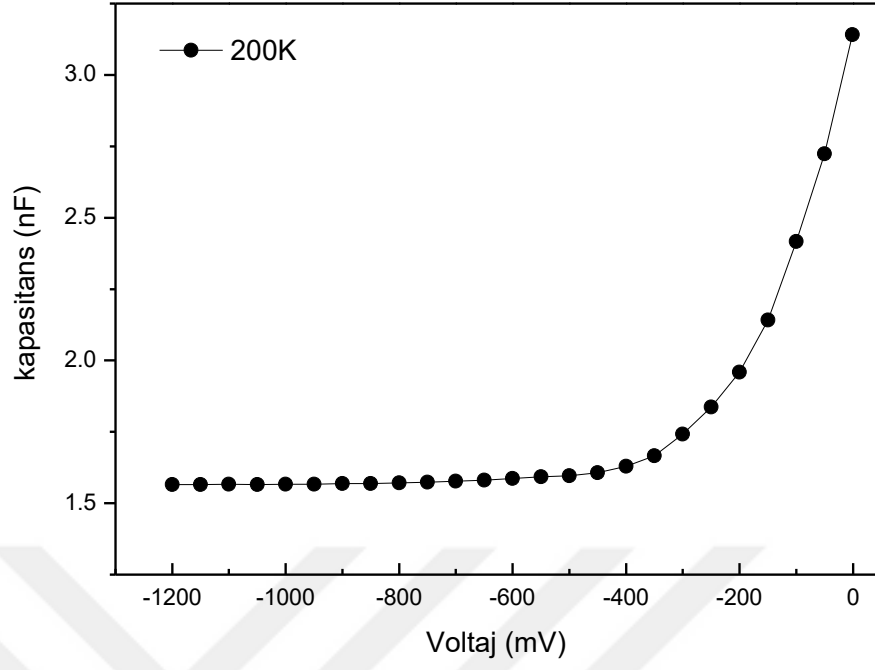


**Şekil 44.** 200, 300K sıcaklığında üretilen diyotların çift logaritmik I–V karakterstikleri.

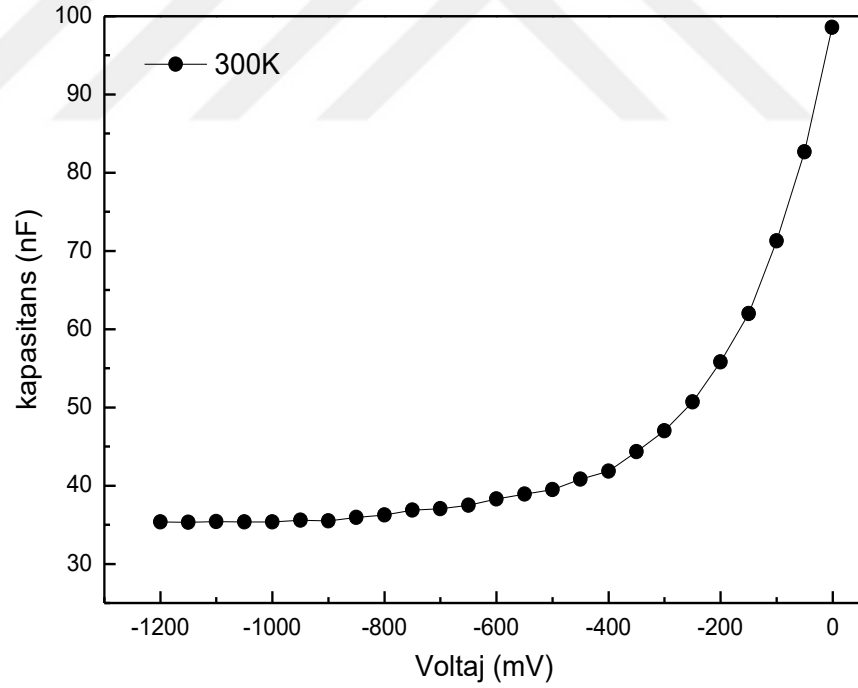
Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub>'nin yapısının elektrik davranış analizi için 200 ve 300K sıcaklığında çift logaritmik I–V karakteri, Şekil 44'te sunulmuştur. Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> yapısı düz beslem altında farklı eğim ile üç doğrusal bölgeye ayrılır. 1, 2 ve 3 bölgeleri için çeşitli taşınım mekanizmaları olduğu bildirmektedir. 2 ve 3 bölgelerinde eğim değerleri 2'den fazla olduğundan dolayı ve Mott-Gurney Yasasından ( $I \propto V^m$ ) yola çıkılarak uzay-yükü sınırlı akım mekanizmasının aktif olduğu bulunmuştur. Burada “m” Şekil 44’ün üç farklı lineer bölgesi için tespit edilen eğimden bulunur. Oluşan akım Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> aygıtındaki yük iletkenliği ve hareketliliğine dayanarak yük taşıyıcılarına bakılmaksızın akım-voltaj karakteristiği karesel hale gelir ( $I \sim V^2$ ). Bölge 1’de, eğim 2’den küçük olduğu için gerilim değeri az olduğundan yük taşıyıcı hareketliliğinin fazla olmadığı sonucuna varılmıştır (Pauling, 1941).

### 3.5. Diyotların Kapasitans Karakterizasyonu

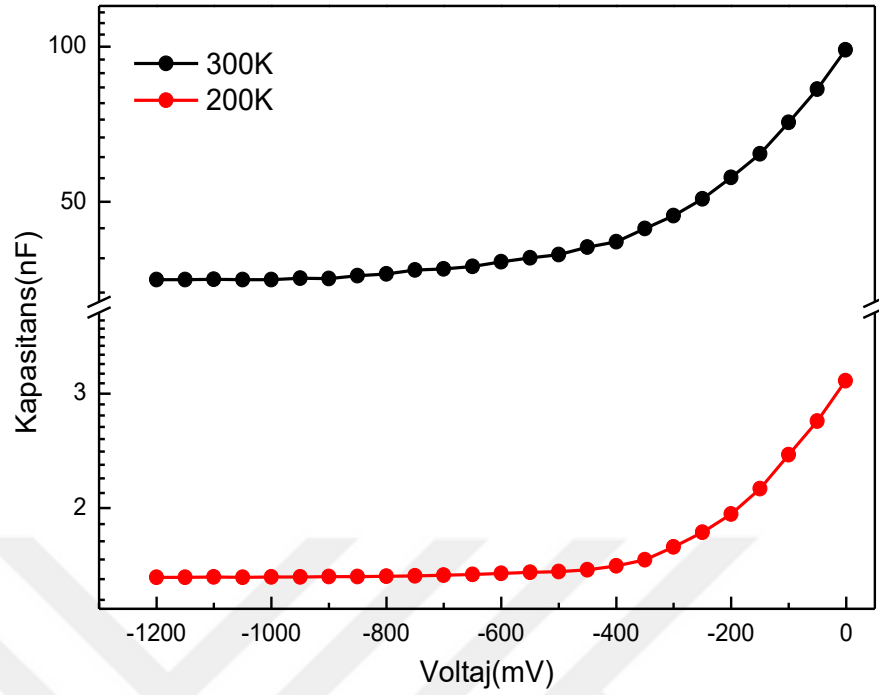
Şekil 45 ve 46’da Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot cihazının kapasite-voltaj (C-V) özellikleri 200 ve 300K sıcaklığında incelemiştir. Sonuçlara göre kontak sıcaklığının artmasıyla diyot kapasitesinin arttığı görülmektedir.



Şekil 45. Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 200K sıcaklığında cihazının kapasite-voltaj karakteristikleri.



Şekil 46. Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 300K sıcaklığında cihazının kapasite-voltaj karakteristikleri.



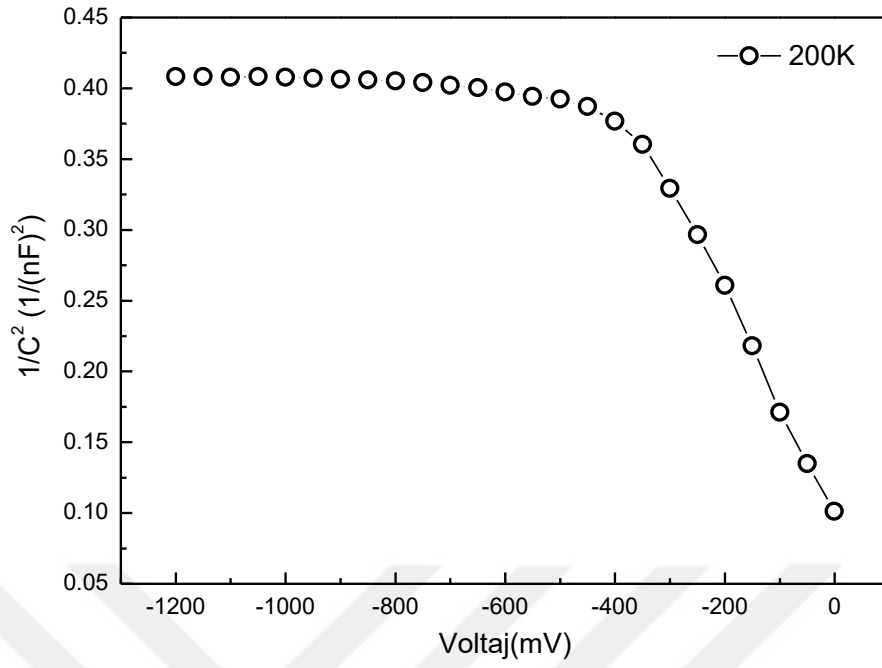
**Şekil 47.** Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 200K sıcaklığında cihazının kapasite-voltaj karakteristikleri.

Schottky diyota ait C-V karakteristikleri Şekil 47'de sunulmuş ve incelenmiştir. Schottky birleşim noktasındaki tükenme tabaka kapasitesi “C” şöyle ifade edilebilir.

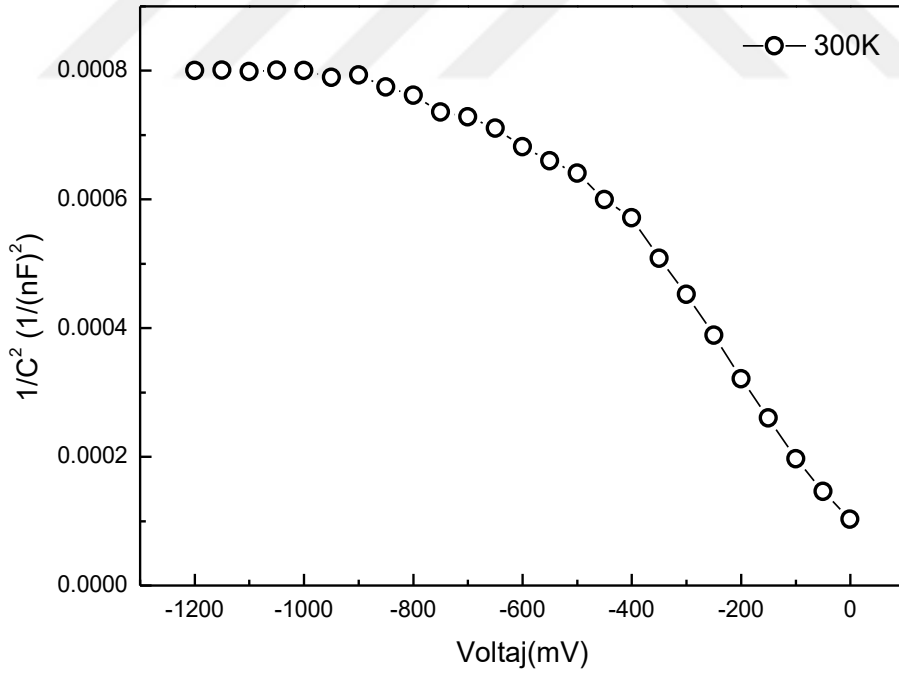
$$c = q/v \quad (29)$$

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} - V - (KT/q))}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_d} \quad (30)$$

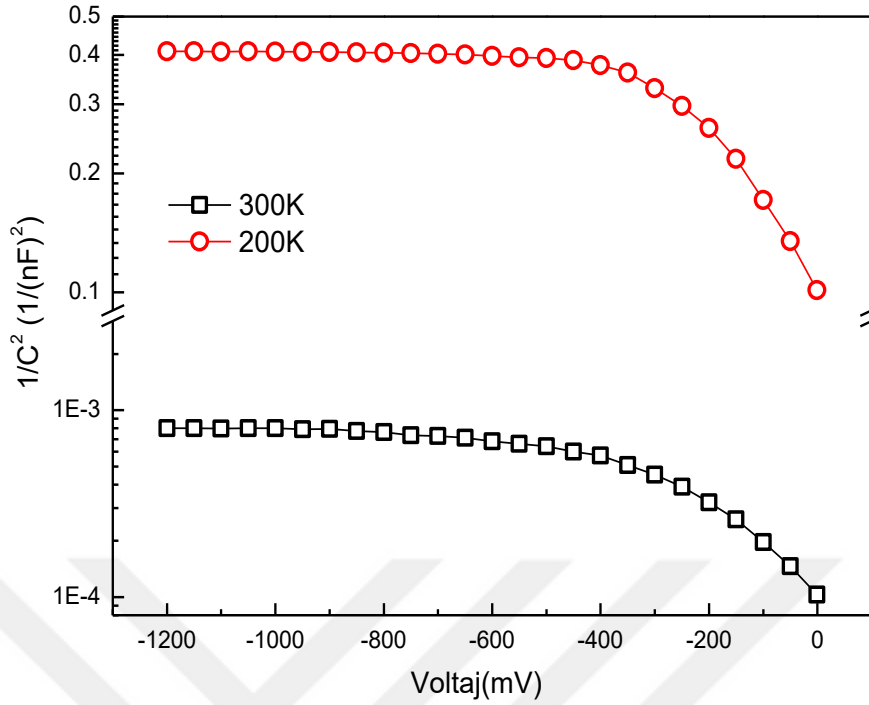
$V_{bi}$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_0$ , A ve  $N_d$  Sırasıyla; Bult-in potansiyeli, yarı iletkenin dielektrik sabiti (ZnO için  $9 \epsilon_0$ ), vakum dielektrik sabiti ( $8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ ), diyot alanını ve donör seviyesindeki yük taşıyıcıların konsantrasyonu bildirmektedir.



**Şekil 48.** Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot cihazının 200K sıcaklığında C<sup>-2</sup>-V kapasite-Voltaj karakteristikleri.



**Şekil 49.** Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 300K sıcaklığında cihazının C<sup>-2</sup>-V kapasite-voltaj karakteristikleri.



**Şekil 50.** Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot 200,300K sıcaklığında cihazın C<sup>-2</sup>-V kapasite-voltaj karakteristikleri.

Şekil 48, 49 ve 50'de C<sup>-2</sup>-V grafiğinin eğimi, donör tabakasındaki taşıyıcı konsantrasyonunu vermiştir. 200K ve 300K sıcaklığında N<sub>d</sub> değerleri sırasıyla 6,06×10<sup>16</sup>, 4,05×10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur. Built-in potansiyeli, C<sup>-2</sup>-V karakteristik eğrisinin 1/C<sup>2</sup>=0 iken kestiği noktadaki değerden hesaplanabilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

**Tablo 7.** Ag/ZnO Schottky diyot C<sup>-2</sup>-V parametrelerinin değerleri.

Ag/ZnO Cihazı	N <sub>d</sub> (Cm <sup>-3</sup> )	V <sub>bi</sub> (V)
200K	6,06×10 <sup>16</sup>	0,55
300K	4,05×10 <sup>19</sup>	0,70

Sol-gel yöntemiyle üretilen ZnO yapılarının üzerine soğuk altlık fiziksel buharlaştırma tekniğiyle fabrikasyonu gerçekleştirilen Ag/ZnO diyotun akım yoğunluğu voltaj grafiği Şekil 39'da sunulmuştur. Görüldüğü üzere 200K sıcaklığında oluşturulan kontak 300K sıcaklığında oluşturulan kontakta göre zayıf diyot etkisi göstermektedir. 200K de oluşan kontakların nano tanecikli yapısı bu duruma neden olabilir. Tanecik boyutunun küçülmesi yüzey alanının büyümesi ve tane sınırı etkileşmelerinin artması sonucunu doğurmaktadır. Buda malzeme direncinin artmasına sebep olmaktadır.

200K'de üretilen diyot yaklaşık 0,5 voltta aktif olurken yine bu kesim voltajı 300K'de üretilen diyot için yaklaşık 1 voltur. Ters beslem altında erken bir kırılma görülmemekle birlikte 300K sıcaklıkta elde edilen diyotun daha stabil olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Oluşturulan Schottky eklem yapının yarı-logaritmik J-V karakteristiği Şekil 40'ta verilen ve şekilden yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğu söylenebilir. 200K'de oluşturulan Ag/ZnO Schottky eklemi diyot davranışı göstermekle birlikte omik özelliğe yaklaşmaktadır. Oda sıcaklığında Schottky diyotların doyum akımı, logaritmik J-V grafiğinin ters akım bölgesinin ekstrapolasyonundan elde edilmiştir. Ters doyum akım yoğunluğu uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak sunulmuştur.

Şekil 50'de gösterilen 300K üretilen diyot kapasite değerleri 200K sıcaklığında üretilen diyottan daha büyük olduğunu bulunmuştur. Ters beslemenin artmasıyla tüketim bölgesinin kapasitesi azaltılmaktadır.



#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Çinkonun doğada bol miktarda bulunması ve ucuz bir malzeme oluşu çinko oksit ince filmlerin maliyetini düşürmektedir. Çinko oksit filmlerin görünür ışık bölgesinde saydam oluşu nedeniyle saydam iletken malzeme olarak çok büyük ilgi görmektedir.

Son zamanların en ilgi uyandıran malzeme olarak üretilen güneş pillerinde özellikle ışık yansıtma ve saydam olma özelliğiyle göze çarpan ZnO malzemeleri bu avantajları sebebiyle bizim de üzerinde durulması gereken bir ürün olması gerektiğine karar vermemizi sağladı.

Çalışmamızda Sol-gel ince film üretim yönteminin döndürerek kaplama (spin coating) tekniği kullanılarak ZnO ince filmler elde edilmiştir. Elde ettiğimiz ince filmlerin yapısal (XRD), yüzeysel (SEM) ve optiksel (UV) ölçümleri yapılmıştır.

SnO<sub>2</sub> ve cam altlık üzerine büyütülen ZnO ince filmlerin X-ışınları kırınım sonuçları incelenmiştir. Spektrum üzerindeki piklerin şiddetleri, yarı pik genişlikleri ve temel sayım şiddeti de malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi verilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre ZnO ince filmlerin kristal yapısında baskın pik bulunmamaktadır. Elde edilen piklerin şiddetleri düşüktür ve gauss etkisi görülmektedir. XRD sonuçlarından ZnO yapısının, vurtzit hegzagonal yapıda olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen ZnO/SnO<sub>2</sub> filme ait pik şiddetinin diğer filmlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu özellikleri ile en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin ZnO/SnO<sub>2</sub> filmlerine ait olduğu belirlenmiştir.

Filmlerin Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) yardımıyla filmlerin morfolojik özelliklerinin altlığa göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. SnO<sub>2</sub> altlıklar üzerine büyütülen filmlerde ince katlanmaların neden olduğu iğnemi yapılar belirlemekle birlikte yapının daha küçük tanecikli yapıda olduğu görülmüştür. Cam üzerine elde edilen filmlerin SnO<sub>2</sub>'nin numunelerine nispetle daha büyük tanecik yapılar sergiledikleri tesbit edilmiştir.

Optiksel ölçümler sonucunda elde ettiğimiz ince filmler görünür bölgede %95'ten daha fazla yüksek bir geçirgenlik vermiştir. Tüm filmlerin yaklaşık olarak 3,25-3,35 eV aralığında yasak enerji aralığına sahip olması çalışmamızın literatür ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Elde ettiğimiz ZnO filmlerin 200K ve 300K sıcaklığında soğuk altlık tekniği kullanarak Ag/ZnO/SnO<sub>2</sub> Schottky diyot üretilmiştir. Üretilen diyotlar SEM ve elektriksel özelliklerini incelenmiştir.

SnO<sub>2</sub> altlık üzerine büyütülen ZnO yapılarına 200K ve 300K sıcaklıklarında yapılan Ag Schottky kontaklarının SEM görüntülerinden elde edilen sonuçlarına ise altlık 200K üzerine büyütülen filmlerin yüzey morfolojileri ve tane boyutlarının sıcaklığında ki ZnO üzerine buharlaştırılan Ag kantağın 300K sıcaklığındakilere göre çok daha küçük tane boyutlarına sahip olduğu görülmüştür. 300K sıcaklıklı altlık üzerinde ki Ag vadi şekilli gözeneklere sahiptir ve bu gözenekler ile ayrılan tane boyutları oldukça büyüktür.

Elde edilen Ag/ZnO Schottky diyotun farklı sıcaklık ve frekanslarda I-V ve C-V karakteristiklerinin incelemesiyle elektriksel parametrelerini idealite faktörü, bariye yükseliği ve seri direnç gibi değerlerini bulunmuştur. Ag/ZnO Schottky diyotun parametreleri kontak buharlaştırma sıcaklığına bağlı olduğu görülmektedir. Yine hem 300K hem de 200K sıcaklık kaplamalarından soğuk altlık üzerine yapılan kantağın çalışan diyot sayısına etkisi olmakla birlikte elde edilen diyotların karakteristikleri zayıftır.

## 5. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Sol-gel yönteminin döndürerek kaplama (spin coating) tekniği ile SnO<sub>2</sub> ve Cam altlıklar üzerine büyütülen katkısız ZnO ince filmlerin, soğuk altlık yöntemiyle Ag buharlaştırılarak Schottky diyot üretilmesi amaçlanmıştır.

Kaplama tur sayısı, tavlama sıcaklığı, döndürme hızı ve film kalınlığı gibi deneysel koşullar değiştirilerek filmlerin kristal yapısı optimize edilebilir. ZnO filmlerin, 300–1000nm dalga boyu aralığında kaydedilen optik geçirgenliği ölçümleri üzerinden yüksek şeffaflık özelliğini sahip olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla ZnO ince filmler güneş panellerinde ve elektronik cihazlarda kullanılabilir.

200K sıcaklığındaki ZnO üzerine buharlaştırılan Ag kontakının 300K sıcaklığındakilere göre çok daha küçük tane boyutlarına sahip olduğu görülmüştür. 200K sıcaklıklı altlık üzerine oluşturulan Ag film tabakası diğerine göre daha pürüzsüz ve gözeneksiz bir yapıya sahiptir. 300K sıcaklıklı altlık üzerindeki Ag vadi şekilli gözeneklere sahiptir ve bu gözenekler ile ayrılan tane boyutları oldukça büyük olduğu belirlenmiştir. Vakum ortamında buharlaştırılan Ag atomların hedef altlık yüzeyiyle çarpırarak Ag atomlarını şoklar ve çarptıkları yerde donmalarını sağlar. Böylece daha homojen ve özellikle nano boyutlu küçük tanecikli yüzey oluşumlarına imkân verir. Dolayısıyla hedef altlık sıcaklığı ayarlayarak daha homojen ve büyük tanecikli yüzey oluşmasına imkân verebilmektedir. Yüzey morfolojisi daha düşük sıcaklıklar için çalışılabilir.

Yukarıda verilen sonuçlardan, ZnO filmler güneş paneller, optikal ve fotovoltik gibi diğer uygulamalar için optiksel ve yapısal parametreleri açısından iyi bir aday malzemedir. Soğuk altlık buharlaştırma tekniği ile sunulan uygulamalar için aygıt fabrikasyonları yapılabilir.

Hazırlanan Ag/ZnO Schottky diyotun farklı sıcaklık ve frekanslarda I-V ve C-V karakteristiklerinin incelenmesi, hem diyotun performansı hemde akım-iletim mekanizmaları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Özellikle Schottky diyotların temel elektriksel parametreleri belirlenirken sonuçların, farklı frekans ve sıcaklıkta elde edilen

değerlerinin farklı çıkmasına sebep olabilmektedir. Seri direnç ve bariyer yüksekliği gibi diğer etkenler mutlaka dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı Ag/ZnO Schottky diyotun parametreleri kontak buharlaştırma sıcaklığına bağlı olduğu görülmektedir. Yine hem 300K hemde 200K sıcaklık kaplamalarından 1cm<sup>2</sup>'lik ZnO ince film yüzeylerinde 20 şer adet 1,77mm<sup>2</sup> lik diyotlar elde edilmiştir. Bu diyotlardan 200K için 15 tanesi diyot karakteristiği gösterirken 300K için bu sayı 5 diyottur. Soğuk altlık üzerine yapılan kantağın çalışan diyot sayısına etkisi olmakla birlikte elde edilen diyotların karakteristikleri zayıftır. Altlık sıcaklığı, kaplama süresi vb. parametreler optimize edilerek daha ideal diyot elde edilebilir.



## KAYNAKLAR

- Ahmed, M., Meyera. W., Nela. M., 2018.** Structural, optical and electrical properties of a Schottky diode fabricated on Ce doped ZnO nanorods grown using a two step chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 87, 187-194, DOI: 10.1016/j.mssp.2018.07.021.
- Akat, E., 2012.** Katıhal Fiziği Temelleri, Papatya yayıncılık Eğitim, Yayın No: 11218, İstanbul, Türkiye, 572 s, 345-375.
- Akba, M., 2015.** Çinko-oksit (ZnO) ince filmlerin sentezlenmesi ve fotovoltaik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi. Ankara, Türkiye, 83 s., 24.
- Alle, E., 2003.** On the Earth's magnetic field and the Hall effect. *Nonlinear Processes in Geophysics*, European Geosciences Union (EGU), No: 10 (4/5), 437-440.
- AL-Jawad, H., Sabeeh. H., Taha. A., Jassim. A., 2018.** Studying structural, Morphological and optical properties of nanocrystalline ZnO:Ag films prepared by sol-gel method for antimicrobial activity. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 87, 362-371.
- Askeland, R., Phule, P., 2006.** The Science and Engineering of Materials. International Student Edition, No: 2010922628, Stamford, USA, 949 s, 4-16
- Banerjee, N., Chattopadhyay, K., 2005.** Recent developments in the emerging field of crystalline p-type transparent conducting oxide thin films. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 50, 52-105.
- Bouhenni, M., 2015.** Structural and opto-electrical study of ZnO thin films elaborated by spray pyrolysis (hom mad). for the Degree of Master, Eloued, Algeria, 73 s, 17.
- Brennan, F., 2005.** Introduction To Semiconductor Devices: For Computing and Telecommunications Applications, Cambridge University Press. Georgia Institute of Technology, Cambridge, Britain, 40-72, DOI: 9780521153614.
- Cheung, S., Cheung, N., 1986.** Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl Phys Lett* 49-85, DOI:10.1063/1.97359.
- Chul, Y., Wang, Ch., Park, W., 2010.** ZnO Nanorods Synthesis, Characterization and Applications. Pohang University of Science and Technology, Pohang 784-790, DOI: 10.1088/0268-1242/20/4/003.
- Fan, J., Freer, R., 1995.** The roles played by Ag and Al dopants in controlling the electrical properties of ZnO varistors. *Journal of Applied Physics* 77, 4795, DOI: 10.1063/1.359398.

- Fiore, J., 2008.** This Semiconductor Devices: Theory and Application, Mohawk Valley Community College 1101 Sherman Drive Utica, NO: 13501, 407 s, 23-31.
- Gençyılmaz, O., Atay, F., Akyüz, İ., 2013.** ZnO filmlerinin optik, elektrik ve yüzey özellikleri üzerine tavlama işleminin etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 32-37.
- Houng, B., Huang, J., 2006.** Structure and properties of Ag embedded aluminum doped ZnO nanocomposite thin films prepared through a Sol-gel process. Surface and Coatings Technology, 201, 3188-3192.
- Hongxia, L., Wang, J., Hong, L., Huaijin, Z., Li.X., 2005.** Zinc oxide films prepared by sol-gel method. Journal of Crystal Growth, 275, 943-946.
- İlcan, S., Çağlar, Y. ve Çağlar, M., 2005.** ZnO yarıiletken filmlerinin yasak enerji aralıkları. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 48-55.
- Kasapoğlu, E., 2014.** Sol-gel spin kaplama metodu ile büyütülen ZnO ve ZnO: Fe ince filmlerin yapısal ve yüzeysel özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, turkiye, 69 s, 13-22.
- Karatas, Ş., El-Nasser, M., Al-Ghamdi, A., Yakuphanoglu, F., 2018.** High photoresponsivity Ru-doped ZnO/p-Si heterojunction diodes by the Sol-gel method. Springer Science and Business Media Dordrech, DOI: 10.1007/s12633-016-9508-7.
- Kawano, T., Imai, H., 2010.** Nanoscale morphological design of ZnO crystals grown in aqueous solutions. Journal of the Ceramic Society of Japan, 118, 969-976.
- Keskenler, F., Tomakin, M., Doğan, S., Turgut, G., Aydın, S., Duman, S., Gürbulak, B., 2013.** Growth and characterization of Ag/n-ZnO/p-Si/Al heterojunction diode by sol-gel spin technique. Journal of Alloys and Compounds, 550-129-132.
- Keskenler, F., Turgut, G., 2016.** Synthesis and properties of sol-gel derived transparent ZnO thin films: Effect of indium doping. Journal of Ceramic Processing Research, No: 12, 1254-1259.
- Kim, K., Lee, Y., Park, S., Ghosh, S., Hong, B., Kim, S., Song, T., 2007.** Improved crystallization characteristics of ZnO thin film grown onto a-C:H film used as a buffer layer. Thin Solid Films, 515, 4988.
- Küçükömeroğlu, T., Yılmaz, S., Polat, İ., Bacaksız, E., 2018.** An evaluation of structural, optical and electrical characteristics of Ag/ZnO rods/SnO<sub>2</sub>/In-Ga Schottky diode. Journal of Materials Science Materials in Electronics, 2910054-10060.

- Kumar, R., Chand, S., 2015.** Structural, optical, and electrical characterization of Al/n-ZnO/p-Si/Al heterostructures. *Journal of Electronic Materials*, 44, DOI: 10.1007/s11664-014-3502-x.
- Liang, S., Sheng, H., Liu, Y., Huoa, Z., Lu.Y., Shen, H., 2011.** ZnO Schottky ultra violet photodetectors. *Journal of Crystal Growth*, 225-110-113.
- Lee, H., Ko, H., Park, O., 2003.** Electrical and optical properties of ZnO transparent conducting films by The Sol-gel method. *Journal of Crystal Growth*, 247, 119-125.
- Mayes, H., Partridge, G., Field, R., Mcculloch, G., Durbin, M., Sukkim, H., Allen, W., 2012.** The inter face structure of high performance ZnO Schottky diodes. *Physica*, B407-2867-2870.
- Meyer, B., Marx, D., 2003.** Density functional study of the structure and stability of surfaces. *Phys Rev*, B 67- 035403.
- Özcan, D., 2014.** Katkısız ve katkılı CdTe ince filmlerin elektrik fotoelektrik özelliklerinin araştırılması. *Denizli, Türkiye, BSP 003*, 53 s, 6-8.
- Pauling, L., 1941.** Electronic Processes in Ionic Crystals. *The Journal of Physical Chemistry* 45-1142, DOI:10.1021/j150412a015.
- Pehlivan, E., 2007.** Saf ve katkılı Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin optik, yapısal elektriksel ve elektrokromik özellikleri. *Doktora Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye*, 96 s, 48-51.
- Polyakov, Y., Smirnov, B., Govorkov, V., Kozhukhova, A., Pearton, J., Norto, P., Osinsky, A., Dabıran, A., 2006.** Electrical properties of undoped bulk ZnO substrates. *Journal of Electronic Materials*, 4, DOI: 9781483299679.
- Rakhshani, E., 2008.** Optical and electrical characterization of well-aligned ZnO rods electro deposited on stainless steel foil. *Appl Phys*, A 92, 303-308, DOI: 10.1007/s00339-008-4526-y.
- Singh, S., Agarwal, G., Durga, G., Chaudhary, S., Singh, R., 2011.** Effect of hydrogen peroxide treatment on the electrical characteristics of Au/ZnO epitaxial Schottky diode. *New Delhi, India*, 14, DOI: 10.1016/j.mssp.2010.12.009.
- Singh, Sh., Kumar, Y., Kumar, H., Vyas, S., Periasamy, Ch., Chakrabarti, P., Jit, S., Park, H., 2017.** A study of hydrothermally grown ZnO nanorod-based metal semiconductormetal UV detectors on glass substrates. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 1-5, DOI: 10.1177/1847980417702144.
- Sorar, İ., Sarıgül, H., 2008.** Sol-gel yöntemiyle hazırlanan TiO<sub>2</sub> filmlerin optik ve elektrokromik özellikleri. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, DOI:10.7240/mufbed, 81-88, 14319.

**Temel, S., Nebi, M., Peker, D., 2017.** Sol-Gel döndürerek kaplamat tekniği ile saydam iletken ZnO ince filmlerin üretilmesi ve karakterizasyonu, Part C, 5(3), 51-59.

**Tiron, V., Velicu, L., Mihaila, I., Popa, G., 2018.** Deposition rate enhancement in HiPIMS through the control of magnetic field and pulse configuration. Surface and Coatings Technology, 484–491. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.01.065.

**Uguz, İ., 2016.** Organic implantable probes for in vivo recordings of electrov physiological activity and drug Delivery. These Doctorat of lyon Universite, Lyon, Franca, No: 488, 118 s, 4.

**URL-1, 2017.** <https://www.chemguide.co.uk/atoms/bonding/covalent.html> (10 Kasım 2017).

**URL-2, 2017.** <http://maxloosolarenergy.blogspot.com> (12 Kasım 2017).

**URL-3, 2017.** <http://ece-www.colorado.edu> (25 Kasım 2017).

**URL-4, 2017.** <http://eng.harran.edu.tr> (10 Aralık 2017).

**URL-5, 2017.** <http://www.acikders.org.tr/> (12 Aralık 2017).

**URL-6, 2017.** <http://www.physics-and-radio-electronics.com> (20 Aralık 2017).

**URL-7, 2018.** [https://en.wikipedia.org/wiki/Indium\\_tin\\_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Indium_tin_oxide) (20 Ocak 2018).

**URL-8, 2018.** <https://en.wikipedia.org/wiki/Silver> (25 Ocak 2018).

**URL-9, 2018.** <http://cnx.org/content/m16927/latest/> (10 Şubat 2018).

**URL-10, 2018.** <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/5483> (20 Mart 2018).

**URL-11, 2018.** [https://www.elektrikport.com/makale-detay/hall\\_olayi\\_ve\\_kullanim\\_alanlari/15420#ad-image-0](https://www.elektrikport.com/makale-detay/hall_olayi_ve_kullanim_alanlari/15420#ad-image-0) (2 Aralık 2018).

**URL-12, 2018.** <http://web.pdx.edu/~pmoock/phy381/Topic5a-XRD.pdf> (10 Nisan 2018).

**URL-13, 2018.** [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/) (12 Nisan 2018).

**URL-14, 2018.** [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/) (14 Nisan 2018).

**URL-15, 2018.** <https://studylib.net/doc/14674006/photolithography-source--dr> (16 Nisan 2018).



- URL-16, 2018.** <https://tr.wikipedia.org%20/wiki/Fotolitografi>. (20 Nisan 2018).
- URL-17, 2018.** <https://www.researchgate.net> (12 Aralık 2018).
- URL-18, 2018.** [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(75\)90100-8](https://doi.org/10.1016/0038-1101(75)90100-8) (19 Aralık 2018).
- URL-19, 2018.** <https://nptel.ac.in/courses/115102026> (22 Aralık 2018).
- Wang. Ch., Wang. D., Pang. Ch., Wang. X., Yin, J., Zhao. H., 2012.** The fabrication and UV photosensitive characteristics of Al/ZnO/Ag Schottky barrier diode. International Conference on Measurement, Information and Control (MIC), Harbin, China, DOI: 10.1109/MIC.2012.6273379.
- Yadav, O., 2004.** Optical and electrical properties of sol-gel derived thin films of PbTiO<sub>3</sub>. *Ceramics International*, 30, 1493-1498.
- Yacobi, G., 2003.** Semiconductor materials, an introduction to basic principles, springer, 59-105, DOI:10.1007/b105378.
- Zakhvalinskii. S., Golev, M., Borisenko, V., Prokopova, V., Khmara, N., Pilyuk, A., Kolesnikov, A., 2016.** Morphology and Properties of ZnO films obtained by repeated spin coating on porous silicon substrates. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences Physics*, 9, 1115–1118, DOI: 10.3103/S1062873816090495.
- Zakrzewski. J., Krajewski. A., Luka. G., Goscinski. K., Guziewicz. E., Godlewski. M., 2015.** Role of the Hafnium dioxide spacer in the ZnO based planar Schottky diodes obtained by the low-temperature atomic layer deposition method investigations of current-voltage characteristics. *Institute of Electrical and Electronics Engineers transactions on electron devices*, 2-62, DOI: 10.1109/TED.2014.2376979.
- Zayim, E.O., 2002.** Tungsten oksit ve katkılı tungsten oksit ince filmlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 126641, 174 s, 20-26.
- Zhang. X., Hai.F., Zhang. T., Jia. C., Sun. X., Ding. L., Zhang. W., 2012.** Analysis of the electrical characteristics of the Ag/ZnO Schottky barrier diodes on F-doped SnO<sub>2</sub> glass substrates by pulsed laser deposition. *Microelectronic Engineering*, 93, 5-9. DOI: 10.1016/j.mee.2011.12.009.
- Zhu. R., Zhang. X., Zhao. J., Li. R., Zhang. W., 2015.** Influence of illumination intensity on the electrical characteristics and photoresponsivity of the Ag/ZnO Schottky diodes. *Journal of Alloys and Compounds*, 631, 125-128, DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.01.017.
- Zhu, Z., Yoshihara, H., Takebayashi, K., Yao, T., 1994.** Characterization of alloy formation at the ZnSe/CdSe quantum-well interface by photoluminescence spectroscopy. *Journal of Crystal Growth*, 138, 619–624, DOI:10.1016/0022-0248(94)90879-6.

## ÖZGEÇMİŞ

Maher HAİDAR, 21/01/1990 tarihinde Şam/Suriye’da doğdu. İlköğretimini 2002 yılında Zabadani/Şam İlköğretim Okulu’nda ve Ortaöğretimini 2008 yılında Zabadani/Şam Alandalus Lisesi’nde tamamladı. 2010 tarihinde başladığı lisans eğitimini, 2014 tarihinde Şam Üniversitesi Elektrik ve Mekanik Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendislik Bölümü’nde 78,41 derece ile tamamladı. 2016 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir. Orta seviyede İngilizce ve Fransızca bilmektedir.

