

**T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al:ZNO İNCE FİLMLERİN OPTİK VE ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNE GAMA IŞINLARININ ETKİLERİ**

Ahmet TOMBAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR
Haziran 2012**

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Ahmet TOMBAK tarafından yapılan “Al:ZnO İnce Filmlerin Optik ve Elektriksel Özelliklerine Gama Işınlarnın Etkileri” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU.....

Üye : Doç. Dr. Kemal AKKILIÇ.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK.....

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 28/06/2012

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

/ /2012

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarım sırasında her türlü yardımı benden esirgemeyen, fikirlerinden istifade ettiğim ve benimle birlikte çalışmam boyunca verdiği destek ve katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK hocama teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her türlü destek ve teşviklerini gördüğüm ve çoğu zaman kendilerini ihmal ettiğim eşime ve oğluma bu süre zarfında hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma aynı zamanda Dicle Üniversitesi Bilimsel Projeler Koordinatörlüğü tarafından “Katkılı ZnO/Yarıiletken Yapıların Elektriksel ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli ve 12–FF–16 nolu proje ile desteklenmiştir. Teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
KISALTMA VE SİMGELER.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL ve METOT.....	19
3.1. ZnO Biriktirme ve İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	19
3.1.1. Plazma Saçtırma Yöntemi.....	20
3.1.2. Termal Buharlaştırma Yöntemi.....	22
3.1.3. Dönel (Spin) Kaplama.....	23
3.1.4. Daldırma (Dip) kaplama.....	24
3.1.5. Sprey ısısal çözülme (piroliz) kaplama.....	24
3.2. Yapısal Özellikler.....	25
3.2.1. X ışınları.....	25
3.2.2. Bragg yasası.....	26
3.3. Optik özellikler.....	27
3.3.1. Soğurma Olayı, Doğrudan ve Dolaylı Geçişler.....	27
3.3.1.1. Doğrudan bant geçişi.....	29
3.3.1.2. Dolaylı bant geçişi.....	29
3.3.2. Geçirgenlik.....	30
3.4. Elektriksel Özellikler.....	32
3.4.1. Hall Etkisi.....	32
3.5. Deneysel İşlemler.....	34

3.5.1.	Altlıkların Temizlenmesi.....	34
3.5.2.	Al katkılı ZnO filmlerin oluşturulması.....	35
3.5.3.	Yapısal özelliklerin belirlenmesi	37
3.5.4.	Yük taşıyıcıların yoğunluğu ve yüzey direncinin ölçülmesi.....	37
3.5.5.	Optik parametrelerin belirlenmesi.....	37
3.5.6.	Gama ışını etkisinin gözlenmesi.....	37
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1.	Giriş.....	39
4.2.	X Işını Kırınım Ölçümleri.....	39
4.3.	Optik Ölçümler.....	40
4.3.1.	Elde Edilen İnce Filmlerin Yasak Enerji Aralıkları.....	41
4.4.	Elektriksel Ölçümleri.....	47
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
6.	KAYNAKLAR.....	51
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÖZET

Al:ZnO İNCE FİLMLERİN OPTİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE GAMA IŞINLARININ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet TOMBAK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2012

Yarıiletken ZnO ince filmler elektriksel iletkenliği ve optik geçirgenliği yüksek malzeme olmalarından dolayı teknolojik açıdan pek çok yerde kullanılırlar. Bu sebepten malzemenin üretimi ve teknik açıdan kullanılabilirliğinin ölçümü önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada çeşitli altlıklar üzerine ZnO ince filminin oluşturulması ve değişik oranlarda Al katkılanmış ZnO ince filmlerin gama ışınlarına maruz bırakılmasından sonra bazı parametrelerindeki değişim araştırıldı. Elde edilen yapının elektrik ve optik özellikleri incelendi. İnce filmlerin elektriksel iletkenlikleri Hall etkisi ölçüm sistemiyle oda sıcaklığında ölçüldü. Bazı optik parametreler UV-Vis spektrometrik yöntemle tayin edildi. Optik parametrelerle ilgili deneysel bulgular teorik hesaplamalarla karşılaştırıldı. Alınan bu ölçümler Al:ZnO yapıların gama ışınlarına maruz bırakılmasının ardından tekrar yapıldı ve değişimler gözlemlendi. İnce filmlerin yapı analizi X ışınları kırınımı ile tayin edildi.

Anahtar Kelimeler: ZnO, katkılama, elektriksel iletkenlik, gama radyasyonu

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF GAMMA RAY EXPOSURE TO ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF AL DOPED ZNO STRUCTURES

MSc THESIS

Ahmet TOMBAK

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

2012

As semiconductor ZnO thin films have high electrical conductivity and optical permeability materials used in most position respect of technological. Because of this considers producing of the material and measuring of using respect of technological.

In this study, forming ZnO thin films on various substrates and changes some parameters after gamma ray exposure of ranging Al doped ZnO thin films were investigated. Optic and electrical properties of as-grown films were measured. Electrical conductivity was measured by Hall Effect measurement system at room temperature. Some optic parameters were determined by UV-Vis spectrometric method. Theoretical calculations on optical parameters were compared with the ones that were obtained by experimental values. These measurements were made after gamma ray exposure of the thin films and some changes were observed. Structural analysis of the the thin films was made with respect to X ray diffraction data.

Key Words: ZnO, doping, conductivity, gamma radiation

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1.	ZnO yapısı ilgili literatürde mevcut çalışmalar	2
Çizelge 4.1.	İnce filmlerin yasak enerji aralıkları	41
Çizelge 4.2.	İnce filmlerin elektriksel özellikleri	48

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	ZnO kristal yapıları	2
Şekil 3.1.	Plazma buhar biriktirme sisteminin şematize edilmiş hali	21
Şekil 3.2.	Termal buharlaştırma sisteminin şematize edilmiş hali	22
Şekil 3.3.	X ışınlarının atomlar arası düzlemde kırılması	26
Şekil 3.4.	İnce bir filmdeki soğurma	28
Şekil 3.5.	Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi	28
Şekil 3.6.	Akım taşıyan iletkene etkiyen manyetik alan ve yüklerin durumu	33
Şekil 3.7.	Al katkılı ZnO ince filmlerin yapısı	36
Şekil 3.8.	ZnO ve Al püskürtme işlemlerinin gerçekleştirildiği vakum sistemi	36
Şekil 3.9.	Ecopia Hall etkisi ölçüm sistemi	37
Şekil 4.1.	Katkısız ZnO filmi x ışını kırınım deseni	39
Şekil 4.2	1AZO x ışını kırınım deseni	40
Şekil 4.3.	2AZO x ışını kırınım deseni	40
Şekil 4.4.	Katkısız ZnO filmi soğurma grafiği	42
Şekil 4.5.	1AZO soğurma grafiği	42
Şekil 4.6.	2AZO soğurma grafiği	42
Şekil 4.7.	İnce filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ –enerji grafikleri.	43
Şekil 4.8.	ZnO filmi geçirgenlik ve yansıma grafiği	43
Şekil 4.9.	1AZO geçirgenlik ve yansıma grafiği	44
Şekil 4.10.	2AZO geçirgenlik ve yansıma grafiği	44
Şekil 4.11.	ZnO filmi dalgaboyuna karşı kırılma indisleri grafiği	45
Şekil 4.12.	1AZO dalgaboyuna karşı kırılma indisleri grafiği	45
Şekil 4.13.	2AZO dalgaboyuna karşı kırılma indisleri grafiği	46
Şekil 4.14.	ZnO filmi dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği	46
Şekil 4.15.	1AZO dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği	47
Şekil 4.16.	2AZO dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği	47

KISALTMA VE SİMGELER

A	:Soğurma
α	:Soğurma katsayısı
ϵ_s	:Yarıiletkenin dielektrik sabiti
AFM	:Atomik kuvvet mikroskobu
ALD	:Atomik katman biriktirme
AZO	:Alüminyum katkılı çinko oksit
CVD	:Kimyasal buhar biriktirme
e	:Elektronun yükü
E_g	:Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ph}	:Fonon enerjisi
EL	:Elektrolüminesans
eV	:Elektron volt
FMR	:Ferromagnetik rezonans
FWHM	:Tam genişlik yarı modülasyonu
ITO	:İndiyum kalay oksit
kGy	:Kilo grey
LED	:Işık yayan diyot
LFTS	:Düz yüzü hedef saçtırma
MBE	:Moleküler ışın epitaksi
m_e^*	:Elektronun etkin kütlesi
m_h^*	:Holün (deşik) etkin kütlesi

OLED	:Organik ışık yayan diyot
OMVPE	:Organometalik buhar fazı epitaksi
PET	: Polyethylene terephthalate
PL	:Fotolüminesans
PLD	:Atmalı lazer biriktirme
PVD	:Fiziksel buharlaştırma biriktirme
R	:Yansıma katsayısı
RF	:Radyo frekansı
R_H	:Hall katsayısı
RHEED	:Yüksek enerjili elektron kırınım yansıması
RTF	:Oda sıcaklığında ferromanyetizm
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
T	:Geçirgenlik katsayısı
TCO	:Şeffaf iletken oksit
TE	:Termiyonik emisyon
USP	:Ultrasonik sprej piroliz
UV	:Mor ötesi
V_H	:Hall potansiyeli
XPS	:X ışını fotoelektron spektroskopisi
XRD	:X ışını kırınımı
ZnO	:Çinko oksit

1. GİRİŞ

ZnO hakkındaki bilimsel çalışmalar on yıllar öncesine dayanmaktadır. Bu konuya ilginin canlanması yüksek kaliteli altlıkların kolay elde edilmesi, p tipi iletimin rapor edilmesi, piezoelektrik davranış ve çeşitli geçiş elementlerinin katkılanmasıyla ferromanyetik özelliklerin keşfedilmesi oldu. ZnO örgü parametrelerinin incelenmesi 1935'lere dayanır (Bunn 1935), titreşim özellikleri Raman saçılmasıyla 1966'da incelendi (Damen ve ark. 1966), detaylı optik özellik incelemesi 1954 yılında (Mollwo 1954) ve kimyasal buhar taşıma yöntemiyle büyütme 1970'de başarıldı (Galli ve Coker 1970), ZnO/ZnTe p-n eklemi 1975'de yapıldı ve Al/Au omik kontaklar 1978'de rapor edildi (Tsurkan ve ark. 1978).

Yüksek iyoniklikleri ve geniş bant aralıklarının, direkt bant aralığı olması; soğurma ve lüminesans için yüksek optik geçirgenlik olasılığına sahip olmaları nedeniyle periyodik tablonun IIB ve VIA grubu elementlerinin birleşimi ile oluşan II–VI bileşiklerine olan ilgi büyüktür. Bu bileşiklere CdS, CdZnS, ZnS ve ZnO gibi bileşikler örnek olarak verilebilir. II–VI bileşiklerinin yasak enerji aralığı 1.8–4 eV civarındadır. Bu bileşikler kızılötesi dedektörler, güneş pilleri, lazerler ve çeşitli diyotların üretiminde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Fahrenbruch 1977).

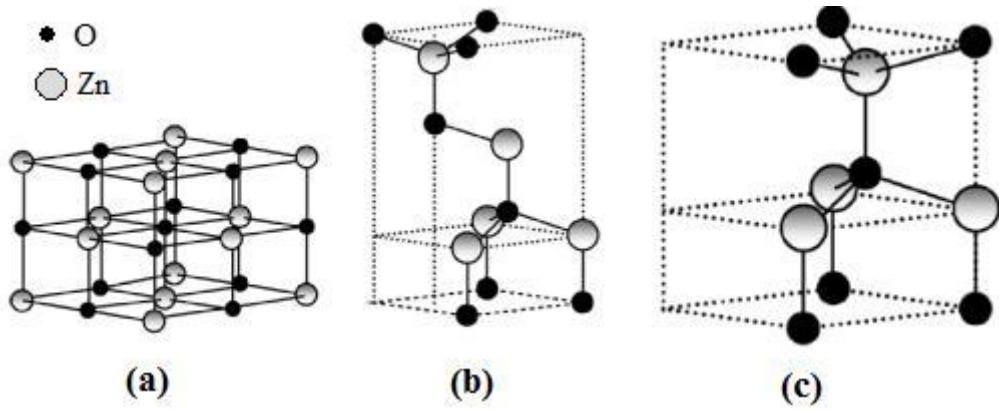
Direk ve geniş bant aralıklı materyal olan ZnO çeşitli elektronik ve optoelektronik uygulamalar için çok çekici bir materyaldir (Reynolds ve Collins 1969).

Son yıllarda geniş bant aralığına sahip yarıiletken malzemelerin, teknoloji ve elektronik biliminde kullanım alanları genişlemiştir. Bu malzemelerin teknolojide geniş çapta kullanılması nedeniyle, birbirinden üstün yanlarının ve daha ucuz elde edilebilme yollarının araştırılması hız kazanmıştır. ZnO, ZnS, ZnSe, GaAs, GaN gibi yarıiletkenler, yüksek sıcaklık ve yüksek ışıma gücü gerektiren elektronik biliminde LED ve lazer diyotları gibi kısa dalga boylu (UV ve şiddetli mavi–yeşil) ışık yayan optik aletlerde kullanılmakta ve daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için araştırılmaktadır.

Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde geçirgen olan geniş bant aralığına sahip yarıiletkenler, elektronik ve optoelektronik aygıtların üretiminde önemli rol oynamaktadır. Geçirgen iletken ve yarıiletken oksitlerin en önemli avantajları kimyasal olarak kararlı olmaları ve farklı altlıklar üzerine kolayca depolanabilmeleridir

(Minami 2005).

ZnO II–VI grup, iyonikliği kovalent ve iyonik yarı iletkenler arasında sınırdaki olan yarı iletken bir bileşiktir. ZnO'nun kristal yapıları üç faz için vurtzit, çinko sülfür (blend) ve kaya tuzudur. Şekil 1'de ZnO molekülünün farklı kristal yapıları görülmektedir. Hava ortamında termodinamik olarak kararlı faz vurtzit simetrisidir. Çinko sülfür yapı ZnO sadece kübik altlık üzerine büyütülürse kararlı hale getirilebilirler.



Şekil 1.1. ZnO kristal yapıları; (a) kübik kaya tuzu, (b) kübik çinko sülfür, (c) altıgen vurtzit

ZnO'nun kristal yapıları teorik hesaplamalarla ve deneysel olarak araştırılıp rapor edilmiştir. Çizelge 1.1'de bazı teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları görülmektedir.

Çizelge 1.1: ZnO yapısı ilgili literatürde mevcut çalışmalar

	Deneysel sonuçlar			Teorik hesaplamalar		
	Bates ve ark. (1962)	Gerward ve ark. (1995)	Desgreniers (1998)	Ahuja ve ark. (1998)	Liu ve ark. (1986)	Zaoui ve Sekkal (2002)
Vürtzit hacim ($\text{\AA}^3$)	23,82	23,78	23,79	23,60	23,83	23,83
Kaya tuzu hacim($\text{\AA}^3$)	19,60	19,60	19,48	19,51	19,04	19,04
Burulma basıncı (GPa)	9,50	9,00	8,70	9,32	9,32	10,45

ZnO filmlerin çeşitli tekniklerle büyütülmesi ve akustik ve optik cihazlarda kullanılması gibi uygulamalar ilgi çeken araştırma konularından bir tanesidir. Uygulamalar üzerinde yapılan araştırmalar daha çok ZnO'nun mükemmel piezoelektrik özellikleri ve cam, safir ve elmas altlıklar üzerinde güçlü (0001) tercihli yönelimle büyüme eğiliminde yoğunlaşmaktadır. ZnO ince film büyütmede eski çalışmalarda magnetron saçırma, kimyasal buhar biriktirme yaygındı. Fakat bu büyütmelerde filmler çoklu kristal yapıdaydılar. Sonraki çalışmalarda yüksek kalitede tek kristal filmler radyo frekansı magnetron saçırma ile hazırlandı ve biriktirme işleminin kontrollü olarak gerçekleştiği diğer büyütme teknikleri kullanıldı. Bunlar arasında moleküler demet epitaksi, atmalı lazer biriktirme, organometalik buhar fazı epitaksi sayılabilir.

Heteroeklem ZnO tabakaları CaF_2 (Ma, Du ve ark. 2005), Si (Dhananjay, Nagaraju ve ark. 2007), GaAs (Nag ve Bhattacharya 2010) ve GaN (Asil, Gur ve ark. 2009) gibi altlıklar üzerine de büyütüldü.

Geniş alan ve yüksek kalitede ZnO kristallerinin büyütülmesi sadece temel araştırmalar için değil aynı zamanda cihaz uygulamaları için de önemlidir. Geniş alan ve yüksek kalitede ZnO tek kristalleri, tek kristal katmanın potansiyel avantajlarından dolayı UV ve mavi UV ışık yayan cihazlar için faydalıdır.

RF magnetron saçırma, düşük veya yüksek sıcaklıklarda çalışılabilirdiğinden ve filmlerin makul seviyedeki kalitesinden dolayı tercih edilmektedir.

Safir altlıklar benzer kafes örgü yapıları ve ulaşılabilirliğinden dolayı oldukça popülerken diğer altlıklar da değişik cihaz uygulamalarında kullanılmaktadır.

MBE'nin temel avantajı büyütme parametrelerinin tam kontrolü ve büyütme ortamında filmi inceleme yeterliliğidir. Yüksek enerjili elektron kırınım yansıması (RHEED) geri beslemesiyle ZnO epi katmanları gerçek zamanlı olarak izlenebilir.

PLD metodunda yüksek güçlü lazer atmaları malzemeyi hedeften ayırırken alt türlerin yüzeyde etkileşmesi sonucu biriken malzemenin stokiyometrisinin korunması için buharlaştırmakta kullanılır.

Diğer büyütme yöntemleri arasında, kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknolojisi bilhassa ilgi çekmektedir. Çünkü yüksek kalitede filmler büyütmenin yanı sıra geniş ölçekte üretime uygundur. Bu teknik değişik GaN tabanlı optoelektronik

cihazların üretiminde kullanılan epitaksiyel filmlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu eğilim ZnO'nun gelecek uygulamalarında beklenmektedir. Bu teknikle büyütülen ZnO filmler yüksek kristallik, elektrik ve ışıma özelliği göstermektedirler.

ZnO'nun kırıcılık indisi gibi optik özellikleri ve işlemleri yıllar önce araştırılmaya başlandı. ZnO'ya ilginin tekrar uyanmasının nedenleri direkt geniş bant aralığı (300 K'de $E_g=3.3$ eV), yüksek eksiton bağlanma enerjisi (60 meV) ve etkin ışımalı yeniden birleşmedir. Eksiton bağlanma enerjisi göreceli olarak geniştir (ZnO için 60 meV ;GaN için 25 meV). Geniş eksiton bağlanma enerjisi oda sıcaklığında hatta daha yüksek sıcaklıklarda yoğun yakın bant kenarı eksitonik emisyon yolunu açmaktadır. Çünkü bu değer, oda sıcaklığı termal enerji değerinin ($k_B T=25$ meV) 2,4 katıdır (Vanmaekelbergh ve van Vugt 2011).

ZnO'da optik geçişler optik absorbsiyon, iletim, yansıma, spektroskopik elipsometri, fotolüminisans, kalorimetrik elipsometri vb. gibi yöntemlerle belirlenir. İletim ölçümlerinden Muth ve ark. (1999) epitaksiyel PLD ile büyütülmüş ZnO filmlerin absorbsiyon katsayısını, bant aralığını ve eksiton bağlanma enerjilerini hesapladılar.

Yarıiletken ZnO kristalinin eksiton bağlanma enerjisi (60 meV), teknolojiye geniş kullanım alanına sahip diğer yarıiletken malzemelerden (20 meV ZnSe ve 25 meV olan GaN) çok daha büyüktür. Bunun yanı sıra ZnO, ZnSe ve GaN'a göre çok daha düşük sıcaklıklarda hazırlanabilmektedir. Bu yüzden de optoelektronik uygulamalar için son derece önem taşımaktadır. $T_m \approx 2268$ K yüksek erime sıcaklığına sahip ve bozulmaksızın yüksek akım taşıma kapasitesi olan sağlam bir malzeme olup dielektrik sabiti $\epsilon=8.5$ 'tir (Carlsson 2002).

Tek boyutlu yarı iletken nano teller ve nano çubuklar elektronik kuantum taşıma ve yüklerin arttırılmış ışımsal yeniden birleşmeleri gibi kuantum sınırlamasından gelen fiziksel özellikleri nedeniyle ilgi çekmektedirler. Nano teller kısa dalga nano lazerler, alan etkili transistorlar, çok hassas nano boyutlu gaz sensorları, nano rezonatörler, transdüserler, nano destek kolları ve alan emisyonları gibi uygulamalar için temel taşıdırlar (Wang 2004, Pan ve ark. 2001, Heo ve ark. 2004).

Şu açıktır ki, çok çeşitli nano yapılar ZnO kullanılarak göreceli basit sentez

metotlarıyla üretilir. Bu nano yapılar kesinlikle nano boyutlarda temel fizik çalışmaları için kullanılabilir.

III–V ve II–VI grup düşük etkili manyetik yarı iletkenler spine bağımlı manyetik olay bu düşük boyutlu manyetik ince filmlerin, spin temelli belli yeteneklerinin potansiyel olarak değiştirilebilmesinden dolayı oldukça ilgi çekmektedir (Liu ve ark. 2005).

“Al:ZnO ince filmlerin optik ve elektriksel özelliklerine gama ışınlarının etkileri” başlıklı çalışmamda yüksek enerjili gama ışınlarının ZnO kristal yapısına dolayısıyla elektrik ve optik özelliklerine katkısını inceledim. Bu konuda yapılan çalışmaların azlığı dolayısıyla literatüre katkıda bulunmayı amaçladım.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Thomas ve Lander (1957) ZnO tek kristallerinin iletkenliklerinin çinko buharı ve hidrojene maruz kaldığında büyük miktarda arttığını gösterdiler. Fazla miktarda oksijen ise oda sıcaklığında iletkenliği azaltmaktadır. Yüzey iletkenliği beklendiği gibi kristal çapıyla değişmektedir.

Medved (1961) ZnO fotoiletkenliğinin tükenim kinetiklerini ışığın şiddeti ve oksijenin basıncının bir fonksiyonu olarak alan bir model kullanarak inceledi. Bu model genelleştirilmiş Elovich denklemini çıkartmada kullanılır.

Azınlık yük taşıyıcı akımlarının ölçümleri ve bir yarıiletken elektrottaki uzay yükü kapasitesi, elektrot yüzeyindeki kimyasal reaksiyonların adımları hakkında bilgi almada kullanılır. Morrison ve Freund (1968) azınlık akım reaksiyonlarının ZnO kristallerinin yüzeyinde oluşan akımları iki katına çıkardığını kapasite ölçümleriyle gösterdiler.

Heiland ve Kunstmann (1969) kutupsal yüzeyleri yarma yöntemiyle çok düşük basınç altında hazırladılar ve geniş sıcaklık aralığında (90–600 K) yüzeydeki elektriksel iletkenliği incelediler. Vakum ortamında tavlamanın ve hidrojen ya da oksijen soğurmasının sonucunda değişiklikler gözlediler. Optik ölçümlerle bulugularını teyit ettiler.

Uematsu ve Hashimoto (1977) ZnO katalizörlerde aşırı elektron konsantrasyonunu hidrojenleştirme metodunun yanında tek ve üçlü katyon katkısıyla belirlediler. Katkılı ve katkısız ZnO'larda aşırı elektron miktarının vakumda 300 °C üstünde arttığını gösterdiler.

Optik katı hal lazerlerinin gelişmesi yavaş ve kademeli olmuştur. İlk katı hal lazerinden ışık görülmesi 1960'larda olmuştur. Çok geçmeden, 1966, yakın UV bölgesinde çalışan ZnO'dan yapılmış ilk yarı iletken lazer gösterildi. ZnO'nun optik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada 1995 yılında oda sıcaklığında çalışan bir lazer üretildi. Bu tarihten sonra tek boyutlu ZnO nano teller hakkındaki araştırmalar araştırmaların odak noktası haline geldi.

Epitaksiyel AZO ince filmler tek kristal safir (0001) altlık üzerine atmalı lazer

biriktirme (PLD) yöntemiyle büyütüldü (Kim, Horwitz ve ark. 2002).

Czternastek (2004) Al katkılı ve katkısız ZnO filmleri yüksek basınçlı DC magnetron saçtırma cam altlıklar üzerine büyüttü. Plazma salınım gözlemi reaksiyon odasına akan oksijen miktarını istikrarlı hale getirmek için kullandı. Biriktirme sırasında toplam basınç ve katkı seviyesinin elektrik ve optik özelliklere etkisini inceledi. Daha yüksek katkı seviyelerinde tercihli yönelimin derece derece azaldığı, taşıyıcı konsantrasyonu ufak miktarlarda arttığı fakat Hall hareketliliğinin iyonlaşmış safsızlıkların çarpışmasından ve yönelimli büyüme noksanlığından dolayı ciddi miktarda azaldığını gördü.

Choi, Kim ve ark. (2005) Al ve F katkılı 200 nm kalınlıklı ZnO filmler ZnF ve Al_2O_3 hedeflerle eş zamanlı olarak saçtırma ile büyüttüler. XRD ölçümlerinden F katkısının ZnO filmlerinin kristalliliğini geliştirdiğini buldular. Elektriksel iletkenlik ve optik absorpsiyon katsayısının tavlama ile arttığını gösterdiler.

Dong, Zhu ve ark. (2007) p-GaAs altlıklar üzerinde ZnO p-n eklemi ile metal organik kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle LED diyotlar oluşturdular. Oda sıcaklığında elektrolüminisans (EL) ve fotolüminisans (PL) ölçümlerini aldılar.

ZnO, ışık yayan kaynakların muhtemel uygulamalarında GaN'e karşı avantajları olduğundan dikkat çekmektedir. Hwang, Oh ve ark. (2007) Epitaksiyel ZnO filmlerde katkı kontrolü, asitle dağlama ve omik kontak oluşturmaya içeren cihaz fabrikasyon işlemlerini ve son olarak ZnO LED karakteristiklerini incelediler.

Senede yüz binlerce ton ZnO çimentoya ya da plastiğe katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Optoelektronik alanında ZnO, GaN'e alternatif olarak, mavi/UV optoelektronik için ucuzluğu, şeffaflığı, iletken oksit olması ve elektronik devrelerde malzeme olma potansiyeli ile dikkat çekmektedir. Son dönemde ana problem yüksek, yeniden üretilebilir kararlı p tipi katkılamadır. Klingshirn malzeme büyütme, ZnO'nun temel özellikleri ve ZnO temelli nano yapılar ve katkılamının gelecek uygulamaları üzerinde çalışmıştır (Klingshirn 2007).

AZO filmler şeffaf, iletken, fonksiyonel, güneş pillerinde kullanım potansiyeli olan ve uzay mekiklerinde oksijen dirençli sistemlerde kullanılabilen bir malzemedir. Wang ve Wang (2007) yüksek performanslı AZO ince filmleri reaktif magnetron saçtırma ile hazırlayıp farklı dozlarda gama ışınına maruz bıraktılar. Radyasyona maruz

birakılmış ve maruz bırakılmamış filmleri XRD, SEM ve Hall etkisi ölçümü ile yapısal ve elektriksel parametreleri farklı dozlara maruz bırakılma üzerinden incelediler. Bu çalışmada gama ışınlarının yükleri uyardığı ve az da olsa Zn-O bağlarını bozarak kristallliği azalttığı ve AZO filmlerde negatif boşluk bozukluklarına açık bir etkisinin olmadığı gözlemlendi (Lao, Kuang ve ark. 2007).

Gomez, Maldonado ve ark. (2007) kimyasal spreyleneşmiş Al katkılı çinko oksit filmleri cam altlık üzerine büyüttüler. Filmler iki çinko rektant-çinko asetat A(Zn) ve çinko pentanedionate P(Zn) kullanılarak hazırlandı. Sonuçlar katkılamanın ve tavlamanın ZnO filmlerin elektriksel özelliklerini geliştirdiğini gösterdi. Tavlamanın optik özelliklere katkısında önemli bir değişim olmadı.

GaN üzerine düşük sıcaklıkta çözelti metodu ve iki aşamalı -termal tavlama ve azot plazmasına maruz bırakılma ile büyütölmüş ZnO nano çubuklar iyi optik özellik gösterdiler. Quang ve Jin (2008) ZnO nano çubuk yapıların oda sıcaklığında PL'sini aldılar ve azot plazmasına maruz bırakılmış ZnO nano çubukların güçlü UV emisyon pikleri verdiğini gördüler. X ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) ZnO nano çubukların içinde azot bulunduğunu gösterdi. Akım-gerilim ölçümleri küçük bir eşik voltajına sahip doğrultucu özellik gösterdi.

Brandt, von Wenckstern ve ark. (2008) ön tavlama hidrotermal büyütölmüş tek kristal ZnO üzerine atmalı lazer biriktirme yöntemiyle fosfor katkılı ZnO ince filmler oluşturdular. ZnO:P ince filmleri AFM, yüksek çözünürlüklü x ışınımı kırınımı ve Rutherford geri saçılma spektroskopisi sonuçlarına göre iyi yapısal ve morfolojik özellikleri doğrulandı. Hall etkisi ölçümleri gösterdi ki hazırdaki büyütme koşullarıyla bütün filmler n tipi iletkenliğe sahiptirler.

ZnO nano teller sıradışı özellikleri ve göze çarpan nanoelektronik uygulamaların ortaya çıkmasından dolayı ilgi odağı haline geldi. Bu çalışmalar daha çok alan etkili transistörlerin temel elektriksel özellikleri üzerinde yoğunlaştı (Chang ve Lu 2008).

Huang, Zhao ve ark. (2008) Cu katkılı ZnO yapının kusur yük durumunun manyetikliğe etkisini araştırdılar. P tipi ZnO:Cu yapının ferromanyetik özelliğinin bulunduğunu fakat n tipi ZnO:Cu'nın yerel manyetik momentinin olmadığını buldular.

Vurtzit ZnO malzeme simetrik olmayan yapısından dolayı (0001) yönünde mükemmel piezoelektrik özellik göstermektedir. Tipik bir II-VI geniş bant bileşik

olduğu için piezoelektrik özelliği çokça araştırılmıştır. Bazı pratik nano cihaz uygulamaları duyurulmuştur (Kou, Guo ve ark. 2008).

Esnek elektronik cihazların yaygınlaştığı günümüzde Kwon, Hong ve ark. (2008) esnek plastik altlıklar üzerine ZnO ve In_2O_3 nano tellerle inorganik alan etkili transistor yaptılar. Bükülmüş nano tel transistorların elektriksel özelliklerini piezoelektrik etkiyle ve nano tel ve polimer dielektrik malzeme ara yüzeyinde elektron tuzaklama ile açıkladılar (Kwon, Hong ve ark. 2008).

Takahata, Saiki ve ark. (2009) CuAlO_2 p tipi şeffaf iletken oksit (TCO) film ve bir n tipi ZnO film kullanarak helikon dalga uyarmalı plazma saçırma metodu ile heteroeklem diyot oluşturdular. Heteroeklemin yakın kızılötesi bölgede yaklaşık %80 ışık geçirgenliğine sahip olduğunu gördüler.

Lu, Song ve ark. (2009) silikon altlık üzerine büyütülmüş P katkılı ZnO nano tel dizilerini ve p tipi ZnO nano telleri kullanarak enerji dönüşümünü ilk defa gösterdiler.

Ahn, Han ve ark. (2009) bir ZnO şablon üzerine ısısal buharlaştırma ile dikey iyi hizalanmış değişik oranlarda Ga katkılanmış ZnO nano çubuklar büyüttüler. Zn içeriğe oranla %50 Ga içeren Ga katkılı ZnO nano çubuklar ZnO şablona göreceli olarak minimum baskın stres gösterdiler ki bu da depolanan zorlama enerjisinin hızla serbest bırakılmasından dolayı c ekseninde hızlı büyümeye neden olmuştur.

ZnO temelli hafif manyetik yarı iletkenlerin oda sıcaklığında ferromanyetizm (RTF) kökeni tartışmalıdır. Chen, Suzuki ve ark. (2009) deneysel olarak öğütülmüş $(\text{ZnO})_{(1-x)}/\text{Al}_{(x)}$ yapıda herhangi bir manyetik katkı olmadan RTF etkisinin mümkün olduğunu gösterdiler. Çalışmalarında $(\text{ZnO})_{1-x}/\text{Al}_x$ ($x = 0-0.5$) yapısını elde etmek için yüksek saflıkta ZnO ve Al tozlarını 8 saat süreyle karıştırdılar. XPS ölçümlerinde Zn^{2+} iyonlarının bir kısmının daha düşük iyonik durumuna geçtiğini gördüler. Numunelerde herhangi bir manyetik katkı olmadığı halde ferromanyetik özelliği, öğütülmüş nano parçacıkların ara yüzeylerinde Zn ve Al arasındaki yük transferine atfettiler.

Gao, Wu ve ark. (2011) Al katkılanmış ZnO (AZO) filmleri uygun tavlama yöntemleriyle sol-jel metoduyla hazırladılar. Büyütme sonrası tavlama sırasında normalde ihmal edilen ısıtma hızının AZO film özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynadığını buldular. Yüksek hızda bir ısıtmayla nano çubuk yapıları AZO filmler elde ettiler. Hidrojene maruz bıraktıktan sonra AZO nano çubukların $1,4 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ gibi

düşük bir dirence sahip olduklarını gördüler.

Oh, No ve ark. (2011) cam altlık üzerine radyo frekansı magnetron saçırma yöntemiyle AZO filmler büyüttüler. Cam üzerindeki AZO ince filmlerin x ışını kırınımı (XRD) deseni gösterdi ki (0002) pikinin yarı maksimumunun tam genişliği tavlama sıcaklığı arttıkça azalmaktadır bu da AZO ince filmin kristal kalitesinin arttığını gösterir. Aynı zamanda atomik kuvvet mikroskobu (AFM) imajlarından filmlerin ortalama pürüzlülüğünün ortalama karekökü tavlama sıcaklığıyla birlikte artmaktadır.

Maeng, Lee ve ark. (2011) şeffaf ve iletken AZO filmleri atomik katman biriktirme (ALD) yöntemiyle büyüttüler. Elektriksel, yapısal ve optik özelliklerin Al katkı oranına ve biriktirme sıcaklığına bağlı değişimini incelediler. En iyi dirence ve ışık geçirgenliğine 250 °C %2,5 katkı oranında ulaştılar. Biriktirme sıcaklığı ve katkılama oranı arttıkça yük yoğunluğunda da bir artış olduğunu gözlediler. Bunu katmanlı yapının etkili alan modeline atfettiler. Ayrıca, katkılama yoğunluğunun artmasıyla hareketliliğin geliştirilmesini tanecik sınırı çarpışması ve işleme iletkenlik mekanizması üzerinden incelediler.

Shim, Kim ve ark. (2011) polyethylene terephthalate (PET) altlık üzerine katkılanmamış ZnO nano tel dizileri ve Al katkılı ZnO nano teller ve nano yaprak gibi nano yapıları hızlı hidrotermal sentezleme yoluyla sentezlediler. Katkısız ZnO nano tel dizileri c eksenine yönelimle ve iyi tanımlanmış altıgen kesiminde (001) yakın hizalı bir dizilim gösterdiler. Al iyonlarının katkılanmasıyla hem nano teller hem nano yapraklar gözlediler.

Jeong, Shin ve ark. (2010) PET altlık üzerine organik ışık yayan diyotlarda (OLED) esnek şeffaf elektrot olarak kullanılmak üzere plazma zararsız düz yüzü hedef saçırma (LFTS) yöntemiyle AZO film hazırladılar. LFTS yöntemiyle büyütülmüş esnek AZO elektrotların elektriksel, yapısal ve optik özellikleri doğru akım gücü üzerinden araştırdılar. Birbirine bakan AZO hedeflerin arasındaki yüksek yoğunluklu plazmanın etkili sınırlandırılmasından dolayı PET üzerine büyütülen AZO filmler hem plazmadan zarar görmedi hem de yüksek enerjili parçacıkların çarpışmasından doğacak ısı problemi gidrilmiş oldu. Üstelik AZO/PET altlık üzerine yapılan esnek OLED daha düşük iş fonksiyonuna rağmen ITO/PET üzerine yapılan OLED'e benzer performans gösterdi. Bu da gösteriyor ki LFTS makul maliyetli esnek OLED'lerde indiyum katkısız

AZO elektrotların yapılabilmesi için ümit verici bir yöntemdir.

Kim, Sohn ve ark. (2012) ZnO tek kristallerinin Ag Schottky polar-çinko ve Ag Schottky polar-oksijen kontaklarının akım taşıma mekanizmalarını belirli bir sıcaklık aralığında incelediler. Termiyonik emisyon (TE) modelini kullanarak Schottky –polar-çinko yüzünün Schottky polar-oksijen yüzünden daha yüksek engel yüksekliğine sahip olduğunu buldular. N tipi ZnO’nun teorik değeriyle karşılaştırıldığında her iki polar yüz için düzenlenmiş Richardson çiziminden daha yüksek bir Richardson sabiti buldular ki bu da engel homojensizliğini dikkate alan TE modelinin akım taşımada yeterince açıklayamadığını gösterir. Sıcaklığa bağımlı tünelleme özelliği, tünelleme akımının polar çinko yüz için baskın olduğunu gösterir.

Kumar, Kumar ve ark. (2010) Al ve N birlikte katkılanmış ZnO ince filmleri n-Si (100) altlık üzerine saçtırma tekniğiyle büyüttüler. Hall etkisi ölçümleri n tipi iletim göstermesine rağmen 500 °C’de Ar ortamında tavllanmış filmler p tipi iletim gösterdiler. Çift katkılanmış ZnO filmlerin c eksenine yönünde iyi kristal yapısı gösterdiğini buldular. Bir doğal bağlı akseptör eksitonu ve oda sıcaklığında ortaya çıkan donör akseptör salınımlarının fotoluminisans ölçümü Al ve N çift katkılı ZnO’nun p tipi iletim gösterdiğini doğruladılar. P-n heteroeklemi akım gerilim karakteristiği diyot gibi doğrultma gösterdi.

Znaidi, Touam ve ark. (2012) katkısız ve Al katkılı ZnO filmleri sol-jel işlemi yardımıyla hazırladılar. ZnO içinde Al atomik olarak oranı %1 ya da %2 olacak şekilde eklediler. Çok katmanlı ince filmleri cam altlık üzerine dönel kaplama ile oluşturdular. Filmlerin yönelimi tercih edilen c eksenine yönündeydi. Yapının morfolojik ve optik özelliklerini Al katkı miktarı üzerinden x ışını kırılması (XRD), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) incelediler.

Yang, Zeng ve ark. (2011) yüksek kalitede Al katkılı ZnO filmleri RF magnetron saçtırma ile cam altlık üzerine farklı kalınlıklarda büyütürken film kalınlığının yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin değişimini incelediler. XRD sonuçlarına göre filmlerin kalınlığı ne olursa olsun çok kristalli yapıya sahiptiler ve kuvvetli tercihlili yönelimleri altlık düzlemine dik (002) yönelimindeydi. Optik bant aralığının film kalınlığı arttıkça 3.41 eV’den 3.30 eV’ye gerilediğini gözlemlediler.

Aghamalyan, Hovsepyan ve ark. (2010) şeffaf, iletken ve saf elektron demeti (e-

beam) buharlaştırmasıyla hazırlanan Ga katkılı ZnO filmleri oda sıcaklığında değişik dozlarda ^{60}Co radyasyon kaynağına maruz bıraktılar. ZnO filmlerin enerji bant aralığı, elektriksel direnç, taşıyıcı yoğunluğu kadar da yapısal parametrelerini katkı içeriğine göre belirlediler. Ayrıca elektro-optik cihazlarda şeffaf elektrot olarak kullanılan ZnO temelli filmlerin gama dozuyla radyasyon etkili yok etme miktarını belirlediler.

Abdudev, Akhmedov ve ark. (2010) cam altlıklar üzerine iletken seramik hedefler kullanarak magnetron saçtırma ile Ga katkılı ZnO filmler oluşturdular.

Alarcon, Ponce ve ark. (2011) gama ışınına maruz bırakılmış tohumlar içeren düz bir altlık üzerinde ZnO nano çubukların büyümesini ve sudaki Escherichia coli bakterisinin foto katalitik olarak elimine etmesini incelediler. Tohum tabakasını spreylere piroliz tekniğiyle çinko asetat çözeltisini gama ışınlarına maruz bırakarak elde ettiler. Kristal yapının bakterileri yok etme oranına pozitif bir etkisinin olduğunu gördüler.

Karagoz, Ozdemir ve ark. (2011) Al katkılı ZnO ince filmlerindeki yapısal değişikliği Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanarak gama geçirim tekniğiyle incelediler. Böylelikle Al katkılı ZnO filmlerin yoğunluğunu ölçebildiler.

Yarıiletken aygıtlarda katkı maddelerinin oynadığı kritik rolün ortaya çıkması yarıiletken nano kristallerin potansiyel uygulamaları ve özelliklerinin araştırılmasını teşvik etmiştir. Bundan dolayı katkı oranının yarıiletken nano parçacıkların özelliklerine etkisinin araştırılması uygulamaları kadar temel fizik bakış açısında da önemlidir.

Kumar, Sathyamoorthy ve ark (2011) basit ıslak kimyasal yolla AZO nano parçacıklar sentezlediler. Nano parçacıkların yapısal ve morfolojik özellikleri XRD ve SEM ile analiz ettiler. SEM analizi sonucunda çiçek yapısında altıgen vurtzit kümelerden oluşan çoklu nano çubuklar gördüler. Enerji dağıtıcı spektrumu (EDS) ZnO boşluklarına Al dolduğunu gösterdi. Optik soğurma, kuantum sınırlaması etkisi nedeniyle bant aralığının genişlediğini gösterdi.

Banerjee, Lee ve ark. (2010) ZnO içine çeşitli oranlarda 150 °C'de quartz altlık üzerine ALD depolamayla Al katkılı olarak AZO filmler oluşturdular. Düşük Al katkılama oranında yönelim (100) iken yüksek Al oranında filmler amorf kaldılar.

Gledhill, Grimm ve ark. (2011) yüksek şeffaflıkta, iletken ZnO filmleri çinko asetat temelli çözelti ile spreylere ısısal çözülme ile biriktirdiler. Damlacık biriktirmeli

sprey ısısal çözülme tekniğinden daha çok aerosol yardımıyla kimyasal buhar biriktirmeye benzer şekilde kaliteli filmler oluşturdular. Filmlerin özellikleri temel çözeltiye eklenenler tarafından belirlendi.

Sprey ısısal çözülme tekniği gayet pratik ev yapımı sistemlerle uygulanabilir. Buna benzer bir uygulamayı Ikhmayies, Abu El-Haija ve ark. (2010) ev yapımı sprej sistemiyle göreceli yüksek sıcaklıkta (450 °C) cam altlıklar üzerine yüksek şeffaflıkta iletken AZO filmler oluşturdular. Azot ortamında tavlama öncesi ve sonrası elektrik ve optik özelliklerin değişimini incelediler. Elektriksel özellikleri akım gerilim ölçümlerinden tayin ettiler. Optik özellikleri optik bant aralığını bulmak için kullanılan ışık geçirgenliği eğrilerinden elde ettiler. Elektro optik özellikler Al katkısı ve azot ortamında tavlama ile gelişti.

Dong, Pei ve ark. (2011) şeffaf ve iletken AZO filmleri değişen sıcaklıklara sahip amorf cam altlıklara ultrasonik sprej ısısal çözülme metoduyla büyüttüler. Altlık sıcaklığının ve katkı seviyesinin filmlerin elektrik ve optik özelliklerine etkisini araştırdılar. Bant aralığı ve Urbach parametresi optik absorpsiyon kenarından çıkarıldı ve azalan Al katkı seviyesiyle arttığı gözlemlendi.

Bhattacharyya ve Majumder (2010) sol-jel yöntemiyle hazırladıkları AZO filmlerin optik özelliklerini düzenlemiş Kramers–Kronig modeliyle değişen Al oranlarına göre incelemişlerdir.

Ali ve Chakrabarti (2010) ZnO temelli UV foto detektörlerin üretimini gösterdiler, karakterizasyonunu yaptılar ve termal dayanıklılığını test ettiler. Schottky engel foto detektör karakteristiği, idealite faktörü, sızma akımı ve engel yüksekliği oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümlerinden çıkarıldı. 100 °C den 200 °C'ye kadar çıkarıldığında cihazın termal kararlılığını koruduğunu gözlediler.

Abdullah, Selmani ve ark. (2011) kalay katkılı polikristal ZnO filmleri sol-jel işlemiyle büyüttüler. Çözelti çinko asetat dehidrat ve kalay klorür kullandılar. Değişik oranlarda kalay katkılı filmleri değişik sıcaklıklarda tavladılar. Filmlerin kırınım piklerinden bir altıgen vurtzit yapısının (100), (002) ve (101) yönelimlere sahip olduğunu buldular. Kalay katkı miktarı arttıkça bant aralığının arttığını gözlemlediler. Bant aralığının artması yansıma önleyici kaplama olarak kullanılabileceğini böylece bu filmlerin silikon güneş pillerine uygulanabileceğini gösterdiler.

Bantounas, Goumri-Said ve ark. (2011) $Gd_xZn_{1-x}O$, $x=0,625$, katkılı yarıiletkenin manyetik özelliklerini tam potansiyel (lineerleşmiş) arttırılmış düzlem dalga artı yerel metodu kullanarak incelediler. $Gd_xZn_{1-x}O$ üzerinde spin kutuplanmış hesaplamalar gösterdi ki, hatta eğer ferromanyetik taban seviye durumu dikkate alınsaydı, mükemmel ZnO vurtzit kafes içindeki Gd'nin manyetik etkisi yüksek oranda yerelleşti ve en yakın ilk üç komşu O atomlarına sınırlandı. Yerelleşmiş Gd etkili kutuplanmanın kusursuz bir ZnO vurtzit kafesindeki uzun alan manyetik sıralamayı açıklamakta kullanılamayacağını düşündüler.

Chattopadhyay, Nath ve ark. (2011) manyetik Fe iyonları katkılanmış ZnO epi filmlerin oda sıcaklığında ferromanyetik düzen gösterdiğini buldular. Akım etkili oda sıcaklığı ferromagnetizm için beklendiği gibi taşıyıcı sayısının verici sayısına oranıyla geçiş elementi başına düşen magnetizasyon arasında açık bir bağlantı buldular.

Guskos, Glenis ve ark. (2010) Fe_2O_3/ZnO yapısını ıslak kimyasal metotla elde ettiler. Malzemenin manyetik özelliklerinin ferromagnetik rezonans (FMR) metoduyla sıvı helyum sıcaklığından oda sıcaklığına kadar değişen sıcaklıklarda incelediler.

Hao, Lou ve ark. (2012) hidrotermal yaklaşımla üç boyutlu $Zn_{0,98}Mn_{0,02}O$ hiyerarşik içi boş mikro küreler sentezlediler. İlgili manyetik değerlendirme mekanizmasını tavlama işleminden gelen oksijen boşluklarıyla ilişkilendirdiler.

Jayakumar, Achary ve ark. (2010) $Zn_{0,95-x}Co_{0,05}Al_xO$ ($x = 0.0'$ den $0.1'e$) nano parçacıkları sol-jeli takip eden spre y ısısal çözölme metoduyla sentezlediler. $Zn_{0,95}Co_{0,05}O$ nano parçacıklar oda sıcaklığında diamanyetik özellik gösterdi. Fakat Al ile birlikte Co katkılanmış $Zn_{0,95-x}Co_{0,05}Al_xO$ ($x = 0.0'$ den $0.1'e$) yapıda $x=0,07$ değerine kadar ferromanyetik momentte sistemli artış gözlediler. Yüksek Al katkısının ferromanyetik düzeni etkileyen bölünme değişimi azaltılmaktadır.

Jia, Shi ve ark. (2011) AZO nano parçacıkları $Zn(AC)_2 \cdot 2H_2O$ ve $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 'dan homojen çöktürme yöntemiyle sentezlediler. XRD verileri AZO nano parçacıkların altıgen vurtzit yapıya iyi uyduğu ve Al^{3+} iyonlarının ZnO kristaline girerek Zn^{2+} iyonlarının yerine geçtiğini gösterdi. AZO parçacıkların elektromanyetik özelliklerini Al katkı miktarına göre incelediler.

Kim, Kim ve ark. (2010) Cu katkılı ZnO ($ZnO:Cu$) yapısının elektriksel iletkenliğin manyetik davranışlar üzerindeki etkisini incelediler. Cu katkı miktarını

değiştirerek elektriksel özellikleri kontrol ettiler. Deşik taşıyıcıları ZnO:Cu'daki ferromanyetik kanalların çiftlenmesine yardımcı olurlar.

Fang ve Kang (2010) Al katkılı ZnO nano çubukların optik, ışıma ve elektromekanik özelliklerini ve nano çubuklarla yapılan nano jeneratör sistemlerinin piezoelektrik karakteristiklerini incelediler.

Lee, Chen ve ark. (2012) ZnO nano teli içeren bir hibrit-fiber nano jeneratör dizisini incelediler. İnsan kolunun 90° lik açılma ve kapanma hareketi sırasında hibrit fiber yapıda 0,1 V gerilim oluştuğunu gördüler. Bu hibrit yapı teknolojisinden gelecekte giyilebilir enerji üreten malzemeler üretilebilir.

Brauer, Kuriplach ve ark. (2011) optoelektronik uygulamalarda kullanılabilecek, öneğin sensör uygulamalarında, Schottky kontak oluşumunu incelediler.

Allenic, Guo ve ark. (2007) epitaksiyel ZnO ince filmleri düzgün olarak N katkılayarak atmalı lazer ısıtması kullanarak büyüttüler. 300°C'de büyütülmüş ve 600°C'de O₂ ortamında tavlanan filmler p tipi iletkenlik gösterdiler.

Merkezi simetrik olmayan kristaldeki iyonların polarizasyonundan dolayı baskı altında kristalde piezoelektrik potansiyel oluşur. Yarı iletkenlerden ışık salınımı sadece yük aşılama ve yeniden birleşmenin verimine değil aynı zamanda öz verimliliğe de bağlıdır. ZnO gibi yüksek bant aralıklı malzemelerin UV emisyonu için nano teller, ince filmlerden daha yüksek öz verimliliğe sahiptir. Ancak, yaygın yaklaşıma göre bir p-n diyot yaparken düşük verimle sonuçlanır. Yang, Wang ve ark. (2011) merkezi olmayan simetrik doğaya sahip n tipi ZnO nano tel/p tipi GaN üzerine baskı oluşturarak bir piezoelektrik potansiyeli elde ettiler. Bu çalışmalar UV bölgeden görünür bölgeye değişik bugünün güvenli, yeşil ve yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanılan optoelektronik cihazların geliştirilebilmesi için genişletilebilir.

Ding, Pan ve ark. (2012) polar olmayan ZnO ince filmleri r-düzlem safır alttaş üstüne plazma destekli moleküler ışın epitaksi ile büyüttüler.

Jeong, Kim ve ark. (2011) ZnO nano telde p tipi iletim elde etmek için Pt kontak elektrotlu ZnO nano tel alan etkili transistor yaptılar. Pt yüksek iş fonksiyonuna sahip ve kimyasal olarak inert olduğundan, Fermi seviyesi ZnO nano telin valans bant tarafıyla yüksek Schottky engeli yapacak şekilde hizalanabilir. Akım gerilim

karakteristiğinin ZnO nano tel ve Pt arasındaki yüksek Schottky engelinden dolayı doğrusal davranış göstermediğini gördüler ve geçit transfer eğrileri zayıf bir p tipi iletim gösterdi.

Chavillon, Cario ve ark. (2012) kararlı p tipi iletim gösteren çinkoca zengin olmayan N katkılı ZnO filmler büyüttüler.

P tipi iletim sağlamak için değişik katkı malzemesi kullanılmıştır. Lee, Cha ve ark. (2011) basit hidrotermal teknikle Li katkılı p tipi ZnO nano teller sentezlediler. Kararlı p tipi ZnO:Li nano telleri alan etkili transistör ve aynı-eklem diyot yaparak gösterdiler. (Lee, Cha ve ark. 2011)

Abu El-Fadl, El-Maghraby ve ark. (2004) Li katkılı ZnO (ZnO:Li) filmlerin absorpsiyon spektrasına ve optik enerji aralığına gama ışımaya maruz bırakmanın etkilerini araştırdılar. Filmlerde, direk izinli bantlar arası geçişin gama dozu tarafından etkilendiğini ve hem optik enerji bant aralığının ve hem absorpsiyon katsayısının gama dozuna bağlı olduğunu gösterdiler.

Aksoy, Cağlar ve ark. (2010) cam altlık üzerine spreysel çözülme yöntemiyle katkısız ve Sn katkılı ZnO filmler biriktirdiler. Katkı kaynağı olarak kalay klorür kullandılar. Optik bant aralığını ve bazı optik özellikleri tayin ettiler.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada silisyum ve quartz altlıklar üzerine Al katkılı metal oksit ince filmler büyütülmüştür. Quartz ve değişik elektrik iletkenliği (p tipi ve n tipi) gösteren yarı iletkenler üzerine Al katkılı ZnO ince filmler plazma saçırma yöntemi ile büyütülmüştür. Bu filmlerin kristal yapısı Bruker D8 DISCOVER x ışını kırınım cihazı ile ölçülmüş, elektrik iletkenliği, taşıyıcı yük yoğunluğu Hall Etkisi Ölçüm Sistemi (Ecopia HMS 3000) ile ölçülmüş ve optik özellikleri, Shimadzu UV-3600-UV-VIS-NIR spektrofotometre ile ölçülmüştür. Bazı optik parametreler soğurma ve geçirgenlik verileri kullanılarak teorik olarak hesaplandı. İnce filmlere gama ışımasının etkilerini gözlemek için filmler gama ışımasına maruz bırakıldıktan sonra elektrik ve optik özellikler tekrar incelendi.

Bölüm sonunda ise gerçekleştirilen tüm deney basamakları sırasıyla anlatılmıştır.

3.1. ZnO Biriktirme ve İnce Film Kaplama Yöntemleri

Depolanacak ince filmlerin özellikleri, filmlerin kullanım alanları, kaynak ve alttaş malzemelerin sıcaklık optimizasyonu, düzensellik ve kalınlığın homojenliği, biriktirme hızı ve ticari maliyetler, ince film oluşturmada uygun kaplama tekniğinin belirlenmesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bundan dolayı, ince filmlerin arzulanan bileşimi ve mikro yapısı, kaynak ve alttaş malzemelerden kaynaklanan sınırlamalar dikkate alınarak uygun biriktirme tekniğinin seçilmesi ile elde edilebilir.

İnce filmin kaliteli oluşturulabilmesi için, vakum ortamında gerçekleştirilmesi gereklidir. Vakum ortamında gerçekleştirilen en eski ve en çok kullanılan yöntem, fiziksel buhar biriktirme tekniğidir. Fiziksel buhar biriktirme metodu (PVD) malzemelerin buharlaştırılarak çeşitli yüzeyler üzerine biriktirilmesinde kullanılan bir çok vakum biriktirme yöntemini kapsayan genel bir tekniktir.

Bu kaplama yöntemi yüksek sıcaklık vakum biriktirme veya plazma püskürtme bombardımanı gibi yüzeyde kimyasal reaksiyon içermeyen bir kaplama yöntemidir. Bu yöntemin kullanımı 1838 yılında Michael Faraday'ın çalışmalarına kadar uzanmasına rağmen fiziksel buhar biriktirme terimi ilk defa 1966 yılında C.F. Powell'in yazdığı "Buhar Biriktirme" kitabında kullanılmıştır.

Bu çalışmada fiziksel buhar biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Diğer yaygın ince film büyütme teknikleri aşağıda açıklanmıştır.

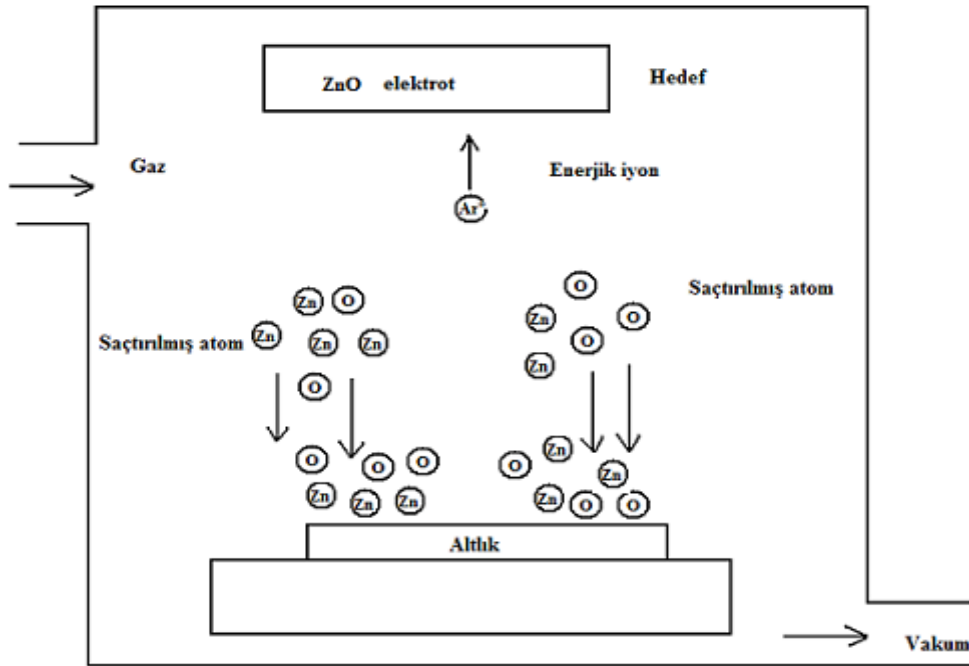
3.1.1. Plazma Saçtırma Yöntemi

PVD teknolojisinde en önemli dallardan biri plazma saçtırma yöntemidir. 1852 yılında Grove tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu güne kadar bu yöntem büyük ölçüde geliştirildi ve 160 yıl boyunca endüstride kullanıldı (Ocak 2010).

Saçtırma tekniği, parçacıkları kaynaktan ayırıp hedefe ulaştırmak için termal işlem yerine bir mekanik aktivasyon sağlar. (Ref: J. S. Logan, M. J. Hait, H. C. Jones, G. R. Firth and D. B. Thompson, J. Vac. Sci. Technol. A 7 (1989) 1392.) Bu yaklaşımın buharlaştırılması güç maddelerin biriktirilebilmesi hususunda

Saçtırma ile biriktirme yöntemi bir yüzeyden (hedef) buharlaştırılmış parçacıkların fiziksel saçtırma yöntemiyle biriktirilmesidir. Fiziksel biriktirme ısısal olmayan buharlaştırma işlemi olup yüzey atomları, katı haldeki bir yüzeyden atomik boyutlarda bombardıman yapılarak momentum transferiyle genellikle bir plazmadan hızlandırılmış gaz iyonları ile fiziksel olarak buharlaştırılır. Bu fiziksel buharlaştırma biriktirme bazen saçtırma olarak da adlandırılır. Genellikle kaynak ve altlık arası mesafe vakum biriktirmeyle karşılaştırıldığında kısadır. Saçtırma ile biriktirme bir katının (hedef) yüzeyine enerjik iyon bombardımanı ile bir vakum altında iyon tabancası kullanarak ya da düşük basınç (<5 mTorr) plazma ile yapılır. Öyle ki saçtırılmış parçacıklar hedefle altlık arasındaki bölgede ya birkaç çarpışma yapar ya da hemen hemen hiç çarpışma yapmazlar. Saçtırma altlık yüzeyine ulaşmadan önce gaz fazındaki çarpışmalarla ısıtılmış enerjik parçacıkların saçıldığı ya da hedeften yansıma yaptığı daha yüksek basınçlarda (5–30 mTorr) da yapılabilir. Saçtırmada kullanılan plazma saçtırma yüzeyi yakınlarında hapsedilebilir ya da hedef ile altlık arasındaki bölgeyi dolduracak şekilde olabilir.

Saçtırmada kullanılan hedef malzeme bir element, alaşım, karışım ya da bir bileşik olabilir ve o malzeme hedefin ham haliyle buharlaştırılır. Saçtırma hedefi uzun ömürlü bir buharlaştırma kaynağı sağlar. Saçtırma biriktirmesi yaygın olarak yarı iletken materyal üzerine ince film metal biriktirme için kullanılsa da mimari cam üzeri kaplama, yoğun disklerde yansıtıcı yüzey olarak kaplama, manyetik filmler, ıslak film yağlayıcılar ve dekoratif kaplamalar için de kullanılır. (Mattox 1998)



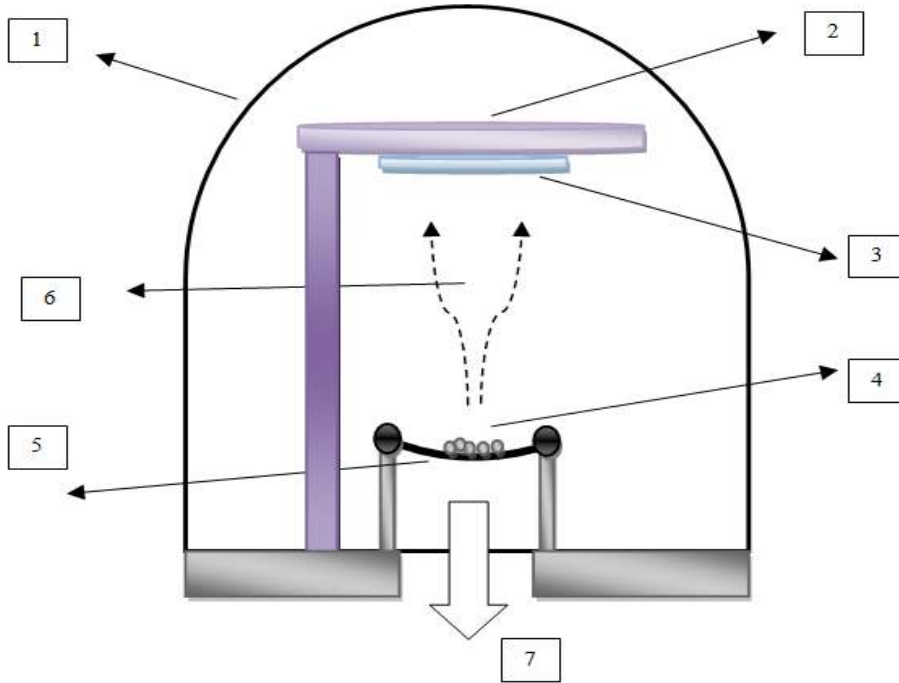
Şekil 3.1: Plazma buhar biriktirme

Bu teknikte hızlandırılmış iyonların kinetik enerjisi hedef malzemenin parçacıklarının bağlanma enerjisinden önemli ölçüde büyük olmalıdır. Yeterli biriktirme oranlarının yakalanabilmesi için genellikle 2 ya da 3 mertebeden büyük enerji uygulanır. Böyle enerjiler için ön koşul iyonların hızlandırılması için gerekli serbest yol mesafesinin olmasıdır ki, bu da en az mTorr seviyesinde ya da daha yüksek makul basınç gerektirir. Çünkü parçacıklar gaz fazında birkaç çarpışmaya ancak uğrar, onlar önemli bir kinetik enerjiye sahiptirler ve dar bir açısal dağılım gösterirler ve böylece hedeften gelen parçacık altlık olarak kullanılan maddenin yüzeyine gelir ve yüzeyde kimyasal reaksiyonlara sebep olabilecek yeterli enerjiye sahiptir. Bu kimyasal reaksiyonlara örnek olarak yüzeydeki parçacıkların kopartılması ya da altlık ile yüzeyindeki diğer parçacıklar arasındaki kimyasal bağların aktivasyonu söylenebilir. Saçırma katmanları buharlaştırma yöntemiyle elde edilen katmanlardan daha iyi yapışır ve yüzey kusurlarına karşı daha kararlıdır. Ancak, bu saçırma yöntemi organik filmlerde olduğu gibi hassas yüzeylere yapılan biriktirme katmanları için uygun değildir. Bu durumda, belli bir gaz basıncı, altlığın sınırlı bir sıcaklıkta olması ve biriktirilen parçacıkların sınırlı bir enerjiye sahip olması gerekmektedir. Özellikle yüksek saçırma oranları için altlığa verilen enerji önemlidir. Parçacıkların kinetik

enerjisinden kaynaklanan enerji plazmadan dolayı genellikle daha fazla olur. Saçtırılmış ince katmanların pürüzlülüğü oda sıcaklığında buharlaştırma için olanlardan önemli miktarda daha azdır, normal olarak. Bu da tam olarak nanoteknoloji uygulamalarında organik altlık üzerine kaplanan ultra ince metal katmanlar için saçtırma işleminin tercih edilmesinin nedenidir. Çeşitli kalitede filmler elde edebilmek için bazı parametreler şunlardır; biriktirme işleminin seçimi, vakum seviyesi, parçacık enerjisi ve biriktirme oranıdır (Köhler ve Fritzsche 2007).

3.1.2. Termal Buharlaştırma Yöntemi

Vakum ortamında rezistif ısıtıcı ile yapılan termal buharlaştırma tekniği, yarı iletken yüzeylerine ince metal filmleri kaplamak için en yaygın şekilde kullanılan tekniklerden biridir. Kaplanacak olan malzemeler, W, Mo ve Ta gibi ısıya dayanıklı, ergime noktası çok yüksek olan metallerden imal edilmiş potaların içinde veya direkt olarak ısıtılmış rezistans üzerinden buharlaştırılır. Kuartz, grafit, alüminyum, berilyum, bor–nitrit ve zirkonyumdan imal edilmiş potalar direkt ısıtmada kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Termal buharlaştırma sisteminin şematize edilmiş hali. 1.Vakum odası 2. Altlık tablası 3. Numune tutucu 4. Buharlaştırılacak metal 5. Isıtıcı filaman 6. Metal Buharı 7. Vakum pompası

Bu yöntem diğer tekniklere göre daha ucuzdur ancak bazı dezavantajları vardır. Geometrik faktörler sebebiyle büyük çaplı üretimler çok zordur veya mümkün değildir. Düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler (<1500 °C) için kullanılabilir. Bazı durumlarda, pota da sıcaklıktan etkilenecek buharlaşır ve kaplama bozulabilir.

Archibald ve Parent (1976), termal buharlaştırma için mevcut olan çeşitli kaynak–buharlaştırıcıların kaplama karakteristiklerini, avantajlarını ve sınırlamalarını tartışmışlardır. Bu teknik için buharlaşma oranları, belli bir sıcaklık ve vakum altında tutulan buharlaştırıcının buhar basıncı ile kontrol edildiği için başlangıç materyalinin içeriğinin aynısına sahip alaşım ve karışımları kaplamak zordur. Bununla beraber flaş buharlaştırma tekniği kullanılarak bu problemin üstesinden gelinebilir. Bu teknikte alaşımın veya metalin oldukça küçük boyutlu tozları kontrollü bir oranda sıcak olan buharlaştırma potasına konularak buharlaştırma yapılır böylece alaşımdaki oranın benzeri depozit edilmiş olur.

3.1.3. Dönel (Spin) Kaplama

Spin kaplama son birkaç on yıldır çok ince filmler ve görece daha kalın filmlerin düz altlıklar üzerinde oluşturulmasında kullanılmaktadır. Yarı iletken çözeltiler, polimerler ve bazı organikler gibi çeşitli malzemeler farklı amaçlar için metallere, plastiğe, cama ve yarı iletken altlıklara başarıyla kaplanmaktadır. Bu teknikte doğal olarak kaplanacak malzeme sıvı bir çözücüde çözünmüş olmalıdır. Tipik olarak kaplanacak altlık motor yardımıyla döndürülen bir platformda tutulur ve kaplama çözeltisi elle ya da otomatik kolla altlığa uygulanır. Altlık çok yüksek açısal hızlarla (300 devir/dak –10000 devir/dak) döndürülerek çözeltinin altlığın yüzeyine düzgün dağılması sağlanır. Oluşan filmin kalınlığı tabaka başına 30 nm'den birkaç mikrona kadar başarıyla oluşturulabilir. Bu kaplama tekniğinin arkasındaki teori, hızlı dönüşün oluşturduğu merkezci kuvvetle sıvının viskozitesinin belirlediği viskoz kuvvetlerin arasındaki dengeye dayanır. Film kalınlığı dönme hızı, süresi ve çözeltinin viskozitesi kontrol edilerek ayarlanabilir. Dönel kaplamanın önemli avantajları yeniden yapılabilirlik, homojen yapılı filmler elde edilmesi, basitlik, bütünleşme kolaylığı, farklı altlık üzerine uygulanabilme ve düşük maliyettir. Bu tekniğin ana dezavantajı ise düz ve pürüzsüz yüzeyler kullanma zorunluluğudur.

3.1.4. Daldırma (Dip) kaplama

Daldırma kaplama bir başka düşük maliyetli çözelti biriktirme kaplama tekniği olup yaygın olarak yarı iletken endüstrisinde düzensiz ve karmaşık şekilli kaplamaların yapılmasında kullanılır. Bu işlemde kompleks kısım ya da altlık kaplama çözeltisine daldırılır ve film ya altlığın çözeltiden dikey olarak çıkarılması ya da çözeltinin yavaşça sabit bir hızla dışarı alınmasıyla oluşturulur. Dip kaplama ya sürekli ya da parça işlemlerle uygulanır. Ancak, daldırma, çıkarma, film oluşumu, çözeltinin buharlaştırılması ve fazla çözeltinin sürekli olarak tahliye edilmesi gibi anahtar adımlar uygulanması şarttır. Dip kaplamada film oluşmasının arkasındaki fizik viskoz sürüklenme, çekim kuvvetleri ve dışbükey mercekle şeklindeki yüzeyin gerilimi arasındaki denge ile ilgilidir. Buna göre oluşan filmin kalınlığı viskozite, çözelti yoğunluğu ve hareket hızına bağlıdır. Bu kaplama tekniğinde görülen yaygın bozukluklar boşluklar, çivi delikleri, kalınlığın her yerde aynı olmaması ve dalgalı yüzeylerdir. Boşluklar ve çivi delikleri filmin içinde hava hapsolmesinden, yüzey kirliliklerinden ve toz zerreciklerinden ileri gelir.

3.1.5. Sprey ısısal çözülme (piroliz) kaplama

Püskürtme kaplama tekniği esas olarak düz olmayan vadiler, kuyular ve yarı iletken yongalar üzerindeki kümeler yapılabilmesi için kullanılır. Bu teknikte kaplama çözeltisinden püskürtücüler ve nebulizerler kullanarak çok iyi damlacıklar oluşturulur. Dip kaplama ve dönel kaplama teknikleriyle karşılaştırıldığında, iyi damlacıklar oluşturmak için ve iyi sprey işlemi çözelti viskozitesinin önemli miktarda azaltılması gerekir. Hazırlanan iyi damlacıklar taşıyıcı bir gaz yardımıyla kaplama odasına taşınır ve altlığa bir negatif yüklü damlacıklar topraklanmış altlığa çarptıran bir elektrik alan ya da yer çekimi etkisiyle kaplanır. Elektrostatik püskürtme ile kaplamanın geleneksel yerçekimi püskürtme kaplamaya avantajları yüksek biriktirme oranları ve düşük malzeme kaybıdır. Alışılmış kaplama kalitesi damlacıkların boyutu, bu boyut çözeltinin akışkanlığının azalmasıyla ve püskürtme basıncının artması ile düşürülebilir, ile belirlenir.

3.2. Yapısal Özellikler

3.2.1. X Işınları

Rontgen'in 1885'te keşfedişinden bu yana, x ışınları önce tıpta tanı amaçlı kullanıldı bunu fizik ve malzeme bilimi uygulamaları takip etti ve bugün hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. X ışınları kullanılarak malzeme karakterizasyonu 20. yüzyılın başından beri etkin bir biçimde araştırılmaktadır.

Doğal ve yapay yoldan elde edilen maddeleri anlamak için onların kristal yapılarının ayrıntılı biçimde anlaşılması gerekmektedir. Bu bilgi fizik, kimya, biyoloji ve malzeme bilimi araştırmaları için temeldir. Çeşitli deneysel metotlar içinde x ışını kırınımı tekniği anahtar bir seçimdir.

İnorganik maddelerin ve katı maddelerin çoğu kristal yapıdadır. X ışınları bir kristal maddeyle etkileşirse sonucunda kırınım da denilen bir esnek çarpışma meydana gelir. Esnek x ışını saçılması klasik elektromanyetik teori ile tam olarak tanımlanabilir. Değişen manyetik alandaki bir elektron alanla aynı frekansta titreşir. Bir x ışını bir atoma çarptığında, atomun etrafındaki elektronlar gelen ışınla aynı frekansta titreşmeye başlarlar. Klasik elektromanyetik teoriye göre ivmelenen bir yük –burada elektron– elektromanyetik radyasyon yayar.

Yarı iletkenlerin yapısal özelliklerini tayin etmede en kuvvetli tekniklerden bir tanesi x ışını kırınımı metodudur. Bu teknikte bir numune hizalanmış x ışını (dalga boyu yaklaşık olarak 0,5 ve 2 Å seviyesinde) demetine maruz bırakılır ve saçılan x ışınları uygun bir detektörle tespit edilir. Numune konumu, detektör ve numunenin özel kristal yapısı gibi faktörlere dayalı olarak XRD deseni kaydedilebilir. Böyle bir desende saçılma açısının bir fonksiyonu olarak saçılmış x ışını yoğunluk çiziminde pikler vardır. (Bu piklerin saçılmış x ışınlarının yapıcı girişimi sonucu olduğuna dikkat edilmelidir.) XRD' de x ışınları kristal malzeme içinde Bragg Yasası'na göre kırınım yapar.

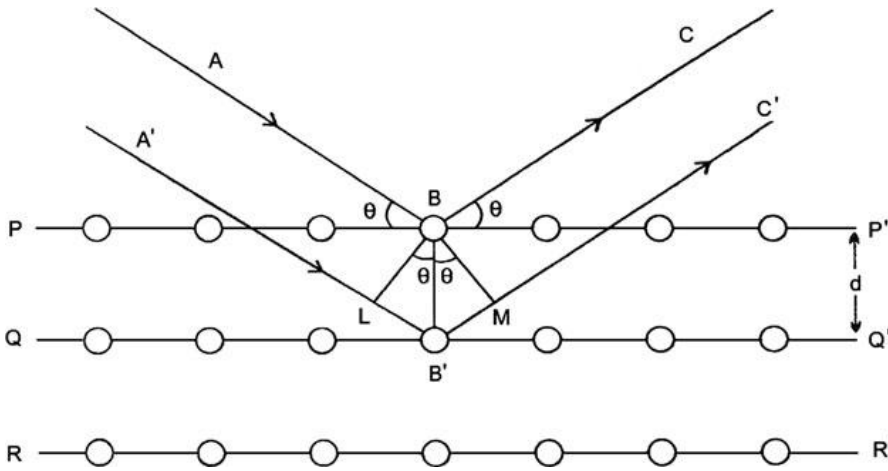
Hâlihazırdaki fazlar, kristal yapı, kusurlar, kristalit boyutları, kristal yönelimi ve zor hakkında bilgi edinilebilir. Faz belirleme XRD'nin rutin uygulamalarından biridir ve hesaplanmış (ve pik yoğunluğu) kırınım spektroskopisi ile literatürde verilen bilinen standartlar için karşılaştırma içerir. Tercihli tanecik yönelimi kristaloğrafik yönlerin göreceli pik yoğunluklarından çıkarılabilir. Oysaki zor, kırınım piklerinin konumu ve

genişliği ile karakterize edilir ve kristalit boyutu kırınım piklerinin genişliğinden hesaplanabilir. XRD metodunun belirli avantajları; analiz hava ortamında yapılır, geniş yüzeyli örnekler küçük bir hazırlıkla kullanılabilir ve analizin yıkıcı olmayan doğasıdır (Yacobi 2003).

X ışını kırınımının keşfinden hemen sonra, Laue x ışını kırınımı desenlerini elektromanyetik dalgaların atomlardaki elektronlar tarafından saçılmasını göz önüne alarak teorik çıkarımına girişti. Bir başka çıkarım x ışınlarının atomik düzlemde yansıtıldığını kabul eden Bragg tarafından yapıldı. Laue'nin yaklaşımı daha kesin olmakla birlikte Bragg'ınkiyle aynı sonuçları verir.

3.2.2. Bragg Yasası

Bragg, x ışını dalgalarının kristal düzlemlerinden yansıtıldığını kabul ederek, kristallerden kırılan x ışını kırınımı için yasayı belirledi ve bunu yansıyan ışınların girişimi için optik yasalara uyguladı.



şekil 3.3. X ışınlarının atomlar arası düzlemde kırılması. PP' , QQ' ve RR' bir kristalde birbirini takip eden birbirinden d kadar uzakta paralel atom düzlemlerini göstermektedir.

λ dalga boyuna sahip olan PP' düzlemine gelen bir AB x ışını θ açısıyla gelmektedir. Bu ışın B' 'den yansıyarak BC doğrultusunda yansıyor. Yine bir başka paralel $A'B'$ doğrultusunda gelip yan düzlemde $B'C'$ doğrultusunda yansımaktadır. BL ve $B'M$ 'yi B' 'den normal olarak düşünürsek $(B'L+B'M)$ yol farkı $2d\sin\theta$ eşittir.

Bu paralel ışınlar yapıcı girişim yaparlarsa

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.1)$$

olmalıdır. n bir tam sayıdır. Işınlara θ açısıyla kırınıma uğraması Bragg yasası olarak ifade edilir ve θ Bragg açısı olarak bilinir. Kırınımın gerçekleşebilmesi için d uzaklığı $\lambda/2$ 'den daha küçük olmalıdır.

Eğer düzlemlerin Miller indisleri h, k ve l ise bir a örgü sabitine sahip kübik kristal için kırınım bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{2a \sin \theta}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \lambda \quad (3.2)$$

Daha az simetrik kristaller için bu ilişki daha karmaşıktır.

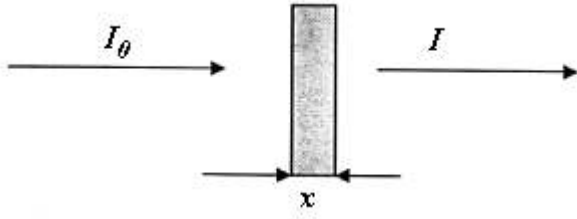
3.3. Optik Özellikler

3.3.1. Soğurma Olayı, Doğrudan ve Dolaylı Geçişler

Bir kristal düzlemine gelen elektromanyetik dalganın kristalde bulunan elektriksel yüklerle etkileşmesi sonucu enerji kaybına uğraması soğurma olarak adlandırılır. Yarıiletkenlerin yasak enerji bant aralıklarını belirlemede en çok kullanılan yöntem optik soğurma metodudur. Soğurma işleminde yarıiletken malzeme üzerine düşürülen bir foton, yarıiletkendeki bir elektronu düşük bir enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. x kalınlığına sahip bir ince film üzerine düşürülen ve malzemeyi geçen ışın şiddeti arasındaki bağıntı

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3.3)$$

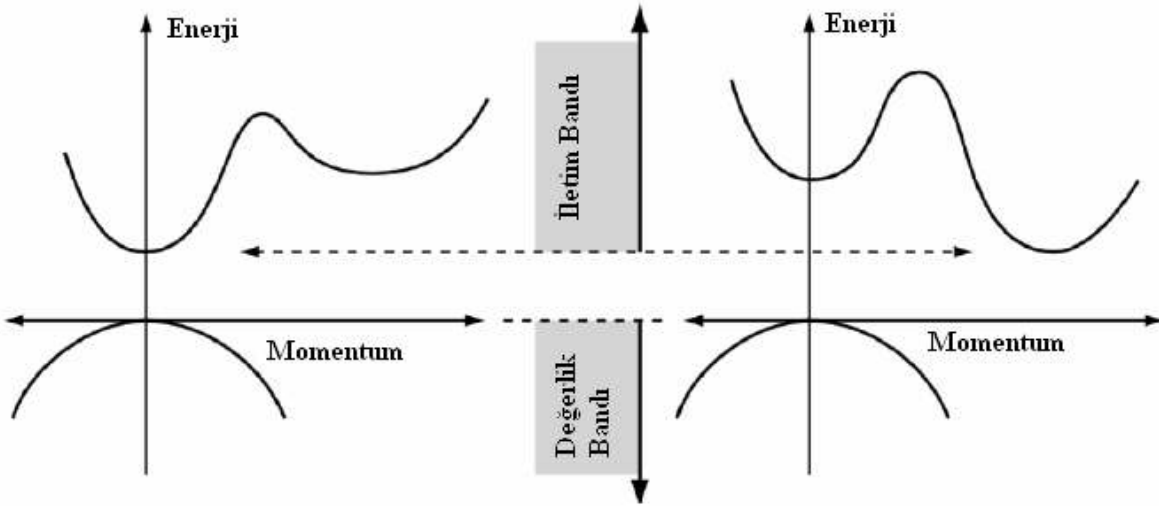
olarak yazılabilir. Burada I_0 ince film üzerine düşürülen ışığın yoğunluğu, I ince filmde geçen ışığın yoğunluğu, x ışığın ince film içerisinde aldığı yolu (ince film kalınlığını) ve α ise kullanılan malzemenin (yarıiletkenin) soğurma katsayısıdır.



Şekil 3.4. İnce bir filmdeki soğurma

Kristal ve amorf yarıiletkenlerde iki çeşit bant geçişi söz konusudur. Bunlar Şekilde gösterilen doğrudan ve dolaylı bant geçişlerdir. Doğrudan geçiş durumu, malzemenin değerlik bandının maksimumu ile iletim bandının minimumunun aynı momentuma sahip olması durumunda görülür. Şekil 3.5’de, değerlik bandındaki bir elektron momentum değerinde değişme olmadan bir foton soğurur ve fotondan aldığı enerji ile iletim bandına geçer.

Dolaylı bant aralığına sahip malzemelerin iletim bandının minimum enerjisi değerlik bandının maksimumunundakinden farklıdır. İletim bandındaki elektronlar hızlı bir şekilde minimum bant enerjisine inerler. Aynı ölçüde hollerde değerlik bandının maksimumuna ulaşırlar. Bundan dolayı, doğrudan geçişli bir yarıiletkenin elektron ve



Şekil 3.5. Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi

deşiklerin momentumları eşit iken, dolaylı geçişli yarıiletkenlerin bu momentumları eşit değildir. Bu sonuç azınlık taşıyıcıların ömürleri ve yarıiletkenlerin optik özelliklerinin sonucudur.

3.3.1.1. Doğrudan Bant Geçişi

$h\nu$ enerjiye sahip bir foton doğrudan bant geçişli bir yarıiletkenine geldiğinde, bir elektronu değerlik bandından iletim bandına geçirir. E_i yarıiletkeninde ilk durum, E_s son durum enerjisi olmak üzere enerji farkı

$$h\nu = E_s - E_i \quad (3.4)$$

denklemleri ile verilmektedir. Parabolik bantlarda ise,

$$E_s - E_g = \frac{p^2}{2m_e^*} \quad (3.5)$$

Ve

$$E_i = \frac{p^2}{2m_h^*} \quad (3.6)$$

ifadeleri ile belirlenir. Burada m_e^* , elektronun etkin kütlesi, m_h^* holün etkin kütlesini göstermektedir. Denklem 3.32, 3.33 ve 3.34 düzenlendiğinde

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (3.7)$$

bağıntısı ile elde edilir. Doğrudan bant geçişinde α ile $h\nu$ arasındaki bağıntı,

$$\alpha h\nu \approx K(h\nu - E_g)^m \quad (3.8)$$

denklemleri ile verilir. Burada K sabit sayı, m 1/2 izinli geçiş veya 3/2 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabittir. Ayrıca denklem 3.8'de $\alpha h\nu$ değerini sıfır yapan değer yarıiletkenin yasak enerji aralığı değerini vermektedir.

3.3.1.2. Dolaylı bant geçişi

Değerlik bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumunun momentumlarının farklı olduğundan elektron momentumunun korunması için, foton soğurma olayı ilave bir parçacık içermelidir. Bu durumda momentum korunumu için bir fotonun emisyonu veya soğurulması gereklidir. Fonon soğurulmasında, soğurulma katsayısı

$$\alpha_s(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} \quad (3.9)$$

ve

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp(-E_{ph}/kT)} \quad (3.10)$$

olarak yazılabilir. Burada α_s soğurma katsayısı ve α_e emisyon katsayısı, E_{ph} fonon enerjisidir. Her iki olasılıkta imkan dahilinde olduğu için

$$\alpha(h\nu) = \alpha_s(h\nu) + \alpha_e(h\nu) \quad (3.11)$$

olarak yazılabilir. Açık bir şekilde yazıldığında

$$\alpha(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} + \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp(-E_{ph}/kT)} \quad (3.12)$$

halinde yazılır. Burada m , dolaylı bant geçişli bir yarıiletken için 2 izinli geçiş veya 3 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabiti göstermektedir.

3.3.2. Geçirgenlik

Geçirgenlik, bir numuneden geçen ışığın şiddetinin numuneye gelen ışığın şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır ve denklem 3.13 eşitliği ile ifade edilir.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.13)$$

İletim ve bir ortamdan yansıma her ikisi de ortamın kırıcılık ve soğurma özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle etkileşimler her zaman zorunlu olarak geçirgenlik, yansıma ve soğurma gibi sınıflandırılmaz. Geçirgenlik açıkça gazlardaki (reaktör duvarlarından yansımalar hariç) soğurma ile gözlenir (Herman 1996).

Optik geçirgenlik ya da soğurma ölçümleri optik soğurma katsayıları ve belirli safsızlıkları belirlemek için kullanılır. Sığ seviye safsızlıkları optik ölçümlere karşılık gelir. Belirli safsızlıklar titreşimsel modlardan dolayı karakteristik soğurma çizgilerine sahiptir; örneğin silisyum içindeki oksijen ve karbon gibi. Bir yarı iletken içinde

soğurulan foton belirli safsızlıklar etrafında yerel titreşim modları üreterek ani çevresel değişiklik yapabilir. Geçirgenlik ölçümleri sırasında ışık örneğe gelir ve geçirgenlik dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülür. Numunenin yansımaya katsayısı, R , soğurma katsayısı, α , kompleks kırıcılık indisi, $n_1 - jk_1$, ve kalınlığı, x , ile karakterize edilir. Soğurma katsayısı, sönüm katsayısına, k_1 , aşağıdaki gibi bağlıdır.

$$\alpha = 4 \frac{\pi k_1}{\lambda} \quad (3.14)$$

Yarı iletkenin bant aralığı gelen fotonun enerjisinin bir fonksiyonu olarak soğurma katsayısının ölçümünden bulunabilir. Bant aralığından daha büyük enerji ile gelen ışık emilir. Fakat soğurma $h\nu$ yakınında optik bant aralığı (E_g) için makul sayılacak miktarda düşüktür. Yarı iletkenler enerjisi bant aralığı enerjisinden daha düşük fotonlar için genellikle şeffaftırlar ($\alpha \approx 0$).

Bir yarı iletken örnek içindeki safsızlıklar soğurma gösterebilir. Buna örnek olarak silisyum içine nüfuz etmiş oksijen ve silisyumla yer değiştirmiş karbon gösterilebilir. Onların yoğunluğu belirli dalga boylarındaki soğurma katsayısıyla doğru orantılıdır.

Geçirgenlik ve soğurma arasındaki ilişki ise,

$$A = -\log T \quad (3.16)$$

eşitliği ile verilir. Soğurma katsayısının yansımaya katsayısı ve geçirgenlik katsayısı ile ilişkisi;

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \left\{ \frac{(1-R)^2}{2T} + \left[\frac{(1-R)^4}{4T^2} + R^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (3.17)$$

eşitliği ile verilir.

Yarıiletken malzeme üzerine düşürülen ışığın malzeme ile yaptığı etkileşimlerden biri de kırılma. Kırılma olayı ışığın yarıiletken malzemeye dik geldiği durumlarda malzemenin içine geçerken yön değiştirmesidir. Yarıiletken bir malzeme için kompleks kırılma indisi (n) olmak üzere,

$$n = n_o - ik \quad (3.18)$$

eşitliği ile verilir. Burada n_0 ; kırılma indisinin gerçel kısmı, k değeri ise kırılma indisinin sanal kısmıdır ve “sönüm katsayısı” olarak ifade edilir. Kırılma indisinin yansıma cinsinden ifadesi denklem 3.19'daki gibidir.

$$n_0 = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (3.19)$$

Yarıiletken malzemenin kırılma indisi dalgaboyunun bir fonksiyonudur. Yüksek kırılma indisine sahip yarıiletken malzemeler daha fazla yansıtma özelliğine sahip olurlar. Atom numarası arttığında elektron sayısı da artacağından ve kutuplaşma çoğalacağından fotonlar daha fazla etkilenir ve daha fazla kırılmaya uğrarlar. Bu nedenle yarıiletken malzemenin kırılma indisi ve dielektrik sabiti arasında bir ilişki vardır.

Yarıiletken bir malzeme için kompleks dielektrik sabiti (ϵ) olmak üzere,

$$\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2 \quad (3.20)$$

eşitliği ile verilir. Yarıiletken bir malzemede yapılan optik ölçümler sonucunda yansıma katsayısı, kırılma indisi ve sönüm katsayısı doğrudan ölçülebilirken dielektrik sabiti ϵ doğrudan ölçülemez.

Dielektrik sabiti ϵ ve kırılma indisi n arasında

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad (3.21)$$

ilişkisi bulunmaktadır. Dielektrik sabitinin gerçel kısmı,

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (3.22)$$

ve sanal kısmı da denklem 3.23 gibi ifade edilir.

$$\epsilon_2 = 2nk \quad (3.23)$$

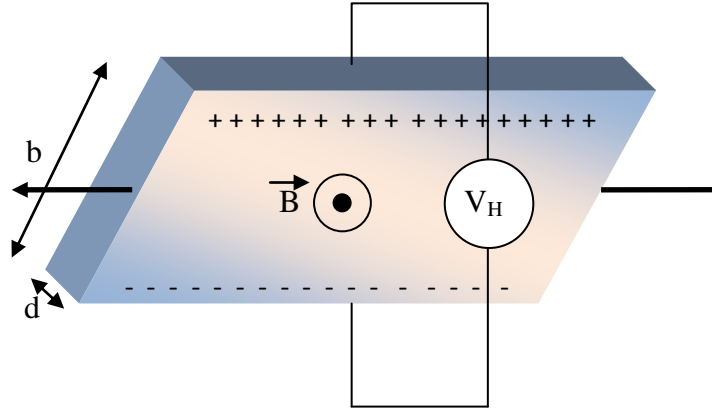
3.4. Elektriksel Özellikler

3.4.1. Hall Etkisi

Akım taşıyan bir iletken şeklindeki gibi bir manyetik alan içine bırakılırsa manyetik alanın uyguladığı kuvvetten dolayı sapan elektronlar akıma ve manyetik alana dik bir potansiyel fark oluştururlar. Bu olaya Hall etkisi denir ve ilk defa Edwin Hall

tarafından 1879 yılında keşfedilmiştir. Hall etkisi bize taşıyıcı yüklerin işareti ve yoğunluğu hakkında bilgi verdiği gibi manyetik alanın büyüklüğü de ölçülebilir.

Yük taşıyıcıları manyetik kuvvetin etkisinde iletkenin kenarlarına doğru itilir. Yüklerin kenarlarda toplanması elektriksel kuvvetin manyetik kuvvete eşit hale gelmesine kadar devam eder. Kenarlarda biriken yüklerin oluşturduğu potansiyel farka Hall potansiyeli (V_H) denir.



Şekil 3.6. Akım taşıyan iletkene etkiyen manyetik alan ve yüklerin durumu

Hall gerilimi,

$$V_H = \frac{IB}{ned} \quad (3.24)$$

ile ifade edilir.

Burada iletkenin geçen akım I ile gösterilmiştir, B uygulanan manyetik alan, n

taşıyıcı yoğunluğu ve d ise iletkenin kalınlığıdır. Akım Ohm Kanunu'ndan

$I = V/R$ 'dir. Öyleyse iletkenin direncini

$$R = \frac{l}{\sigma bd} \quad (3.25)$$

ile ifade edebiliriz. Burada l iletkenin boyu, b iletkenin genişliği ve σ iletkenliktir. Bu direnç değeri yine Ohm Kanunu'nda yerine yazılıp akım çekilirse

$$I = \frac{V_{\sigma b d}}{l} \quad (3.26)$$

olur. Denklem 3.26'da akım değeri yerine yazılırsa Hall gerilimi denklem 3.27 gibi yazılır.

$$V_H = \frac{V_{\sigma b B}}{n e I} \quad (3.27)$$

Buna göre V_H deneysel olarak ölçüldüğünde taşıyıcı yoğunluğu bulunabilir.

$$n = \frac{V_{\sigma b B}}{V_H I e} \quad (3.28)$$

İletkenlik hesaplanacak olursa

$$\sigma = n e \mu_H = \frac{\mu_H}{R_H} \quad (3.29)$$

Burada R_H Hall katsayısıdır ve denklem 3.30 gibi yazılır.

$$R_H = \frac{1}{n e} \quad (3.30)$$

n-tipi yarıiletkende ($n \gg p$) $R_H < 0$;

p-tipi yarıiletkende ($p \gg n$) $R_H > 0$;

Sonuç itibariyle Hall katsayısına bakarak malzemenin ne tür bir iletkenlik gösterdiğini bulabiliriz.

3.5. Deneysel İşlemler

3.5.1. Altıkların Temizlenmesi

Bu çalışmada ve 1 inç $\times$ 1 inç kuartz ve University Wafers firmasından alınan, 1–10 Ω cm öz dirence ve (100) yönelimine sahip 2 inçlik p-Si ve n-Si yarı iletkenler kullanılmıştır. Yarı iletkeni üzerindeki organik kirlere arındırmak için önce trikloroetilen'de 10 dakika kaynatılmış, ardından sırasıyla aseton ve metanolde 5'er dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır. Ardından 30 saniye seyreltik HF:H₂O (1:10) çözeltisine daldırılmıştır. Kuartz malzeme ise sırasıyla aseton ve metanolde 5'er dakika

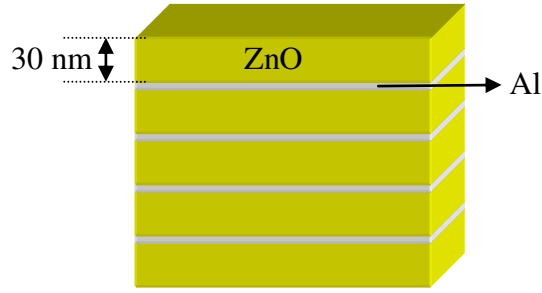
ultrasonik olarak yıkanmıştır. Her basamak sonunda yarı iletken ve cam malzeme 18 MΩ dirençli deiyonize suda yıkanmıştır. Deiyonize sudan geçirilen yarı iletken ve cam malzeme azot (N₂) ortamında kurutulmuş ve vakum odasına yerleştirilmiştir.

3.5.2. Al katkılı ZnO filmlerin oluşturulması

AZO filmlerin oluşturulması için Nanovak firmasının ürettiği NVTs-400 bir RF ve bir DC magnetronlu saçtırma sistemi kullanılmıştır. Kullanılan vakum sistemi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu çalışmada hedef olarak 2 inç çapında Kurt Lesker firmasından alınan ZnO ve Al hedefler kullanılmıştır. Vakum odasına yarı iletkenler ve cam altlıklar konulduktan sonra önce vakum odası basıncı 3×10^{-6} Torr mertebesine düşürülmüştür. Daha sonra vakum sisteminden yüksek saflıkta Argon gazı geçirilerek vakum seviyesi 22×10^{-3} Torr mertebesine getirilmiş ve sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanarak değişik Al katkı oranına sahip filmler oluşturulmuştur.

- 200 W RF güç uygulanarak 30 nm kalınlığında ZnO film
- Yaklaşık 20 W DC güç uygulanarak Al film
- 200 W RF güç uygulanarak 30 nm kalınlığında ZnO film
- Yaklaşık 20 W DC güç uygulanarak Al film
- 200 W RF güç uygulanarak 30 nm kalınlığında ZnO film
- Yaklaşık 20 W DC güç uygulanarak Al film
- 200 W RF güç uygulanarak 30 nm kalınlığında ZnO film
- Yaklaşık 20 W DC güç uygulanarak Al film
- 200 W RF güç uygulanarak 30 nm kalınlığında ZnO film

Filmlerin kalınlığı, saçtırma sistemine entegre bulunan SQM 160 kalınlık ölçme sistemi ile kontrol edilmiştir. Tavlama öncesinde oluşturulan yapı şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Al katkılı ZnO ince filmlerin yapısı

Saştırma işleminden sonra oluşturulan filmler 500 °C'ye ayarlanmış fırın içerisine konulmuş ve azot ortamında 30 dakika tavlánmıştır. Böylece Al atomlarının ZnO katmanlarına nüfuz etmeleri sağlanmıştır. Elde edilen Al katkılı filmlerden Al katman kalınlığı 1,5 nm olan filmler 1AZO, katman kalınlığı 3 nm olan filmler 2AZO olarak kodlanmıştır.



Şekil 3.8. ZnO ve Al katkılama işlemlerinin gerçekleştirildiği vakum sistemi

3.5.3. Yapısal Özelliklerin Belirlenmesi

Yapılan bu çalışmada katkısız ve Al katkılı ZnO filmlerinin x-ışını kırınım desenleri Bruker D8 DISCOVER x-ışını cihazında $\lambda=1,5413 \text{ \AA}$ dalga boyu CuK_α ışını kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ sınır değerlerinde incelenmiştir.

3.5.4. Yük Taşıyıcıların Yoğunluğu ve Özdirencinin Ölçülmesi

Tavlamadan sonra filmlerin elektrik iletkenliği, özdirenci ve taşıyıcı yük yoğunlukları Ecopia HMS 3000 Hall Measurement System ile ölçüldü.



Şekil 3.9. Ecopia Hall etkisi ölçüm sistemi

3.5.5. Optik Parametrelerin Belirlenmesi

Optik özelliklerin tayin edilmesi için filmlerin geçirgenlik ve soğurma ölçümleri Shimadzu UV-3600-UV-VIS-NIR spektrofotometre ile alındı. AZO filmlerin optik bant genişlikleri soğurma verileri kullanılarak $(\alpha h\nu)^2$ -enerji grafiğinden hesaplandı.

3.5.6. Gama Işını Etkisinin Gözlenmesi

Filmler üzerine gama ışımasının etkisini görebilmek için filmler yaklaşık 10 kGy şiddetinde ^{60}Co kaynağı altında gama ışımasına maruz bırakıldı. Yapılan bütün bu ölçümler filmler gama ışımasına maruz bırakıldıktan sonra tekrar yapıldı.

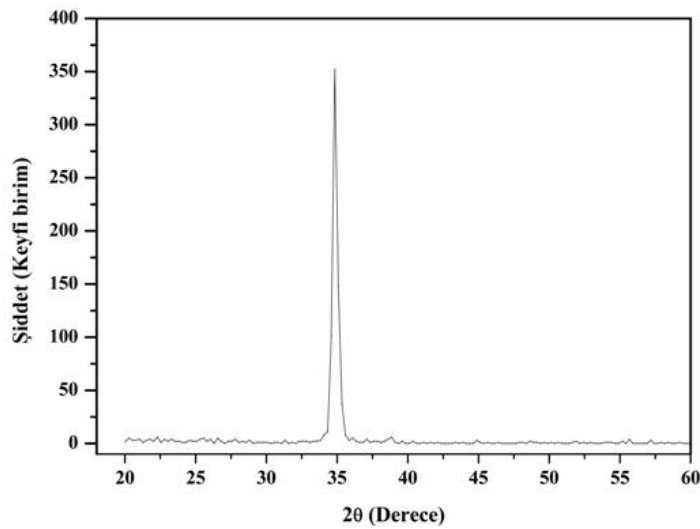
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Giriş

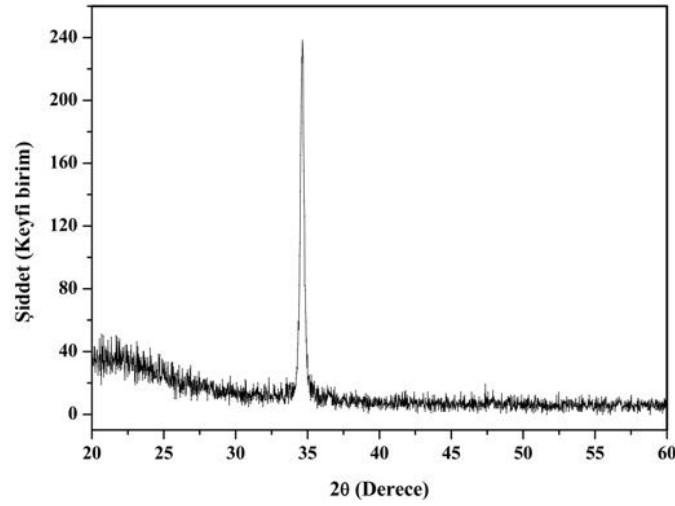
Bu bölümde saf ve çeşitli oranlarda Al katkılanmış ZnO'un optik ve elektriksel karakterizasyonu incelenecektir.

4.2 X Işını Kırınım Ölçümleri

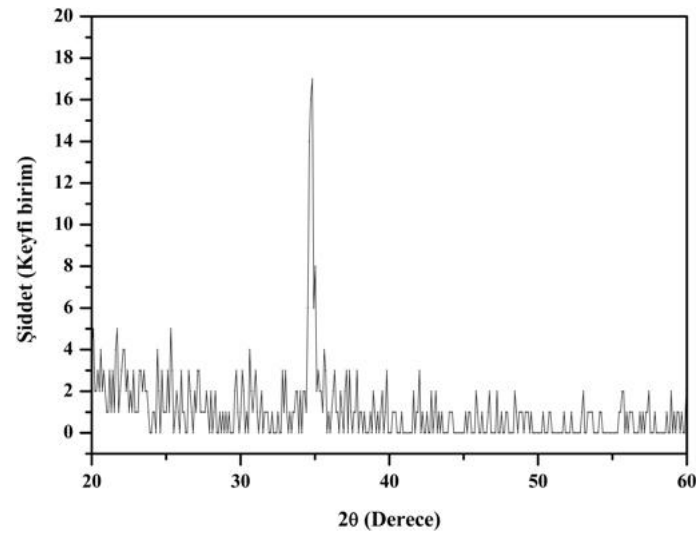
İnce filmlerin kristal yapıları Bruker D8 DISCOVER x-ışını cihazında $\lambda=1,5413$ Å dalga boylu CuK_α ışını kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ sınır değerlerinde incelenmiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te katkılı ve Al katkılı ZnO filmlerin x-ışını kırınım desenleri gösterildi. X-ışını kırınım deseninde gözükten piklerin yönelimleri belirlendi. Elde edilen bütün ZnO filmlerinin hekzagonal (wurtzite) yapıda oldukları ve tercihli yönelimlerinin (002) olduğu anlaşıldı



Şekil 4.1. Katkısız ZnO filmi x ışını kırınım deseni



Şekil 4.2. 1AZO x ışını kırınım deseni



Şekil 4.3. 2AZO x ışını kırınım deseni

4.3. Optik Ölçümler

Optik özellikleri incelenen katkısız ve Al katkılı ZnO ince filmler RF ve DC magnetron saçırtma yöntemiyle biriktirilmiştir. Filmlerin soğurma spektrumları 220–2600 nm arasında Shimadzu UV–3600 UV–VIS–NIR spektrometre cihazında ölçüldü. İnce filmlerin soğurma, optik geçirgenlik ve yansıma değerlerinin altlıkların soğurma, optik geçirgenlik ve yansıma değerlerinden etkilenmemesi için kaplanmamış camdan geçen ışın normalize edildi. İnce filmlerin soğurma değerlerinin dalga boyuna göre değişimi Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'deki gibidir. ZnO ve 1AZO ve 2AZO için

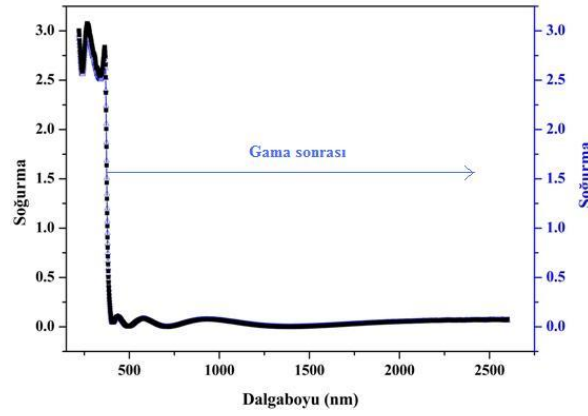
soğurma değerlerinde yaklaşık 370 nm'de hızlı bir artış görülmektedir. Grafiklerden 2AZO filminin soğurmasının en fazla değer aldığını ve katkı oranı arttıkça soğurma değerlerinin arttığı görüldü. Optik soğurma değerlerinin gama radyasyonundan sadece görünür ışık bölgesinin mavi–UV bölgesinde az bir değişime neden olduğu görüldü.

4.3.1. Elde Edilen İnce Filmlerin Yasak Enerji Aralıkları

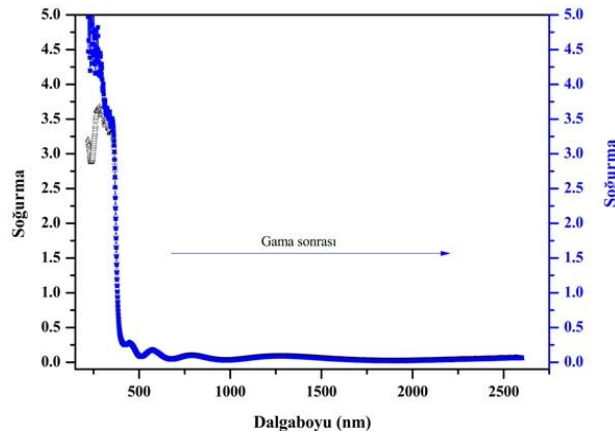
Bu çalışmada filmlerin yasak enerji aralığının belirlenmesinde optik soğurma metodundan faydalanılmıştır. Optik soğurma metodu, yarıiletkenlerin yasak enerji aralığının belirlenmesinin yanı sıra bant yapılarının belirlenmesinde de yaygın olarak kullanılır. Elde edilen filmler için yasak enerji aralıkları yaklaşık aynı olduğundan sadece katkısız ZnO filmi için Şekil 4.7'deki grafik ekstrapole edilerek, yasak enerji aralıkları bulunmuş ve bulunan değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bulunan değerlerden alüminyum katkısının ve gama radyasyonunun ince filmlerin yasak enerji aralıklarına katkısının çok az olduğu görüldü.

Çizelge 4.1. İnce filmlerin yasak enerji aralıkları

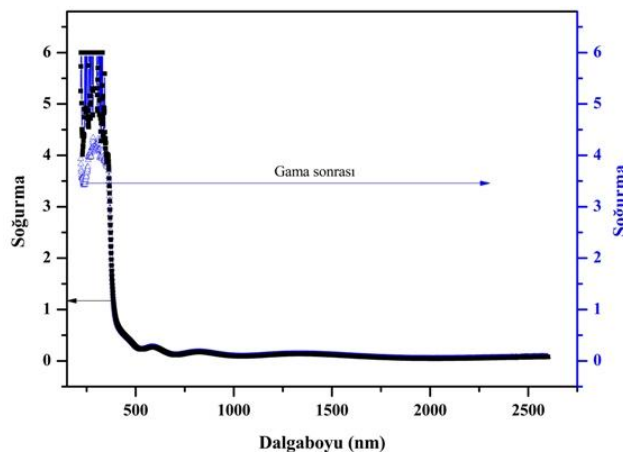
	ZnO	1AZO	2AZO
Gama Radyasyonu Öncesi Optik Bant Aralığı	3,28 eV	3,27 eV	3,28 eV
Gama Radyasyonu Sonrası Optik Bant Aralığı	3,28 eV	3,27 eV	3,28 eV



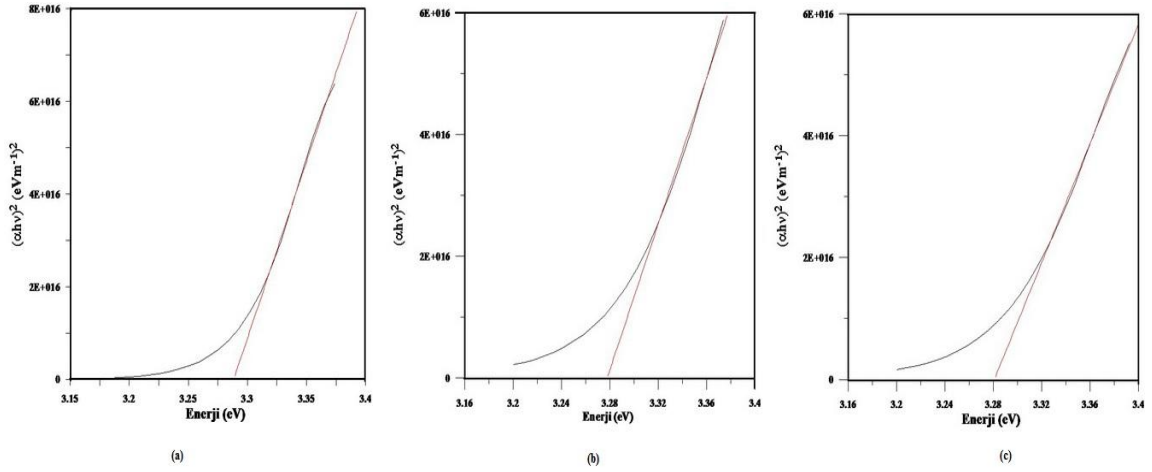
Şekil 4.4. Katkısız ZnO filmi soğurma grafiği



Şekil 4.5. 1AZO soğurma grafiği



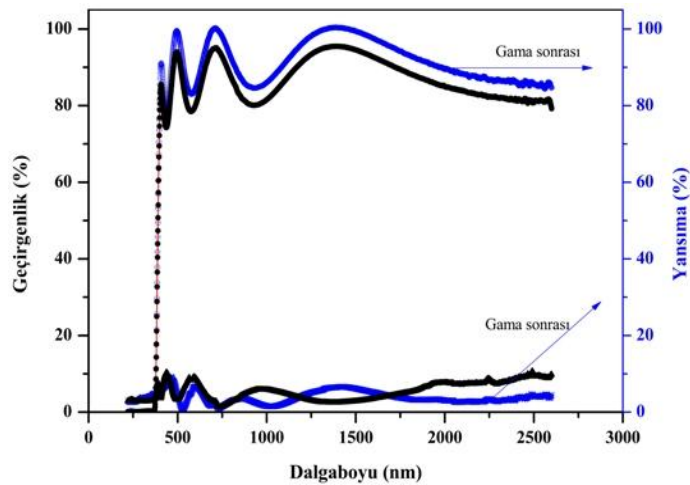
Şekil 4.6. 2AZO soğurma grafiği



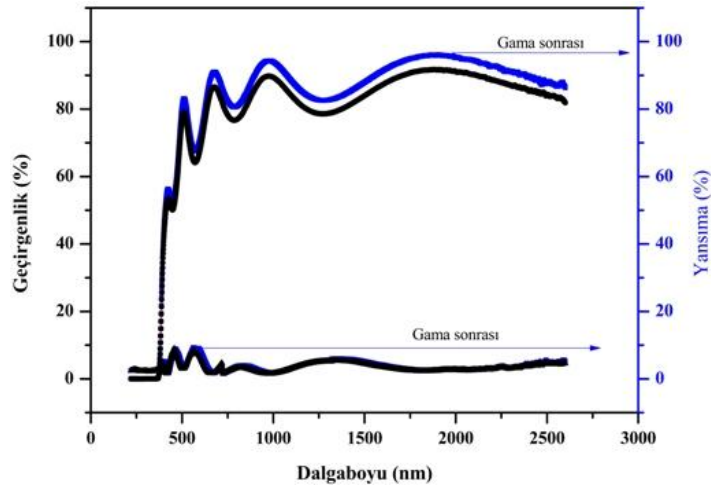
Şekil 4.7. İnce filmlerin için $(\alpha h\nu)^2$ –enerji grafikleri. (a) Katkısız ZnO filmi yasak enerji bant aralığı (b) 1AZO filmi yasak enerji bant aralığı (c) 2AZO filmi yasak enerji bant aralığı.

İnce filmlerin optik geçirgenlik değerlerinin dalga boyuna göre değişimi Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10'deki gibidir. Görünür ışık bölgesinde Al katkı oranı arttıkça geçirgenliğin azaldığı görüldü. Filmlerin optik geçirgenlik değerlerinin katkısız ZnO, 1AZO ve 2AZO için sırasıyla 373 nm, 380 nm ve 380 nm değerlerinden itibaren ani olarak artarken yansımada ise hızlı bir azalış gözlemlendi. 400–800 nm dalgaboyu aralığındaki ortalama geçirgenlik değerleri, ZnO filmi için %86,52 iken, 2AZO filmi için azalarak %53,61 değerine düşmüştür.

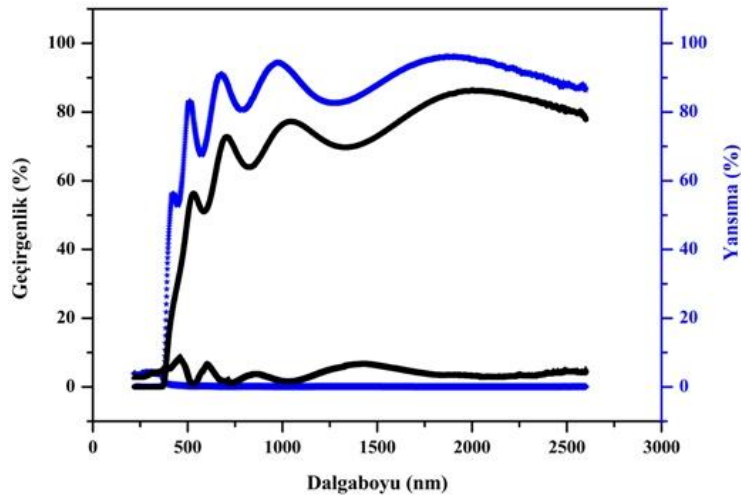
Kısa dalga boylarında fotonların enerjilerinde arttığından, fotonların elektron, atomlar veya kristal molekülleriyle daha fazla etkileşimleri ve daha fazla yansıtılması beklenir. Alüminyum katkı oranı arttıkça yansımada değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. ZnO filmi geçirgenlik ve yansımada grafiği

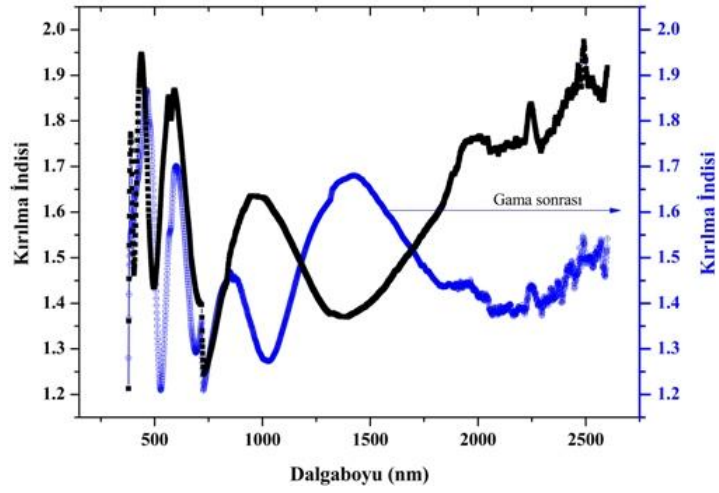


Şekil 4.9. 1AZO geçirgenlik ve yansımada grafiği

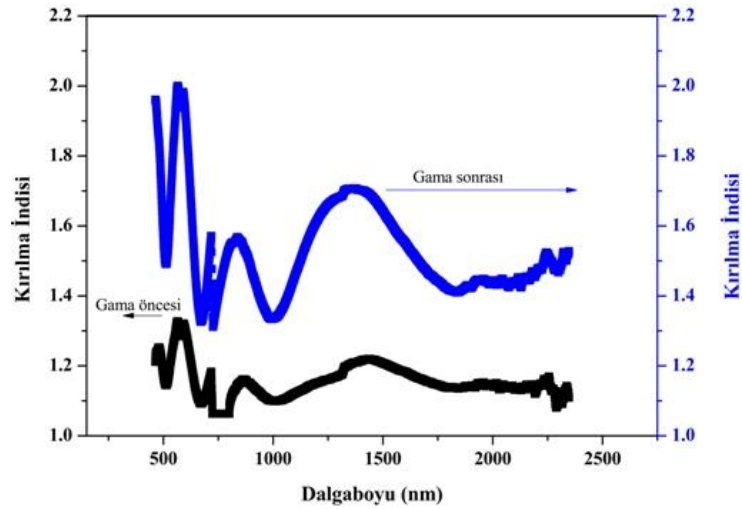


Şekil 4.10. 2AZO geçirgenlik ve yansımada grafiği

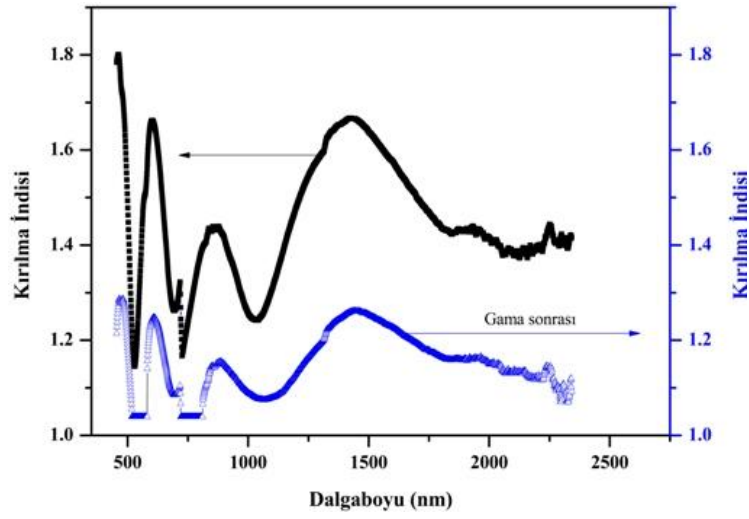
Geçirgenlik ve yansımalarından yararlanılarak, optik sabitler hesaplanabilir. Denklem 3.19 eşitliğinden yararlanılarak kırılma indisi n hesaplandı ve dalga boyuna karşı grafikleri Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'de gösterildi. Sönüm katsayısı k hesaplandı ve optik sabitlerin dalga boyuna karşı grafikleri, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir. Gelen fotonun dalga boyu azaldıkça (yani fotonun enerjisi arttıkça) sönüm katsayısının ve kırılma indisinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, gelen fotonun enerjisinin artmasından dolayı elektronlarla daha fazla etkileşmesindendir. Alüminyum katkılı olduğunda kırılma indisi ZnO filme göre 1AZO filmde azalırken 2AZO filmde arttığı gözlemlendi.



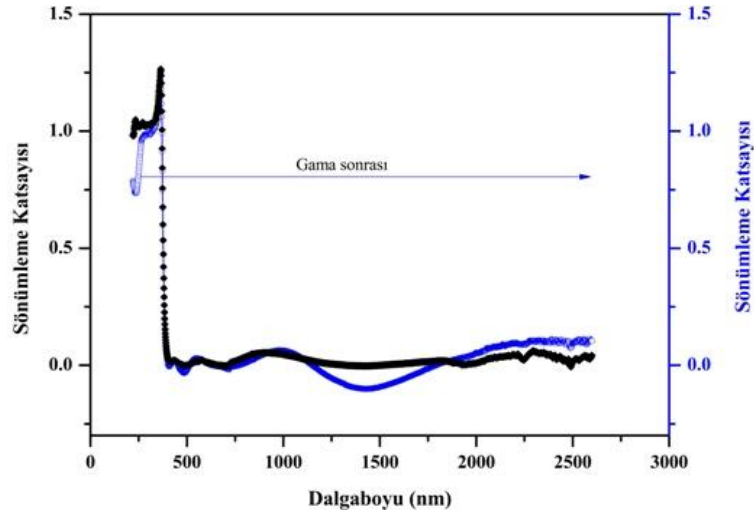
Şekil 4.11. ZnO filmi dalga boyuna karşı kırılma indisleri grafiği



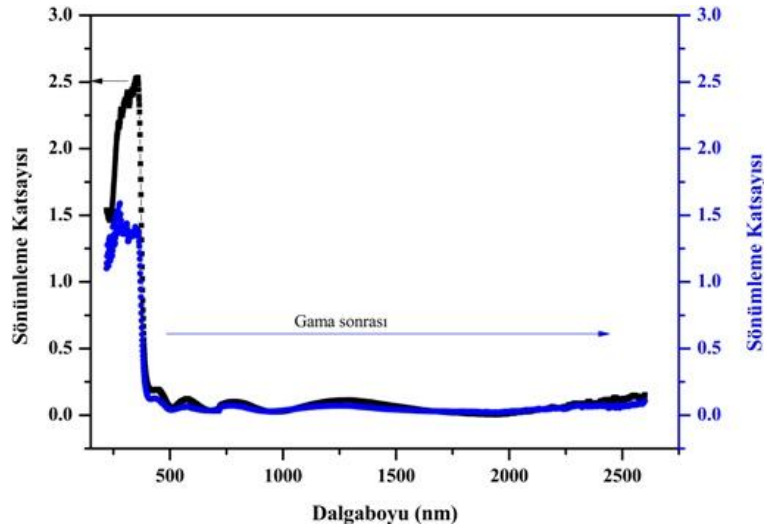
Şekil 4.12. 1AZO dalga boyuna karşı kırılma indisleri grafiği



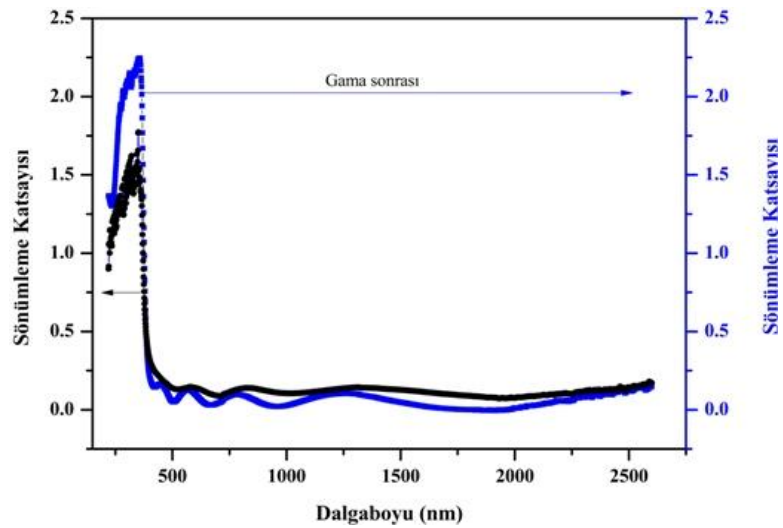
Şekil 4.13. 2AZO dalgaboyuna karşı kırılma indisleri grafiği



Şekil 4.14. ZnO filmi dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği



Şekil 4.15. 1AZO dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği



Şekil 4.16. 2AZO dalgaboyuna karşı sönüm katsayısı grafiği

4.4. Elektriksel Ölçümler

Filmlerin öz direnç değişimleri incelendiğinde, ZnO ince filmin öz direncinin Al katkı filmlerle karşılaştırıldığında, Al katkı miktarı arttıkça öz dirençlerin azaldığı görüldü. Bunu Al atomlarının taşıyıcı yük yoğunluğuna katkısına atfedildi. Taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitedeki değişimlerin, öz direnç ile uyum içerisinde olduğu görüldü.

Çizelge 4.2. İnce filmlerin elektriksel özellikleri

	Gama radyasyonu öncesi		Gama radyasyonu sonrası	
	Özdirenç (Ωcm)	Taşıyıcı Yük Yoğunluğu ($/\text{cm}^3$)	Özdirenç (Ωcm)	Taşıyıcı Yük Yoğunluğu ($/\text{cm}^3$)
Katkısız ZnO	8,81E+00	5,67E+12	2,57E+02	1,58E+09
1 AZO	7,01E-02	1,16E+15	2,31E-02	4,72E+13
2 AZO	3,36E-04	2,72E+17	4,04E-02	8,10E+14

Gama radyasyonu sonrası özdirenç değerlerinde bir artma gözlemlendi. Bunun sebebinin yüksek enerjili gama ışınlarının Zn ve O atomlarının arasındaki bağları bozmasına, kristal yapının bir miktar bozulması sonucu bazı yapı kusurlarının elektrik iletkenliğini azaltması olduğu kararına varıldı.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

ZnO ve metal katkılı ZnO yapılar üzerine yapılan araştırmalar artarak devam etmektedir. Araştırmaların bir bölümü yeni yarıiletken malzemelerin hazırlanması yönünde gelişirken bir bölümü de bu yarıiletkenlerin elektronik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerden faydalanılarak yeni şeffaf metal–yarıiletken devre elamanları geliştirmeyi amaçlar.

Bu tezde önce elektriksel devre elemanlarının üretiminde kullanılmak ve güneş pili uygulamalarında kullanmak amacıyla, çeşitli altlıklar üzerine ince filmler oluşturulmuştur. Bu işlem için çift magnetronlu saçtırma sistemi kullanılmıştır. Daha sonra tüp fırın içerisinde Argon gazı geçirilerek tavlandı. Böylece Al atomlarının ince filmde ZnO yapısı içine nüfuz etmesi sağlandı. Sonuç olarak p-Si, n-Si ve quartz altlıklar üzerine 150 nm'den 180 nm'ye değişik kalınlıkta Al katkılı ZnO ince filmi kaplanmıştır.

Yapının karanlıkta elektriksel özellikleri Hall etkisi sistemiyle tayin edildi. Yapılan ölçümler sonunda yapının öz direncinin literatürdeki diğer çalışmalarla benzer özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Daha sonra Al katkılı ZnO ince filmlerin optik özelliklerinin tayin edildi. Bazı optik parametreler ölçüm sonuçlarına dayanarak teorik olarak hesaplandı. Teorik hesaplamaların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görüldü. Mevcut filmlerin kristal yapısının belirlenmesi için x ışını kırınım deseninden faydalanarak kristal yapısı belirlendi. X ışını kırınım deseninden filmin düzgün bir kristal yapıya sahip olduğu görüldü. Elde edilen bütün ZnO filmlerinin hekzagonal (wurtzite) yapıda oldukları ve tercihli yönelimlerinin (002) olduğu anlaşıldı. Daha önce yapılan çalışmalarda bu sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Filmler tüm ölçümler alındıktan sonra gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Gama radyasyonuna maruz bırakıldıktan sonra elektriksel iletkenliğin azaldığı görüldü. Optik özellikler bakımından radyasyon sonucunda önemli bir değişiklik gözlenmemiş fakat optik soğurma değerlerinin radyasyon sonucunda arttığı gözlemlendi.

Bu çalışmanın değişik metallerin değişik katkı oranlarıyla tekrarlanması halinde radyasyona daha dayanıklı şeffaf metal oksitlerin sentezlenebileceği düşünülmektedir. Bu metal oksitler özellikle uzay mekiklerinin ekipmanlarında kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

Abduev, A. K., A. K. Akhmedov ve ark. 2010. Effect of growth temperature on properties of transparent conducting gallium-doped ZnO films. *Semiconductors*, 44(1): 32-36.

Abdullah, H., S. Selmani ve ark. 2011. ZnO:Sn Deposition by Sol-gel Method: Effect of Annealing on the Structural, Morphology and Optical Properties. *Sains Malaysiana*, 40(3): 245-250.

Abu El-Fadl, A., E. M. El-Maghraby ve ark. 2004. Influence of gamma radiation on the absorption spectra and optical energy gap of Li-doped ZnO thin films. *Crystal Research and Technology*, 39(2): 143-150.

Aghamalyan, N. R., R. K. Hovsepyan ve ark. 2010. Gamma-irradiation effect on transparent conducting ZnO:Ga films. *Journal of Contemporary Physics-Armenian Academy of Sciences*, 45(1): 33-41.

Ahn, C. H., W. S. Han ve ark. 2009. Ga-doped ZnO nanorod arrays grown by thermal evaporation and their electrical behavior. *Nanotechnology*, 20(1).

Ahuja, R., Fast, L., Eriksson, O., Wills, J.M. ve Johansson, B. 1998. Elastic and high pressure properties of ZnO. *Journal of Applied Physics*, 83, 8065.

Aksoy, S., Y. Caglar ve ark. 2010. Effect of Sn dopants on the optical and electrical properties of ZnO films. *Optica Applicata*, 40(1): 7-14.

Alarcon, J., S. Ponce ve ark. 2011. Effect of gamma-irradiation on the growth of ZnO nanorod films for photocatalytic disinfection of contaminated water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 364(1): 49-55.

Ali, G. M. ve P. Chakrabarti. 2010. Performance of ZnO-Based Ultraviolet Photodetectors Under Varying Thermal Treatment. *Ieee Photonics Journal*, 2(5): 784-793.

Allenic, A., W. Guo ve ark. 2007. Synthesis and properties of p-type nitrogen-doped ZnO thin films by pulsed laser ablation of a Zn-rich Zn₃N₂ target. *Journal of Materials Research*, 22(8): 2339-2344.

Archibald, P., Parent, E. 1976. *Solid State Technology*, 19: 32-40.

Asil, H., E. Gur, ve ark. 2009. Electrochemical growth of n-ZnO onto the p-type GaN substrate: p-n heterojunction characteristics. *Applied Physics Letters* **94**(25).

Banerjee, P., W. J. Lee ve ark. 2010. Structural, electrical, and optical properties of atomic layer deposition Al-doped ZnO films. *Journal of Applied Physics*, 108(4).

Bantounas, I., S. Goumri-Said ve ark. 2011. Ab initio investigation on the magnetic ordering in Gd doped ZnO. *Journal of Applied Physics*, 109(8).

Bates, C.H., White, W.B. ve Roy, R. 1962. New high-pressure polymorph of zinc oxide. *Science*, 137, 993.

Bhattacharyya, S. R. ve S. Majumder. 2010. Synthesis Of Al Doped ZnO Films By Sol-Gel Technique. *Functional Materials Letters*, 3(2): 111-114.

Brandt, M., H. von Wenckstern ve ark. 2008. High electron mobility of phosphorous-doped homoepitaxial ZnO thin films grown by pulsed-laser deposition. *Journal of Applied Physics*, 104(1).

Brauer, G., J. Kuriplach ve ark. 2011. Activities towards p-type doping of ZnO. *International Workshop on Positron Studies of Defects*, (Psd 08) 265.

Bunn, C.W. 1935. *Proceedings of the Physical Society*, 47, 835.

Carlsson, J.M. 2002. A First-Principles Study of Interface Systems: Electronics Properties of Metal Quantum Wells and Varistor Materials. PhD.Thesis, Göteborg University.

Chang, P. C. and J. G. Lu 2008. ZnO Nanowire Field-Effect Transistors. *Ieee Transactions on Electron Devices*, 55(11): 2977-2987.

Chattopadhyay, S., T. K. Nath ve ark. 2011. Enhancement of room temperature ferromagnetism of Fe-doped ZnO epitaxial thin films with Al co-doping. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 323(8): 1033-1039.

Chavillon, B., L. Cario ve ark. 2012. P-Type Nitrogen-Doped ZnO Nanoparticles Stable under Ambient Conditions. *Journal of the American Chemical Society*, 134(1): 464-470.

Chen, S. J., K. Suzuki ve ark. 2009. Room temperature ferromagnetism in nanostructured ZnO-Al system. *Applied Physics Letters*, 95(17).

Choi, B. G., I. H. Kim ve ark. 2005. Electrical, optical and structural properties of transparent and conducting ZnO thin films doped with Al and F by rf magnetron sputter. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(12): 2161-2165.

Czternastek, H. 2004. ZnO thin films prepared by high pressure magnetron sputtering. *Opto-Electronics Review*, 12(1): 49-52.

Damen, T.C., Porto, S.P.S. and Tell, B. 1966. *Physical Review*, 142, 570.

Desgreniers, S. 1998. High-density phases of ZnO: structural and compressive parameters. *Physical Review B: Condensed Matter*, 58, 14102.

Dhananjay, J. Nagaraju, ve ark. 2007. Investigations on zinc oxide thin films grown on Si(100) by thermal oxidation. *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology* **137**(1-3): 126-130.

Ding, P., X. H. Pan ve ark. 2012. Growth of p-type a-plane ZnO thin films on r-plane sapphire substrates by plasma-assisted molecular beam epitaxy. *Materials Letters*, 71: 18-20.

Dong, L., T. F. Pei ve ark. 2011. Deposition of ZnO:Al thin films by ultrasonic spray pyrolysis. *Advances in Composites, Pts 1 and 2* 150-151: 1617-1620.

Dong, X., H. C. Zhu ve ark. 2007. ZnO-based homojunction light-emitting diodes fabricated by metal-organic chemical vapor deposition. *Semiconductor Science and Technology*, 22(10): 1111-1114.

Fang, T. H. ve S. H. Kang 2010. Physical Properties of ZnO: Al Nanorods for Piezoelectric Nanogenerator Application. *Current Nanoscience*, 6(5): 505-511.

Galli, G. and Coker, J.E. 1970. *Applied Physics Letters*, 16, 439.

Gerward, L. ve Olsen, J.S. 1995. The high-pressure phase of zincite. *Journal of Synchrotron Radiation*, 2, 233.

Gledhill, S., A. Grimm ve ark. 2011. Doping induced structural and compositional changes in ZnO spray pyrolysed films and the effects on optical and electrical properties. *Thin Solid Films*, 519(13): 4293-4298.

Gomez, H., A. Maldonado ve ark. 2007. Properties of Al-doped ZnO thin films deposited by a chemical spray process. *Materials Characterization*, 58(8-9): 708-714.

Guskos, N., S. Glenis ve ark. 2010. Magnetic study of Fe(2)O(3)/ZnO nanocomposites. *Physica B-Condensed Matter*, 405(18): 4054-4058.

Hao, Y. M., S. Y. Lou ve ark. 2012. Novel magnetic behavior of Mn-doped ZnO hierarchical hollow spheres. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(1).

Heiland, G. and P. Kunstmann. 1969. Polar surfaces of zinc oxide crystals. *Surface Science*, **13**(1): 72-84.

Heo, Y.W., Norton, D.P., Tien, L.C., Kwon, Y., Kang, B.S., Ren, F., Pearton, S.J. ve LaRoche, J.R. 2004. *Materials Science & Engineering R-Reports*, 47, 1.

Herman I. P. 1996. *Optical Diagnostics for Thin Film Processing*, Academic Press, Inc, San Diego

Huang, D., Y. J. Zhao ve ark. 2008. Magnetism and clustering in Cu doped ZnO. *Applied Physics Letters*, 92(18).

Hwang, D. K., M. S. Oh ve ark. 2007. ZnO thin films and light-emitting diodes. *Journal of Physics D-Applied Physics*, 40(22): R387-R412.

Ikhmayies, S. J., N. M. Abu El-Haija ve ark. 2010. Electrical and optical properties of ZnO:Al thin films prepared by the spray pyrolysis technique. *Physica Scripta*, 81(1).

Jayakumar, O. D., S. N. Achary ve ark. 2010. Experimental and theoretical investigations on magnetic behavior of (Al,Co) co-doped ZnO nanoparticles. *Nanoscale*, 2(8): 1505-1511.

Jeong, D. W., J. J. Kim ve ark. 2011. p-type Conduction in ZnO Nanowire Schottky Field-effect Transistors with Pt Metal Electrodes. *Journal of the Korean Physical Society*, 59(5): 3133-3137.

Jeong, J. A., H. S. Shin ve ark. 2010. Flexible Al-doped ZnO films grown on PET substrates using linear facing target sputtering for flexible OLEDs. *Journal of Physics D-Applied Physics*, 43(46).

Jia, Y. Q., D. M. Shi ve ark. 2011. Synthesis of Al-doped ZnO Nanoparticles and its Electromagnetic Performance. *Smart Materials and Intelligent Systems*, Pts 1 and 2 143-144: 271-276.

Karagoz, B., O. Ozdemir ve ark. 2011. Determination of Gamma Transmittance and Density Assessment for Al Doped ZnO Thin Films By using Gamma Transmission Technique. *Diffusion in Solids and Liquids Vi*, Pts 1 and 2 312-315: 830-835.

Kim, C. O., S. Kim ve ark. 2010. Effect of electrical conduction properties on magnetic behaviors of Cu-doped ZnO thin films. *Physica B-Condensed Matter*, 405(22): 4678-4681.

Kim, H., A. Sohn ve ark. 2012. Silver Schottky contacts to Zn-polar and O-polar bulk ZnO grown by pressurized melt-growth method. *Semiconductor Science and Technology*, 27(3).

Kim, H., J. S. Horwitz ve ark. 2002. Epitaxial growth of Al-doped ZnO thin films grown by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 420: 107-111.

Klingshirn, C. 2007. ZnO: From basics towards applications. *Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics*, 244(9): 3027-3073.

Kou, L. Z., W. L. Guo ve ark. 2008. Piezoelectricity of Zno and Its Nanostructures. *Proceedings of the 2008 Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications*: 354-359.

Köhler, M., Fritzsche W. 2007. *Nanotechnology An Introduction to Nanostructuring Techniques*, Second Edition. Wiley-VCH, Weinheim

Kumar, A., M. Kumar ve ark. 2010. Induction of p-type conduction in sputtered deposited Al-N codoped ZnO thin films. *Optics Communications*, 283(20): 3994-3997.

Kumar, R. S., R. Sathyamoorthy ve ark. 2011. Effect of aluminum doping on the structural and luminescent properties of ZnO nanoparticles synthesized by wet chemical method. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 43(6): 1166-1170.

Kwon, S. S., W. K. Hong ve ark. 2008. Piezoelectric Effect on the Electronic Transport Characteristics of ZnO Nanowire Field-Effect Transistors on Bent Flexible Substrates. *Advanced Materials*, 20(23): 4557-4562.

Lee, J., S. Cha ve ark. 2011. p-Type Conduction Characteristics of Lithium-Doped ZnO Nanowires. *Advanced Materials*, 23(36): 4183-+.

Lee, M., C. Y. Chen ve ark. (2012). A Hybrid Piezoelectric Structure for Wearable Nanogenerators. *Advanced Materials*, 24(13): 1759-1764.

Liu, C., Yun, F. and Morkoç, H. 2005. Critical review of ferromagnetism in ZnO and GaN. *Journal of Material Science: Materials in Electronics (JMS, MEL)*, 16, 555.

Liu, L. G. ve Bassett, W.A. 1986. *Elements, Oxides and Silicates: High-Pressure Phases with Implications for the Earth's Interior*, Oxford University Press, New York.

Lu, M. P., J. Song ve ark. 2009. Piezoelectric Nanogenerator Using p-Type ZnO Nanowire Arrays. *Nano Letters*, 9(3): 1223-1227.

Ma, Y., G. Du, ve ark. 2005. Growth and characteristics of ZnO thin film on CaF₂ (11-21) substrate by metalorganic vapor phase epitaxy. *Applied Surface Science* **243**(1-4): 24-29.

Maeng, W. J., J. W. Lee ve ark. (2011). Studies on optical, structural and electrical properties of atomic layer deposited Al-doped ZnO thin films with various Al concentrations and deposition temperatures. *Journal of Physics D-Applied Physics*, 44(44).

Mattox, D. M. 1998. *Handbook Of Physical Vapor Deposition (Pvd) Processing Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control*, Noyes Publications, Westwood

Medved, D. B. 1961. Photoconductivity and chemisorption kinetics in sintered zinc oxide semiconductor. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **20**(3-4): 255-267.

Minami, T. 2005. *Semicond. Sci. Technol.*, 20: 35.

Mollwo, E. 1954. *Zeitschrift fur Angewandte Physik*, 6, 257.

Morrison, S. R. and T. Freund. 1968. Chemical reactions of electrons and holes at the ZnO/electrolyte-solution interface. *Electrochimica Acta*, **13**(6): 1343-1349.

Muth, J.F., Kolbas, R.M., Sharma, A.K., Oktyabrsky, S. and Narayan, J. 1999. Journal of Applied Physics, 85, 7884

Nag, S. and D. P. Bhattacharya. 2010. Effects of screening of the interaction potential on the mobility characteristics of degenerate surface layers in compound semiconductors at low lattice temperatures. Superlattices and Microstructures **48**(1): 72-84.

Ocak, Y. S. 2010. "Organik-İnorganik Hibrit Yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karakterizasyonu Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Ocak, Y.S., Kulakci, M., Turan, R., Kılıçoğlu, T., Güllü, Ö. 2011. Analysis of electrical and photoelectrical properties of ZnO/p-InP heterojunction. Journal of Alloys and Compounds, 509: 6631–6634.

Oh, D. H., No, Y. S., Kim, S. Y., Cho, W. J., Kim, J. Y., Kim, T. W. 2011. Thermal effects on the structural, electrical, and optical properties of Al-doped ZnO films deposited on glass substrates. Journal of Ceramic Processing Research, 12(4): 488-491.

Pan, Z.W., Dai, Z.R. and Wang, Z.L. 2001. Science, 291, 1947.

Powell, C.F., Oxley, J.H., Blocher Jun, J.M. 1966. Vapour Deposition Wiley. New York, 1966.

Quang, L. H. ve C. S. Jin. 2008. Greatly enhanced optical properties of ZnO nanorods grown on GaN in aqueous solution by using two-step treatment method. Journal of the Electrochemical Society, 155(7): K105-K109.

R. H. Muller and J. C. Farmer, Fast, self-compensating spectral-scanning ellipsometer, *Rev. Sci. Instrum.*, 55 (1984) 371-374.

R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, Ellipsometry and Polarized Light, North-Holland, Amsterdam (1977).

Reynolds, D. C., Collins, T. C., 1969. Excited terminal states of a bound exciton-donor complex in ZnO. Phys. Rev., 185, 1099.

Schroder, D. K. 2006. Semiconductor Material And Device Characterization,

Third. Edition. John Wiley & Sons, New Jersey

Schubert, M. 2004. Infrared Ellipsometry on Semiconductor Layer Structures: Phonons, Plasmons, and Polaritons, Springer, Heidelberg (2004).

Shim, J. B., H. S. Kim, ve ark. 2011. Growth and optical properties of aluminum-doped zinc oxide nanostructures on flexible substrates in flexible electronics. *Journal of Materials Science-Materials in Electronics*, 22(9): 1350-1356.

Takahata, S., K. Saiki, ve ark. 2009. Fabrication of a n-type ZnO/p-type Cu-Al-O heterojunction diode by sputtering deposition methods. *Physica Status Solidi C - Current Topics in Solid State Physics*, Vol 6, No 5 6(5): 1105-1108.

Thomas, D. G. and J. J. Lander. 1957. Surface conductivity produced on zinc oxide by zinc and hydrogen. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2(4): 318-326.

Tompkins, H. G., Irene, E. A. 2005. Handbook of Ellipsometry, William Andrew, New York .

Tompkins, H. G., McGahan W. A. 1999. Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry: A User's Guide, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Tsurkan, A.E., Fedotova, N.D., Kicherman, L.V. and Pas.ko, P.G. 1975. *Semiconductors*, 6, 1183

Uematsu, T. and H. Hashimoto. 1977. Excess electron concentration of pure and doped zinc oxides. *Journal of Catalysis*, 47(1): 48-54.

Vanmaekelbergh, D. and L. K. van Vugt. 2011. ZnO nanowire lasers. *Nanoscale* 3(7): 2783-2800.

Wang, W. W. ve T. M. Wang. 2007. Effects of gamma-ray irradiation on structure and properties of ZnO: Al thin film. 2006 BIMW: 2006 Beijing International Materials Week, Pts 1-4 546-549: 2137-2142.

Wang, Z.L. 2004. *Materials Today*, 7, 26.

Y.-T. Kim, R. W. Collins and K. Vedaam, Fast scanning spectroelectrochemical

Yacobi, B. G. 2003. Semiconductor Materials An Introduction to Basic Principles, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York

Yang, Q., W. H. Wang, ve ark. 2011. Enhancing Light Emission of ZnO Microwire-Based Diodes by Piezo-Phototronic Effect. *Nano Letters*, 11(9): 4012-4017.

Yang, Y. G., D. M. Zeng, ve ark. 2011. Dependence of Film Thickness on Properties of Al Doped ZnO Thin Films. *Advanced Engineering Materials*, Pts 1-3 194-196: 2305-2311.

Zaoui, A. and Sekkal, W. 2002. Local structure of condensed zinc oxide. *Physical Review B: Condensed Matter*, 66, 174106.

Znaidi, L., T. Touam, ve ark. 2012. ZnO Thin Films Synthesized by Sol-Gel Process for Photonic Applications. *Acta Physica Polonica A*, 121(1): 165-168.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Ahmet TOMBAK
Doğum Yeri :Sivrihisar/ESKİŞEHİR
Doğum Tarihi :18.03.1979
Medeni Hali :Evli
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Polatlı İmam-Hatip Lisesi 1995
Lisans :ODTÜ Fen Edebiyat Fak. Fizik Bölümü 2003
Yüksek Lisans :Dicle Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Araştırma Görevlisi Batman Üniversitesi 2010-.....
Öğretmen Özel Eğitim Kurumları 2006–2010