



**EŞ PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE BÜYÜTÜLEN MgZnO İNCE FİLMLERİN
YAPISAL VE OPTİKSEL KARAKTERİZASYONU**

Neslihan BOZKURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2016

Neslihan BOZKURT tarafından hazırlanan “EŞ PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE HAZIRLANAN MgZnO İNCE FİLMLEİN YAPISAL VE OPTİKSEL KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Akif ÖZBAY

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Nefise ÖZÇELİK

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/06/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Neslihan BOZKURT

29/06/2016

EŞ PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE BÜYÜTÜLEN MgZnO İNCE FİMLERİN YAPISAL VE OPTİKSEL KARAKTERİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Neslihan BOZKURT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2016

ÖZET

Bu çalışmada, geniş bant aralıklı MgZnO ince filmlerinin farklı alaşım oranlarında üretimi ve karakterizasyonu çalışmaları gerçekleştirildi. MgZnO ince filmler oda sıcaklığında korning cam, safir ve silikon alttaşlar üzerine Argon gazı basıncı altında konfokal hedef püskürtmesine sahip eş püskürtme tekniği ile hazırlandı. MgZnO ince filmler büyütülürken ZnO'nun RF gücü sabit tutulup, MgO farklı RF güç değerlerinde (40W, 50W, 75W, 100W) kaplamalar gerçekleştirildi. Bunların yanı sıra, aynı şartlar altında ve farklı RF güç değerlerinde Si, korning cam ve safir alttaş üzerine MgO, Si ve korning cam alttaş üzerine ZnO ince filmleri kaplandı. X-ışını kırınımı ölçümleri MgZnO ince filmlerin hegzagonal wurtzite fazda büyüdüğünü göstermektedir. Üretilen ince filmlerin optiksel analizleri UV-Vis spektrometre ile belirlendi. Filmlerin yasak enerji aralıkları (E_g) soğurma spektrumundan elde edildi. Optik soğurma spektrumu verilerinden MgZnO filmlerin alaşım oranları belirlendi. Bant aralığının RF gücüne ve alaşım oranına göre parabolik bir değişim gösterdiği belirlendi. Filmlerin yüzey morfolojisi Atomik Kuvvet Mikroskobu ile belirlendi. Analizler sonucunda elde edilen verilerle RF gücünün MgZnO ince filmler üzerindeki etkisi tartışıldı.

Bilim Kodu : 20226

Anahtar Kelimeler : İnce film, MgZnO, AFM, XRD, UV-Vis

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Akif ÖZBAY

THE STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF MgZnO THIN FILMS BY MAGNETRON CO-SPUTTERING

(M. Sc. Thesis)

Neslihan BOZKURT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2016

ABSTRACT

In this study, the production and characterization studies of wide band gap MgZnO thin films were carried out for different alloy ratios. MgZnO thin films onto corning glass, sapphire and silicon substrates were prepared by co-sputtering technique, which has a confocal target sputtering, under Ar gas pressure at room temperature. The deposition of MgZnO thin films was made at a constant RF power value of ZnO target and at a different RF power values of MgO target (40W, 50W, 75W and 100W). In addition, MgO thin films onto silicon, corning glass, sapphire substrates and ZnO thin films onto Silicon, corning glass substrates were deposited at different RF powers and at the same conditions. X-Ray diffraction measurements indicate that MgZnO thin films have hexagonal wurtzite phase. Optical analysis of the produced thin films were determined by UV-Vis spectrometer. The energy gap (E_g) of thin films were calculated by absorption spectra. Mg contents in MgZnO thin films were obtained by optical spectral data. It was determined that energy band gap exhibited a parabolic change depending on RF powers and alloy ratios. The surface morphology of all films was investigated by Atomic Force Microscopy. Depending on analysis results, the effect of RF power on MgZnO thin films was discussed.

Science : 20226

Key Words : Thin film, MgZnO, AFM, XRD, UV-Vis

Page : 77

Supervisor : Asist. Prof. Dr. Akif ÖZBAY

TEŞEKKÜR

Her zaman yanımda olan desteğini esirgemeyen kıymetli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Akif ÖZBAY' a,

Çalışmalarım boyunca bana her türlü imkânı sağlayan yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü Sayın Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK' e,

Çalışmalarım esnasında yardımlarıyla beni destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Şebnem ÇETİN' e,

Çalışmalarıma katkı sağlayan Dr. Nihan AKIN ve numunelerin kaplanması destek olan Buse CÖMERT'e ve Halil İbrahim EFKERE'ye

Yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım süresince bana her türlü destek olan, yol gösteren çok değerli arkadaşlarım Neslihan AKÇAY, Ümran Ceren BAŞKÖSE ve Emine BOYALI' ya

Çalışmalarımda emeği geçen ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde çalışan bütün arkadaşlarıma,

En zor günlerimde beni biran bile yalnız bırakmayan, her daim yardımına koşan en güzel mutluluklarımı birlikte yaşadığım canım eşime,

Hayatım boyunca her koşulda bana destek olan sevgilerini eksik etmeyen canım aileme

çok teşekkür ederim...

Ayrıca, 2011K120290 nolu proje ile çalışmalarımızı destekleyen Kalkınma Bakanlığı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. YARIİLETKENLER.....	5
2.1. Katılarda Bant Oluşumu ve Yarıiletkenlerde Bant Yapısı	5
2.2. Katkısız Yarıiletkenler	7
2.3. Katkılı Yarıiletkenler.....	8
2.3.1. N-tipi yarıiletken	9
2.3.2. P-tipi yarıiletken.....	10
3. ZnO BİLEŞİMİ VE MAGNEZYUM ELEMENTİNİN KURAMSAL TEMELLERİ	13
3.1. Çinko Oksit Kristal Yapısı	13
3.2. Çinko Oksit Materyal Parametreleri.....	15
3.3. Çinko Oksit Elektriksel Özellikleri.....	17
3.4. Çinko Oksit Yasak Enerji Aralığı.....	18
3.5. Çinko Oksit Taban Malzeme Olarak Kullanıldığı Çalışmalar.....	19
3.6. Katkılı Çinko Oksit İnce Film Çalışmaları.....	20

	Sayfa
3.7. Magnezyum Oksit Bileşiğı.....	22
3.8. Magnezyum Oksitin Materyal Parametreleri.....	24
3.9. MgZnO Alaşımı ve Özellikleri.....	24
4. İNCE FİLM TEKNOLOJİSİ.....	27
4.1. İnce Film.....	27
4.2. İnce Film Uygulamaları.....	29
4.3. İnce Film Üretim Teknikleri.....	30
4.4. Püskürtme Yöntemi.....	32
4.4.1. DC püskürtme.....	32
4.4.2. Magnetron püskürtme tekniğı.....	34
4.4.3. Eş püskürtme tekniğı.....	35
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
5.1. Altaşın Hazırlanması.....	41
5.2. Numunelerin Karakterizasyonunda Kullanılan Deneysel Teknikler.....	41
5.2.1. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM).....	41
5.2.2. X-Işını analizi (XRD).....	43
5.2.2. UV-Vis spektrometresi.....	47
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	51
6.1. Optik Analizleri.....	51
6.1.1. Korning-cam altaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin optiksel analizleri.....	51
6.1.2. Safir altaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin optiksel analizleri.....	54
6.2. XRD Spektrum Analizleri.....	57

	Sayfa
6.2.1. Korning-cam alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri.....	57
6.2.2. Safir alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri.....	59
6.2.3. Silikon alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri.....	60
6.3. AFM Analizleri.....	62
6.3.1. Korning-cam alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin AFM analizleri	62
6.3.2. Safir alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin AFM analizleri.....	64
6.6.3. Silikon alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin AFM analizleri.....	66
7. SONUÇLAR.....	69
KAYNAKÇA.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Wurtzite yapısındaki ZnO'nun özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Katkılı ZnO ince film özellikleri.....	21
Çizelge 3.3. Katkılı ZnO ince filmlerin üretim özellikleri.....	22
Çizelge 3.4. Magnezyum oksitin özellikleri.....	24
Çizelge 4.1. İnce film üretim teknikleri.....	31
Çizelge 4.2. Si ve korning cam alttaşlar üzerine büyütülen ZnO ince filmlerin kaplama parametreleri.....	38
Çizelge 4.3. Korning-cam alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri.....	39
Çizelge 4.4. Silikon alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri.....	39
Çizelge 4.5. Silikon alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri.....	39
Çizelge 4.6. Si, safir ve korning-cam alttaşlar üzerine büyütülen MgO ince filmlerin kaplama parametreleri.....	40
Çizelge 6.1. Korning-cam alttaş üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri.....	58
Çizelge 6.2. Safir alttaş üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri.....	60
Çizelge 6.3. Silikon alttaş üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri.....	61
Çizelge 6.4. Korning-cam alttaş üzerine kaplanan MgZnO filmlerin RMS ve parçacık büyüklüğü değerleri.....	64
Çizelge 6.5. Safir alttaş üzerine kaplanan MgZnO filmlerin RMS ve parçacık büyüklüğü değerleri.....	66
Çizelge 6.6. Numunelere uygulanan RF gücü, RMS değerleri ve parçacık büyüklükleri.....	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Karbon kristalindeki enerji yarılımları.....	6
Şekil 2.2. Bir yarıiletkenin bant yapısı.....	6
Şekil 2.3. Katkısız yarıiletkenlerde farklı sıcaklıklarda enerji bant diyagramı a) $T=0$ K, b) $T>0$ K.....	8
Şekil 2.4. n-tipi yarıiletken.....	9
Şekil 2.5. p-tipi yarıiletken.....	11
Şekil 3.1. Çinko oksitin kristal yapısı (a) Hegzagonal wurtzite kristal yapı (b) Kübik çinko blend yapı (c) Sodyum klorür yapı.....	14
Şekil 3.2. ZnO'nun enerji bant diyagramı.....	15
Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum.....	19
Şekil 3.4. Mgnezyum oksitin kaya tuzu yapısı	23
Şekil 4.1. İnce filmlerin yüzey üzerinde büyüme çeşitleri (a) adalar halinde büyüme (b) tabaka halinde büyüme (c) hem ada hem tabaka halinde büyüme	29
Şekil 4.2. Atomun serbest elektronlar tarafından iyonlarına ayrılması.....	33
Şekil 4.3. Püskürtme olayının meydana gelmesi (ortama elektron salınımı)	33
Şekil 4.4. Serbest elektronların taban durumuna geçmesi	34
Şekil 4.5. Manyetik alanda püskürtme (a) elektronla Ar gazının çarpışması (b) elektronun iyonlarına ayrılması (c) hedef malzemeden Elektron sökülmesi (d) sökülen elektronların alttaşa yönlendirilmesi.	35
Şekil 4.6. Eş püskürtme sistemindeki büyütme haznesi	36
Şekil 4.7. Kaynak malzeme yönelimli eş püskürtme sistemi büyütme odası konfigürasyonu	37
Şekil 5.1. AFM'nin şematik diyagramı.....	42
Şekil 5.2. XRD geometrisinin şematik gösterimi	44
Şekil 5.3. Bir kristal düzlemde X-ışını kırınımı meydana gelmesi	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Çeşitli oryantasyonlardaki kristal düzlemleri	46
Şekil 5.5. Perkin Elmer Lambda 2s UV-Vis spektrometre cihazı optik yolları ..	48
Şekil 6.1. Korning cam alttaşı kullanılan MgZnO filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik spektrumu.....	51
Şekil 6.2. Korning cam alttaşı kullanılan MgZnO filmlerin foton enerjisine karşı $(h\nu.\alpha)^2$ 'nin spektrumu	52
Şekil 6.3. MgO'nun farklı RF güçlerinde püskürtülmesi ile üretilen MgZnO filmlerinin RF gücüne bağlı olarak enerji bant aralıkları değişimi	53
Şekil 6.4. Safir alttaşı kullanılan MgZnO ince filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik spektrumu.....	54
Şekil 6.5. Safir alttaşı kullanılan MgZnO filmlerin foton enerjisine karşı $(h\nu.\alpha)^2$ 'nin spektrumu.....	55
Şekil 6.6. Büyütülen $Mg_xZn_{1-x}O$ filmlerinin enerji bant aralıklarının alaşım oranına (x) göre değişimi.....	56
Şekil 6.7. Korning cam alttaşı kullanılan MgZnO ve ZnO ince filmlerin XRD spektrumları	57
Şekil 6.8. Safir alttaşı kullanılan MgZnO ve ZnO ince filmlerin XRD spektrumları	59
Şekil 6.9. Silikon alttaşı kullanılan MgZnO, MgO ve ZnO ince filmlerin XRD spektrumları	60
Şekil 6.10. Korning cam alttaşı üzerine büyütülen MgO ince filminin AFM görüntüleri.....	62
Şekil 6.11. Korning cam alttaşı üzerine büyütülen ZnO ince filminin AFM görüntüleri.....	62
Şekil 6.12. (a) 40W, (b) 50W, (c) 75W, (d) 100W RF gücünde korning cam alttaşı üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin AFM görüntüleri.....	63
Şekil 6.13. Safir alttaşı üzerine büyütülen MgO ince filminin AFM görüntüleri...	65
Şekil 6.14. (a) 40W, (b) 50W RF gücünde safir alttaşı üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin AFM görüntüleri.....	65
Şekil 6.15. Silikon alttaşı üzerine büyütülen MgO ince filminin AFM görüntüleri.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 6.16. Silikon alttaş üzerine büyütülen ZnO ince filminin AFM Görüntüleri.....	66
Şekil 6.17. a) 40W, (b) 50W, (c) 75W, (d) 100W RF gücünde silikon alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin AFM görüntüleri.....	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Nanovak Eş Püskürtme (Co-Sputtering) cihazı.....	38
Resim 5.1. AFM (Nanomagnetics Instruments AFM Controller) cihazı.....	43
Resim 5.2. Cuk α 1 (1.540 Å) kaynaklı APD 2000 PRO XRD cihazı.....	46
Resim 5.3. Perkin Elmer Lambda 2s UV-Vis spektrometre cihazı.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Plaka alanı
A°	Angstrom
Al	Alüminyum
As	Arsenik
B	Bor
Bi	Bizmut
C₀	Kapasitans
Co	Kobalt
Cu	Bakır
d	Atomlar arası mesafe
E^f	Kusurların oluşması için gerekli enerji
E_g	Yasak enerji aralığı
E_L	İletim bandı
E_v	Valans bandı
Ga	Galyum
In	İndiyum
K	Potasyum
K	Kelvin
k_B	Boltzman sabiti
m_e[*]	Etkin kütle
Mg	Magnezyum
Mg(CO₃)	Magnezyum karbonat
Mg(OH)₂	Magnezyum hidroksit
MgO	Magnezyum oksit
MgZnO	Magnezyum çinko oksit

Simgeler**Açıklamalar**

V_c	Dolanım frekansı
ZnO	Çinko oksit
β	Pik yarı genişliği
ΔE	Yasak enerji bandı
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ_0	Boşluğun geçirgenliği
ϵ_s	Statik elektrik sabiti
ϵ_g	Yüksek frekans dielektrik sabiti
λ	Dalgaboyu

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
A.R	Yansımaya karşı
CBD	Kimyasal banyo biriktirme
Co Sputtering	Eş püskürtme
ECD	Elektrokimyasal depolama
EDS	Enerji dağılımlı X-Işınları analizi
EPR	Elektron paramagnetikrezonans
FHWM	Pik yüksekliğinin yarı genişliği
FTIR	Kızılötesi absorpsiyon spektroskopisi
IR	Infrared
UV-Vis	Morötesi-görünür bölge
XPS	X-ışını fotoelektron spektroskopisi

1. GİRİŞ

Son zamanlarda gelişen teknolojiyle birlikte elektronik aygıtların boyutlarında yapılan küçülmeler teknolojiye olan ilgiyi daha da artırmıştır. Elektronik aygıtların boyutunun küçülmesi sadece aygıtın daha az yer kaplaması değil, aynı zamanda küçük boyuttaki malzemelerle hazırlanan aygıtların çalışma hızının artırılmasına da fayda sağlamaktadır. Malzemelerin boyutlarının küçülmesinden dolayı kazanmış olduğu yeni özellikleri sayesinde daha fonksiyonel ve daha kaliteli cihazların üretilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca bu cihazlar atomik boyuttaki malzemelerle hazırlandığı için nanoteknolojinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır.

İleri boyutlara ulaşan teknolojideki gelişmeyle modern cihazlar kullanılarak elde edilen ince filmlerin elektriksel, optiksel ve kristal yapıları araştırılmaya başlanmış ve bu çalışmalarla birlikte ince filmler birçok kullanım alanı bulmuştur [1]. Örneğin elektriksel özellikleriyle piezoelektrik ve yarıiletken cihazlarda, kimyasal özellikleriyle sensör teknolojilerinde, mekanik özellikleriyle mikro mekanik cihazlar ve sert kaplamalarda, optik özellikleriyle de yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda kullanılabilmektedir [2].

Yarıiletken sanayi günümüzde ince film teknolojisinin en büyük uygulama alanıdır. Lazerler, ışık yayan diyotlar (LED), transistörler, ekranlar, entegre devreleri (IC) bu teknoloji ile yapılmaktadır. Güneş pilleri, gece görüş dürbünleri gibi optik aygıtlar bu teknolojinin ürünlerindendir. Bunun yanı sıra optik ve manyetik kayıt cihazları, fiziksel ve kimyasal aşınmaya dirençli sert ve dekoratif kaplamalar da ince film teknolojisinin en yaygın kullanım alanları arasındadır [3].

Nanoteknolojiyi temel alan aygıtların geliştirilmesinde çinko oksit (ZnO) yarıiletkeni üzerinde en fazla çalışılan malzemedir. 1935 yılından beri üzerinde çalışılan bir malzeme olan çinko oksit bileşiği son zamanlarda daha da ilgi çeken bir bileşik olmuştur [1].

ZnO yarıiletkeni sahip olduğu geniş bir bant aralığı (3.3 eV) , oda sıcaklığında geniş eksiton bağlanma enerjisi (60 meV) sayesinde GaN gibi mavi ve UV bölgede çalışan aletler için önemli bir malzemedir.

ZnO geniş bant aralığının yanı sıra, doğada bol miktarda bulunan bu nedenle düşük maliyetli olan, yüksek optik geçirgenliğe, iyi ısı, ışık ve elektriksel iletkenliğe sahip olan sert bir yarıiletkenidir. Hegzagonal wurtzite yapıya sahip olan ZnO'nun optiksel, elektriksel ve yapısal özellikleri katkı yapılarak veya ısı işlemlerle değiştirilebilmektedir.

Malzeme biliminde şeffaf iletken sınıfında olan ZnO bileşiği, elektron mobilitesi ve satürasyon hızı, güçlü oda sıcaklığı lüminesans özelliği, yüksek şeffaflığı, direk geçişli bant aralığından dolayı [4]; biyosensörler, güneş pilleri, gaz sensörleri, şeffaf ince film transistörler, ışık geçiren elektronik paneller, yüzey akustik cihazları, UV ışık yayıcılar gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

ZnO ince filmlerin elde edilmesinde bugüne kadar sol-jel, radyo frekans magnetron püskürtme, kimyasal banyo depolama (CBD), ısısal buharlaştırma, ultrasonik püskürtme (SP) gibi yöntemler kullanılmıştır.

Literatüre baktığımızda ZnO ince filmleri üzerinde yapılan çalışmaların birçoğu Ga, Al, K, In, Co, Cu katkılanmasıdır. Magnezyum (Mg) katkılı ZnO ince filmleri üzerinde yapılan çalışma ise diğerlerine nazaran daha azdır. Biz de yaptığımız bu çalışmada Mg katkılı ince filmler elde ederek bu filmlerin yapısal ve optiksel karakterizasyonunu incelemeyi hedefledik. MgO ve ZnO hedefleri kullanarak farklı alaşım oranlarında MgZnO filmi üretmeye imkan sağlayan Eş püskürtme tekniği ile ZnO' ya magnezyum katkılanamadaki amacımız bant aralığı ZnO' dan daha büyük ince filmlerin büyütülmesini başarmak ve karakterize etmektir. Geniş bant aralıklı Mg katkılı ZnO ince filmleri UV dedektör geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır [5].

Bu çalışmada kullanılan MgZnO ince film numuneleri Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan eş püskürtme sistemiyle elde edilmiş, numunelerin yapısal ve optiksel karakterizasyonu Atomik Yüzey Mikroskobu (AFM), X-ışınımı kırınımı (XRD) ve UV-VIS Spektrometre cihazları ile incelenmiştir.

Çalışmamızın 2. bölümünde, yarıiletkenlerin genel özellikleri tanıtıldı. Bölüm 3'de ZnO, MgO ve MgZnO yapısının nitelikleri sunuldu ve uygulama alanları üzerinde

duruldu. Bölüm 4’de ince filmlerin nitelikleri, elde edilme yöntemleri ve çalışmalarımızdaki ince filmleri elde ettiğimiz eş-püskürtme yöntemi anlatıldı. Bölüm 5’te ise üretilen MgZnO ince filmlerin yapısal ve optiksel karakterizasyonunda kullanılan cihazlar tanıtıldı. Bölüm 6’da yapılan yapısal, Morfolojik ve optik analizlerin sonuçları tartışıldı. Bölüm 7’de ise elde edilen sonuçlar ve literatür kıyaslaması gerçekleştirildi.

2. YARIİLETKENLER

Maddeler genelde elektriksel iletkenliklerine göre sınıflandırılır. Maddelerin elektriksel iletkenlik fazlarının öz direnç değerlerine göre değişimi şöyle gösterilmektedir [6] :

$$10^{-4} \Omega.m \geq \rho \geq 10^{-6} \Omega.m, \quad \text{Metal} \quad (2.1)$$

$$10^{10} \Omega.m \geq \rho \geq 10^{-6} \Omega.m, \text{Yarıiletken} \quad (2.2)$$

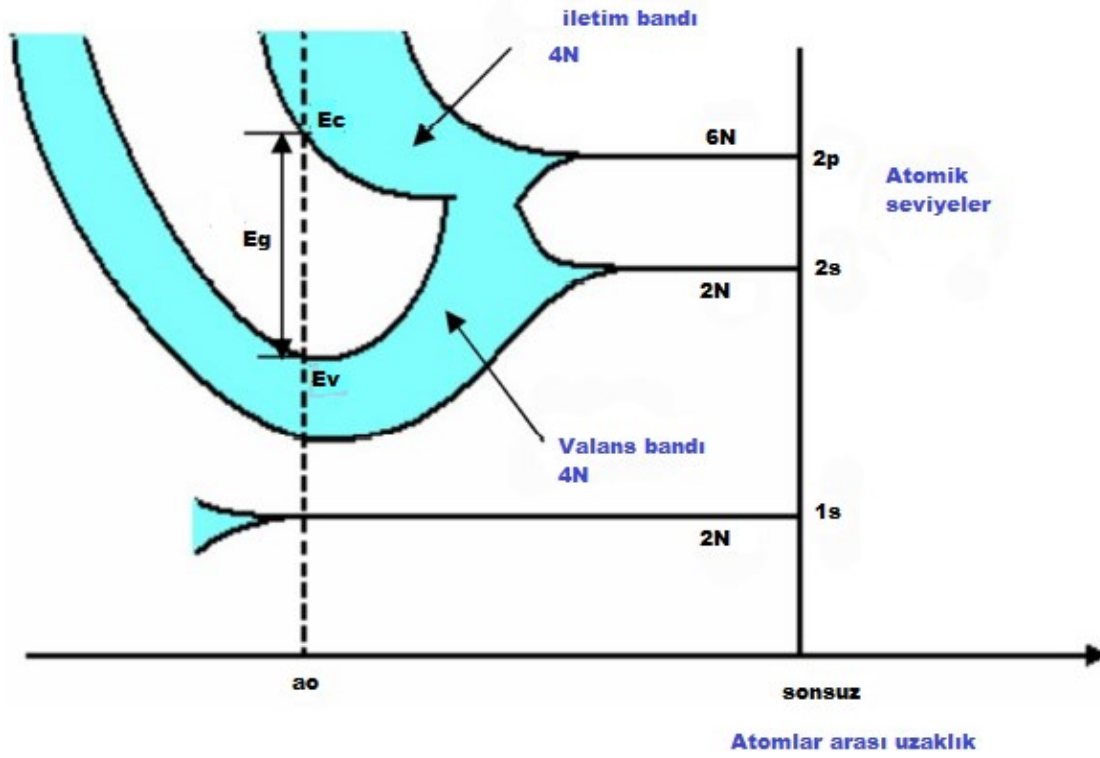
$$\rho \geq 10^{10} \Omega.m, \text{Yalıtkan} \quad (2.3)$$

Yarıiletkenlerde elektriksel iletim, yarıiletkenin iletim bandındaki serbest elektronlar ve valans bandındaki holler tarafından sağlanır. Bant yapısında ise, tamamen dolu değerlik bandı ve boş olan iletkenlik bandı bulunmaktadır. Yarıiletkenlerin bant yapısı her ne kadar yalıtkanların bant yapısıyla benzerlik gösterse de değerlik bandı ve iletkenlik bandı arasında kalan yasak enerji aralığı yalıtkanlardan daha küçüktür.

Bir yarıiletken ısı yolla uyarıldığında elektriksel iletkenliğinin artması sağlanır. Ayrıca, katkı atomlarıyla malzemenin öz direnci azaltılabilir ve bu durum yarıiletkenleri metallerden ayıran en önemli özelliktir. Bu özellikleri nedeniyle yarıiletkenler elektronik cihaz üretimi bakımından uygun malzemeler olarak tercih edilir. Transistör, dedektör, sensör, diyot anahtar, termistör gibi pek çok aygıt yapımında yarıiletken malzemeler kullanılır.

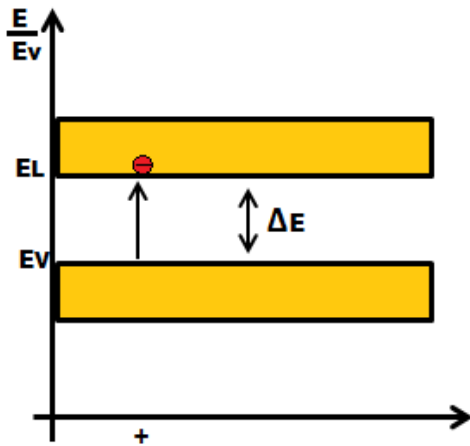
2.1. Katılarda Bant Oluşumu ve Yarıiletkenlerde Bant Yapısı

Her atomun elektronlarının sahip olduğu enerji seviyeleri vardır. Maddenin sıvı ve gaz fazlarında, atomların sahip oldukları enerji seviyeleri birbirlerini etkilemeyecek kadar uzaktayken, katı fazında atomların enerji seviyeleri birbirleriyle etkileşmesi sonucu fermiyon tipi parçacıklar aynı kuantum durumunda olamayacağından (Pauli dışarlama ilkesi) enerji seviyelerinde yarılmalar ortaya çıkmaktadır [7]. Yasak enerji aralığının oluşumuna bir örnek olarak aşağıdaki Şekil 2.1' de karbon kristali için bant yapısının oluşumu gösterilmiştir [8].



Şekil 2.1. Karbon kristalindeki enerji yarılımları [8, 9]

İlk başta bağımsız olan atomların elektron enerji seviyeleri, birbirlerine yaklaştığı zaman yarılımlara uğrarlar. Yarılmış olan enerji seviyeleri arasındaki fark yaklaşık olarak $1 \cdot 10^{-19}$ eV civarındadır. Bu mesafe çok küçük olduğu için, yarılmış olan seviyelerin oluşturduğu enerji aralığı sürekli bir yapı gibi kabul edilir ve enerji bandı adı verilir. Bir katının bant yapısı, o katının optiksel ve elektriksel ve özellikleri hakkında bilgi verdiği için dolayı çok önemlidir.



Şekil 2.2. Bir yarıiletkenin bant yapısı

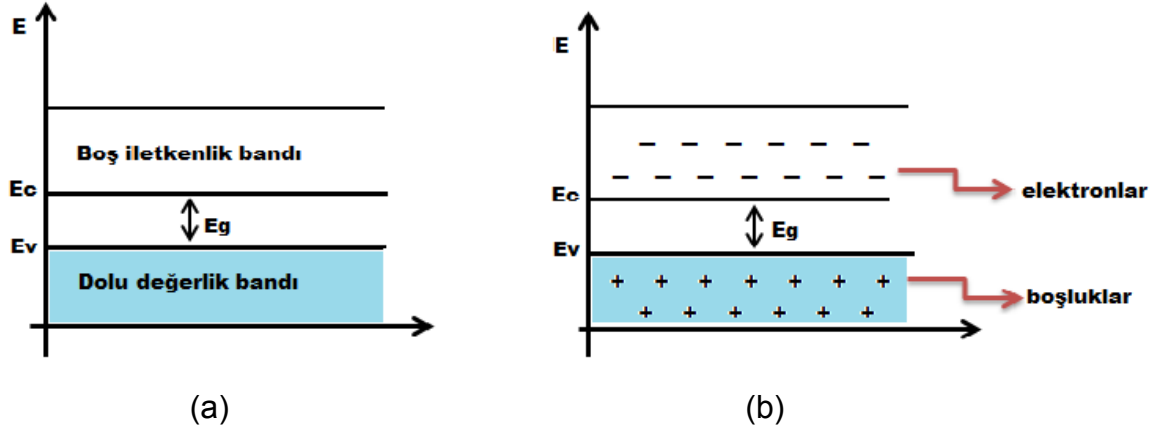
Şekildeki E_V , bağlı elektronların bulunduğu valans bandının sahip olabileceği en yüksek enerji seviyesini gösterirken E_L ise iletme katkıda bulunan serbest elektronların sahip olabileceği en düşük enerji seviyesini gösterir. E_V ve E_L enerji seviyeleri arasında bulunan $\Delta E = E_V - E_L$ bandı ise yasak enerji bandını gösterir. Yasak enerji aralığı olarak adlandırılan bu bölgede elektron bulunmamaktadır. $T=0$ K' de yarıiletkenin bütün elektronları valans bandında bulunduğundan dolayı elektriksel iletim gözlenmez ve malzeme mükemmel bir yalıtkan özelliği gösterir. Başka bir deyişle, valans bandında bulunan elektronlar iletim bandına geçemezler [1].

Bir yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya yasak enerji aralığından daha büyük bir enerji ile uyarılırsa, valans bandında bulunan elektronlar iletim bandına geçerler. İletim bandına geçen elektronlar, valans bantlarında hol adı verilen boşluklar bırakır. Bir hol valans bandında bulunan başka bir elektron tarafından doldurulabilir. Holü dolduran elektronun yerinde başka bir hol oluşur. Böylece, pozitif yüklü kabul edilen holün valans bandı içerisinde yer değiştirmesi sağlanır. Böylece elektriksel iletim, iletim bandındaki elektronlar ve valans bandındaki holler aracılığıyla gerçekleşmiş olur. Sıcaklığın artmasıyla elektron ve hollerin sayısı artar. Bu nedenle yarıiletkenlerin iletkenliği sıcaklıkla artar. Yarıiletkene yabancı atom katkısı yapıldığında, yarıiletkenin elektriksel iletkenlikleri değişir. Yarıiletkenler bu özellikleri nedeniyle katkısız (has) ve katkılı yarıiletkenler olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir [6].

2.2. Katkısız Yarıiletkenler

Katkısız yarıiletkenler saf kristal haldedir. Mutlak sıfırda (0 K'de) yarıiletkenlerde, boş olan iletkenlik bandı dolu olan değerlik bandından E_g yasak enerji aralığı ile ayrılmıştır. Yarıiletkenler mutlak sıfırda tam bir yalıtkan gibi davranır. Sıcaklık 0 K' den itibaren arttığında elektronların ısı enerjileri artar ve bu enerji yasak enerji değerine ulaşırsa elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına geçer. Bu şekilde yer değiştiren elektronlar geride boşluklar (hole) bırakır. Bu boşluk elektronun yüküyle zıt işaretli fakat aynı değerdedir. Değerlik bandında olan bu boşluklar, aynı banttaki başka elektronlar tarafından doldurulur ve yer değişen elektronlar yeni boşluklar oluşturmuş olur. Böylece boşluk hareket etmiş olur.

Elektron ve boşluklar bu şekilde serbest taşıyıcı gibi davranarak elektriksel iletkenliğe katkı sağlarlar.



Şekil 2.3. Katkısız yarıiletkenlerde farklı sıcaklıklarda enerji bant diyagramı a) $T=0$ K ,b) $T>0$ K

Şekil 2.3 (a)' da görüldüğü gibi katkısız yarıiletkenlerin $T=0$ K' de değerlik bandı tamamen dolu iken iletkenlik bandı ise tamamen boştur. Bundan dolayı, yarıiletkenler mutlak sıfır sıcaklığında elektriksel özellikleri bakımından yalıtkan gibi davranırlar. Sıcaklığın artmasıyla birlikte enerji kazanan değerlik elektronların bir kısmı yasak enerji aralığını aşarak iletim bandına geçer ve maddeye iletkenlik özelliğini kazandırırılar. Katkısız (has) yarıiletkenlerde iletim bandındaki elektron yoğunluğu ile değerlik bandındaki hollerin yoğunluğu birbirine eşittir.

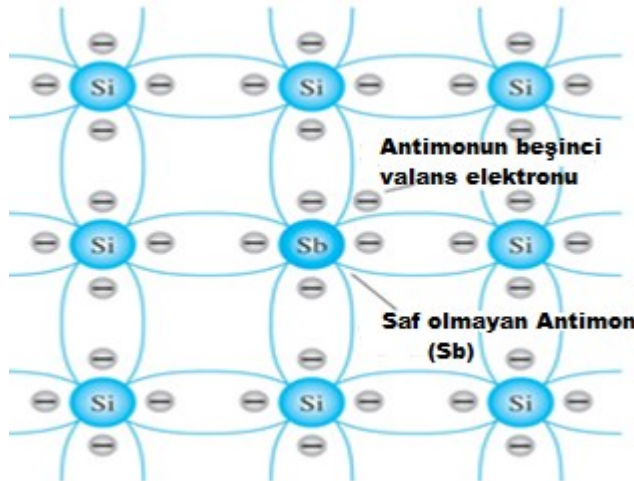
2.3. Katkılı Yarıiletkenler

Katkısız yarıiletkenlerin elde edilme güçlüklerinden dolayı aygıt yapımında genellikle katkılı yarıiletkenler kullanılmaktadır. Katkılı yarıiletkenlerin elektriksel ve optiksel özellikleri kristal içerisine giren yabancı atomların sayısına ve cinsine bağlıdır. Madde içerisine giren yabancı atom maddenin kendi doğal enerji bant yapısını bozar ve madde içerisinde kendine özgü enerji düzeyleri oluşturur. Buna bağlı olarak, yarıiletken içerisine giren atom, elektron ortama vererek iyonlaşır (verici veya donör) ve iletkenliğe katkıda bulunursa " n-tipi yarıiletken " , yarıiletken içerisine giren atom içinde bulunduğu ortamdan elektron alarak iyonlaştığında (alıcı veya akseptör) iletkenliğe katkıda bulunursa " p-tipi yarıiletken " adını alır.

Silisyum ve germanyumun iletkenliği kontrollü olarak artırılabilir. İletkenliği kontrollü olarak artırabilmek için saf yarıiletken malzemeye katkı malzemesi eklenmektedir. Bu işleme “ doping “ adı verilir. Akım taşıyıcılarının (elektron veya boşluk) sayısının artırılması malzemenin iletkenliğini artırırken, azaltılması ise malzemenin direncini artırır. Her iki doping olayının sonucunda n ve p-tipi yarıiletken oluşmaktadır. Başka bir deyişle, p ve n tipi yarıiletkenler silisyuma veya germanyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla elde edilir. Son yörüngesinde (valans yörünge) 3 elektron bulunduran maddeler (İndiyum, Alüminyum, Bor, Galyum..) kullanıldığında p tipi yarıiletken, 5 elektron bulunduran maddeler (Arsenik, Antimuan, Fosfor) kullanıldığında n tipi yarıiletken elde edilir.

2.3.1. N tipi yarıiletken

Saf silisyumun iletkenlik bandındaki boşlukların (hole) artırılması atomlara katkı maddesi ekleyerek yapılır. Bu atomlar, 5- değerli valans elektronları olan Arsenik (As), Bizmut (Bi), Fosfor (P) veya Antimon (Sb) dur. Silisyuma katkı maddesi olarak 5 valans elektrona sahip fosfor belli oranda eklendiğinde, diğer silisyum atomları ile nasıl bir kovalent bağ oluşturduğu şekilde gösterilmiştir [10].



Şekil 2.4. n- tipi yarıiletken

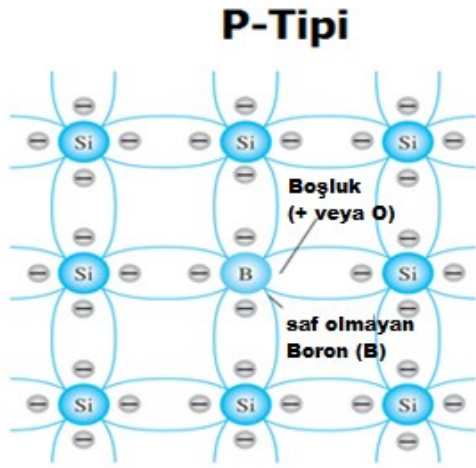
Antimon atomunun 4 valans elektronu, silisyum atomunun 4 valans elektronu ile kovalent bağ oluşturur. Antimonun bir valans elektronu açıkta kalır ve ayrılır. Bu açıkta kalan elektron herhangi bir atoma bağlı olmadığından iletkenliği artırır.

İletkenlik silisyuma eklenen atomların sayılarıyla kontrol edilebilir. Katkı sonucunda oluşturulan bu iletkenlik elektronu, valans bandında bir boşluk oluşturmaz.

N tipi yarıiletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduğu için bu maddelere “verici (donör)” adı verilir. N tipi yarıiletkenin serbest hale geçmiş elektronlarının sayısı çok olduğundan bunlara “çoğunluk taşıyıcılar” denir. Yani n tipi yarıiletken maddede elektrik akımının taşınmasında çoğunluk olan elektronlar tarafından sağlanır.

2.3.2. P tipi yarıiletken

Saf silisyum atomu içerisine, 3 valans elektrona sahip atomların belirli bir oranda eklenmesi ile yeni bir kristal yapı oluşur ve böylece bu yeni kristal yapının hole (boşluk) sayısı artırılmış olur. 3 valans elektrona sahip atomlara örnek olarak; Alüminyum (Al), Bor (B) ve Galyum (Ga) elementlerini örnek verebiliriz. Örneğin; saf silisyum içerisine belli bir oranda bor katılırsa, Bor elementinin 3 valans elektronu, silisyumun 3 valans elektronu ile ortak kovalent bağ oluşturur. Fakat silisyumun 1 valans elektronu ortak valans bağı oluşturamaz. Bu durumda 1 elektron noksanlığı yani (hole) meydana gelir. Silisyuma eklenen katkı miktarı ile hollerin sayısı kontrol edilebilir. Bu yöntemle elde edilen yeni malzemeye p-tipi yarıiletken malzeme denir. Çünkü boşluklar pozitif yüklüdür. Dolayısı ile p-tipi yarıiletken malzemede çoğunluk akım taşıyıcıları boşluklardır. Elektronlar ise p-tipi malzemede azınlık akım taşıyıcılarıdır. P tipi malzemede birkaç tane serbest elektron da oluşmuştur. Bunlar ısı ile oluşan boşluk çifti esnasında meydana gelmiştir. Bu serbest elektronlar, silisyuma yapılan katkı esnasında oluşturulmazlar.



Şekil 2.5. p-tipi yarıiletken [10]

3. ZnO BİLEŞİĞİ VE MAGNEZYUM ELEMENTİNİN KURAMSAL TEMELLERİ

Geçirgen iletken oksitler (Çinko Oksit (ZnO), İndiyum Tin Oksit (ITO), Kadmiyum Oksit (CdO)) son yıllarda çok fazla ilgilenilen materyaller içerisinde yer almaktadır. Bu materyaller hem geçirgenlik hem de iletkenlik özelliklerine sahip olduğu için endüstriyel ve bilimsel araştırmalarda çok geniş uygulamalara sahiptir.

Çinko oksit yarıiletkenine 300 °K’ de 3.3 eV değerinde olan direk geniş bant aralığı sayesinde optoelektronik uygulamalarda geniş alanından dolayı büyük ilgi duyulmaktadır. ZnO’nun bazı optoelektronik uygulamaları arasında yeşil, mavi-ultraviyole ve beyaz ışık-yayıcı aygıtların üretimi yer almaktadır. Bununla beraber, ZnO geniş bir eksiton bağlanma enerjisi (60 meV) ve ZnO hacim tek kristallerin kullanılabilirliği daha çok avantaja sahiptir. ZnO aynı zamanda ZnO tabanlı aygıtlar için kristal büyütme teknolojisi içinde en basit olan bir yarıiletkendir [11].

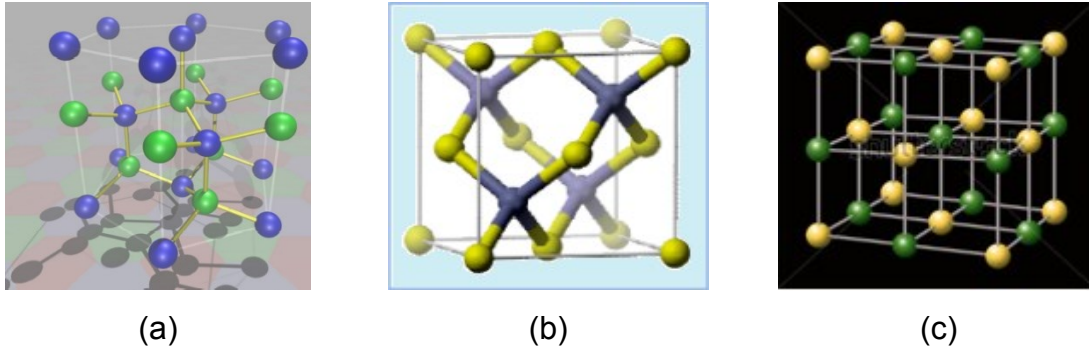
Yüksek nitelikli ZnO filmler 700 °C’den daha düşük sıcaklıkta büyütülebilir. 60 meV’ lik geniş eksiton bağlanma enerjisi oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda, yoğun yakın bant kenarı eksitonik yayınımına izin verir. Çünkü bu değer $k_B T = 25$ meV olan oda sıcaklığındaki termal enerji değerinden 2.4 kez daha büyüktür [12].

Çinko oksit yarıiletkenini diğer yarıiletkenlerden ayıran farklı özellikleri vardır. Bazı deneyler ZnO’ nun uzay araştırmaları için uygun olduğunu ispatlamıştır [13]. Çinko oksitin yüksek enerji ışınımı çok dayanıklıdır. ZnO tüm asit ve alkalilerde kolayca aşındırılabilir ve küçük boyutlu aygıtların üretimi için bir fırsat sağlar.

3.1. Çinko Oksitin Kristal Yapısı

II – IV grubu bileşik yarıiletkenlerin birçoğu ya kübik çinko-blend ya da hegzagonal wurtzite sıkı paket yapıda (hcp) kristalleşirler [14]. Hegzagonal wurtzite sıkı paket yapıda, her bir anyon bir dörtyüzlünün köşelerinde yer alan 4 katyonla çevrilidir. Bu tetrahedral koordinasyon, sp^3 kovalent bağlanmanın genel bir özelliği olsa da, bu yapıların küçümsenmeyecek ölçüde iyonik karakterleri yasak enerji aralığı değerlerinin, kovalent bağlanmadan beklenen değer üstüne çıkmasını sağlar [15].

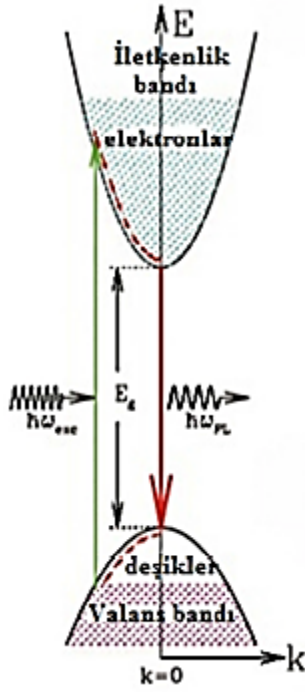
Zn atomlarının ara yerlere girmesi, oksijen boşlukları ve bant aralığı içinde donör seviyelerinin oluşmasına neden olur. Zn boşlukları, ara yerlere girmiş Oksijen (O) atomları, örgüde Zn' nin olması gereken yerde ise Oksijen olması ise akseptör seviyelerinin oluşmasına yol açar [16]. ZnO iyoniklik bakımından kovalent ve iyonik yarıiletkenlerin arasında yer alır.



Şekil 3.1. Çinko oksitin kristal yapısı (a) Hegzagonal wurtzite kristal yapısı, (b) Kübik çinko-blend yapısı, (c) Sodyum klorür yapısı

ZnO birim hücresinin hegzagonal yapısında her Zn atomu birinci kabukta dört O atomu, ikinci kabukta on iki Zn atomu ile çevrilmiştir. Örgü sabitleri $a = 3.25 \text{ Å}$, $c = 5.21 \text{ Å}$ olarak tespit edilmiştir [17]. Ayrıca ince filmlerde çinko oksitin bulk wurtzite yapısının korunduğu ve tanecik boyları $50\text{-}300 \text{ Å}$ aralığında yer aldığı bilinmektedir.

Birçok II-IV bileşik yarıiletkenlerinde olduğu gibi, çinko oksit bağı iyoniktir. Bu nedenle şiddetli piezoelektriksel özellik gösterir. Zn-O polar bağlarından dolayı Zn ve O düzlemleri sırasıyla pozitif ve negatif elektriksel yüklere neden olurlar. Bu yüzden elektriksel nötralliği sağlamak için, bu düzlemler birçok materyalde atomik seviyede tekrar inşa edilir; ancak bu durum çinko oksitte görülmez. ZnO Şekil 3.2' de gösterildiği gibi direkt bant aralıklı bir yarıiletkenidir. Sahip olduğu geniş yasak enerji aralığı ile beraber bu özelliği yakın kızıl ötesi bölgeden maviye uzanan bölgeye şiddetli bir lüminesans sergilemesine yol açar.



Şekil 3.2. ZnO'nun enerji bant diyagramı [18]

3.2. Çinko Oksitin Materyal Parametreleri

Wurtzite kristal yapıdaki ZnO' nun bazı önemli materyal parametreleri Çizelge 3.1' de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Wurtzite yapısındaki ZnO' nun özellikleri [19]

Parametre	Birim	Değer
Moleküler kütle	-	81,399
Oda sıcaklığında özgül ağırlık	g/cm ³	5,642
Elastik sabitler: C₁₁, C₁₂, C₁₃, C₃₃, C₄₄	GPa	209,7, 121,1, 105,1, 210,9, 42,47
Hacim modülü	GPa	142,4
Young modülü	GPa	111,2 ± 4,7
Shear modülü	GPa	45,5
Piezoelektrik katsayıları: e₃₁, e₃₃, e₁₅	c/m ²	-0,62, 0,96, -0,37
Kendiliğinden polarizasyon	c/m ²	-0,057
Elektron etkin kütlesi (m_e[*])	-	0,3m _o
Ağır deşik etkin kütlesi (m_h[*])	-	1,8 m _o
Elektron mobilitesi	cm ² /V _s	200
Fonon mod frekansları: A ₁ -T ₀ ,A ₁ -L ₀ ,E ₁ -T ₀ ,E ₁ -L ₀	cm ⁻¹	380(2), 409(2), 574, 587(2)
Özgül ısı	Cal/gm	0,125
Isısal iletkenlik	Cal/cmK	0,006
573 K'de termoelektrik sabiti	mV/K	1200
Yasak enerji aralığı (E_g)	eV	3,4 (T=300K)
Statik elektrik sabiti (ε_s)	-	8,75
Optik dielektrik sabiti (ε_∞)	-	3,75
Oda sıcaklığında lineer ısısal genleşme katsayısı a- eksen yönünde b- eksen yönünde	-	4,75 2,92
Sertlik	GPa	4

3.3. Çinko Oksitin Elektriksel Özellikleri

ZnO oldukça yüksek bir yasak enerji aralığına (~ 3.3 eV) sahiptir. Bu durum düşük elektronik gürültü, yüksek sıcaklık ve yüksek güç gerektiren uygulamalar için avantaj sağlar [19].

ZnO hiçbir katkılama olmasa bile n-tipi karakter sergiler. N-tipi karakterin nedeni sitokiyometriden sapmalarla ilgilidir [20]. III. grup elementlerini (Al,Ga,In,...gibi) katkılayarak, örgüde Zn atomlarının yerine bu atomların yerleşmesi ile ya da örgüdeki O atomlarının yerine VII. Grup elementlerinin (Cl,I,...gibi) yerleşmesi ile n-tipi ZnO elde edilebilir. ZnO' yu p-tipi katkılamak çok zordur. Bunun sebebi, p-tipi katkıların düşük çözünürlükleridir ve n-tipi safsızlıkların baskın hale gelmesidir.

Çinko oksidi p-tipi katkılamak zordur ve bu durum çinko oksitin elektronik ve optoelektronik uygulamalarını kısıtlar. Literatüre bakıldığında p-tipi safsızlıklar Li, Na, K gibi I. grup elementleri ve N, P, As gibi V. grup elementleridir.

Çinko oksitte bulunan yerel kusurlar, elektriksel ve optiksel özellikleri önemli derecede etkiler. Bu kusurlar örgüde bir atomun olması gereken yerde olmaması ya da genellikle Zn ve O atomlarının eksikliği ya da fazlalığı ile ortaya çıkar. Kusurların konsantrasyonu (N_{def}) aşağıdaki eşitlikle verilir [9].

$$N_{def} = N_{site} \exp\left(-\frac{E^f}{k_B T}\right) \quad (3.1)$$

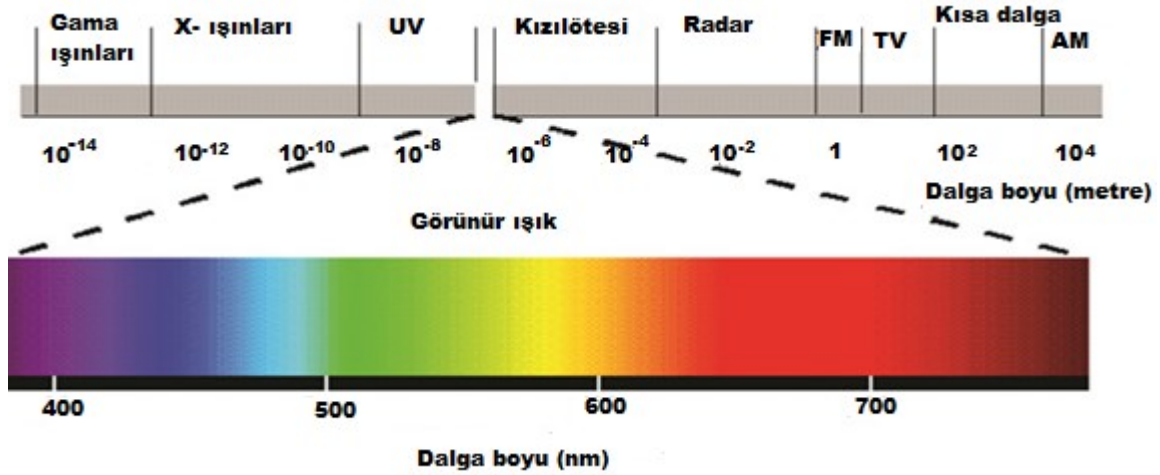
Burada E^f kusurların oluşması için gerekli enerji, k_B Boltzman sabiti, T sıcaklık ve N_{site} mevcut yerlerde üretilen kusurların dağılımıdır. Denkleme bakıldığında küçük oluşma enerjisi yüksek bir kusur konsantrasyonuna neden olurken büyük oluşma enerjisi küçük bir kusur konsantrasyonuna neden olmaktadır. Yerel kusurlar için önemli bir nokta, oluşma enerjileri yasak enerji aralığındaki Fermi seviyesinin pozisyonuna ve kimyasal potansiyele bağlıdır. P-tipi katkı Fermi enerjisinin düşmesine yol açar ve bu yüzden yerel vericilerin oluşma enerjisi azalır. Bu sebeple Fermi seviyesinin hareketi, ZnO'nun yasak enerji aralığında kısıtlanır ve bu ZnO' da katkılamanın sınırlandırılmasına neden olur. Bu olay” kendi kendine karşılama” olarak bilinir [21].

3.4. Çinko Oksitin Yasak Enerji Aralığı

Katılardaki enerji bantları çok sayıda atomun bir araya gelmesi sonucu oluşur. Birbirlerinden sonsuz uzaklıkta bulunan atomlar bağımsızdırlar ve her bir atomun kendine ait bir enerji seviyesi vardır. Bu enerji seviyelerindeki elektronlar, Pauli dışarlama ilkesine göre dizilirler.

Örneğin Karbon (C) atomunun 6 elektronu vardır. Karbon atomu için elektron konfigürasyonu: $1s^2 2s^2 2p^2$ şeklindedir. En dış yörüngede s durumunda 2 tane ve p durumunda 2 tane olmak üzere 4 valans elektronu bulunur. Serbest haldeki atomlar kristali oluşturmak için birbirine yaklaştığında, en dış yörüngelerden başlayarak elektronların dalga fonksiyonları üst üste biner [22]. Elektronlar aynı anda iki atoma birden ait olurlar. Böyle bir durum Pauli dışarlama ilkesine aykırı olduğundan elektronlardan birinin kuantum durumlarının farklı olması gerekir. Böylece başlangıçta bağımsız olan atomların elektron enerji seviyeleri, birbirlerine yaklaştığında yarılmalara uğrarlar [22]. Yarılmış olan enerji seviyeleri arasındaki fark 10^{-19} eV civarındadır. Bu uzaklığın çok küçük olması nedeniyle, yarılmış olan seviyelerin oluşturduğu enerji aralığı sürekli bir yapı olarak kabul edilerek “enerji bandı” adını alır [22]. Elektron durumlarının enerji dağılımı, atomlar arası uzaklığa bağlıdır.

Bantlar oluşuktan sonra bantlar arasındaki elektron geçişleri Pauli dışarlama ilkesine göre başlar ve istatistiksel denge kuruluncaya kadar devam eder. Böylece alt bantlar üst banttaki elektronlarla doldurulur [22]. Dolu banda “değerlik bandı”, üstteki boş banda ise “iletim bandı” adı verilir. İletim bandı ile valans bandı arasında elektronların bulunmadığı enerji aralığına “yasak enerji aralığı (E_g)” adı verilir. Katkısız ZnO için $E_g \sim 3.4$ eV civarındadır [23]. ZnO, yaklaşık 365 nm dalga boyu civarında, görünür bölge ve UV bölgesinde ışık yayma özelliğine sahiptir.



Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum [24]

3.5. Çinko Oksitin Taban Malzeme Olarak Kullanıldığı Çalışmalar

Çinko oksitin (ZnO) ince film (nadiren mikron kalınlığında film) olarak kullanıldığı çalışmalara bakıldığında ZnO yarıiletkenin bazen saf bazen katkılı film olarak kullanıldığı gözlenir. Birçok farklı yöntemle üretilebilecek olan katkılı ya da katkısız ZnO filmlerinin gaz sensörü, transistör, biyosensör, güneş pili, LED, katalizör, varistör, lüminesans gibi uygulamalarda kullanıldıkları sonucuna varılır. Bu durumda katkılı ZnO taban malzemelerinde katkı olarak Ag, Al, As, Cu, Er, Eu, Fe, Ga, Ge, In, Mg, N, Ni, Pd, Se gibi elementlerin kullanıldığı bunların As, Cu, Ga, In, Mg, Se gibi elementlerin güneş pili yapımında kullanıldığı, çok katmanlı bu yapıda ZnO üzerine ayrıca CuInSe₂, CdTe, Cu kullanılmaktadır. Süper iletkenlik ile ilgili yapılan bir çalışmada EuBa₂Cu₃O₇ alaşımı ZnO ince filmi üzerine konularak denemeler yapılmıştır [25].

Fotodedektörler, metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS), ya da metal-yarıiletken-metal (MSM) tipinde katmanlı yapı kullanılmış ve ZnO bu yapıda yarıiletken tabakalardan bir tanesini teşkil etmiştir [25]. Fotovoltaik uygulamalarda da ZnO yapı sıklıkla kullanılan bir yarıiletken malzemedir. Biosensör ve gaz sensörü uygulamalarında çinko oksitin örneğin ZnFe₂O₄ yapısının üzerine kaplanmasıyla H₂ gaz tespiti yapabildiği, yine ZnO üzerine DNA tabanlı guanin ve sitozin kaplanmasıyla biyosensör özelliği gösterdiği tespit edilmiştir [26]. Lüminesans çalışmalarında ZnO üzerine MgZnO ya da Zn₂GeO₄ gibi katkı yarıiletken kaplanmasıyla fotolüminesans özellikleri araştırılmıştır. Transistör ve diyot uygulamalarında ZnO ve katkılı ZnO

ince filmleri iki ya da üç katmanlı yapının bir tabakasını teşkil etmektedir. Bu çerçevede Al, Au, Ga, In, N gibi katkı malzemeleri sıklıkla kullanılan elementler konumundadırlar. Varistör uygulamalarında da ZnO taban malzeme olarak kullanılmaktadır.

3.6. Katkılı ZnO İnce Film Üretim Çalışmaları

ZnO ince filmleri değişik yöntem, araç ve taban malzemesi kullanılarak üretilmektedir. Bu katkılı ZnO ince filmleri XRD (X ışını kırınımı), SEM (Taramalı elektron mikroskobu), PL (Fotoluminesans), AFM (Atomik kuvvet mikroskobu), UV-VIS Spektrometre gibi değişik yöntemlerle incelenirler.

İncelemeler sonucunda elde edilen nano ölçekli yapıların nanokablo, nanoküre, nanoçubuk, nanoçiçek, ... gibi yapılar oldukları görülür. Bu geometrilere sahip yapıların optik, manyetik, mekanik, optoelektronik özellikleri açısından avantajları çalışmalara söz konusu olmaktadır.

Katkılı filmler hidrotermal, CVD (Kimyasal Buhar Çökertme), PLD (Atma Lazeri Çökertmesi; Pulsed Laser Deposition), spin kaplama (spin-coating), daldırma, RF Magnetron Sıçratma, iyon dikme, MBE (Moleküler Demet Katmanlı Büyütme; Molecular Beam Epitaxy) gibi yöntemler kullanılarak yapılmaktadır [26].

Si, ZnO, Polietilen tetrafitalat, cam (SiO_2), safir (Al_2O_3), gibi taban malzemeler üzerine üretilen ZnO katkılı nano yapıları ince filmlerinde katkı malzemesi olarak yarıiletken-iletken elementlerle beraber lantanitler grubundan bazı elementlerin kullanıldığı ayrıca Na-Mg, Al-N, Cd-Al gibi çifte katkılı ZnO ince filmler de üretilmektedir. Katkı malzemeleri geniş bir listede Çizelge 3.2' de verilmiştir [27].

Çizelge 3.2. Katkılı ZnO ince film özellikleri

Geometri	Yöntem	Sıcaklık	Amaç	Katkı Maddesi
Nanokablo	Hidratermal	200°C (ısıtma)		Al, Zn
Mikroküre	CVD	500-700°C tavlama		Mg,N
				Ga, Mn
				S,Ag
				Co, Fe ⁺³ ,Ni
Nanoçubuk	MOCVD			TiO ₂
				Cu,Ru
Vida biçimi	PLD			Al ₂ O ₃
				Na\ Mg
Nanodisk	Spin Coating			AlN
	Daldırma			Cd/Al
Çiçek vari	RF Magnetron saçtırma			Sb,Sn,In
Tetrapod	Elektrokimyasal çökertme			
	Etil alkolde süper kritik kurutma			B-Ga-N üçlü katkı
	Buhar hidroliz yöntemi			V,Ti,Sm ⁺³ Tb ⁺³
				Dy ⁺³ ,Eu ⁺³
	Spray pyrolysis			Er ⁺³
	İyon dikme			Gd, Nd, Yb ⁺³
	Filtrelenmiş katodik ark tekniği (FCVA)			P

Çizelge 3.3. Katkılı ZnO ince filmlerin üretim özellikleri [27]

Başlangıç Maddesi	Taban Malzemesi	Ölçüm Yöntemi	Gaz-Boyut Özellikler
✚ ZnCl ₂	✚ Si	✚ XRD	✚ 360nm (saf ZnO)
✚ Çinko asetat + hidroflorikasit+su+ asetik asit+metanol	✚ ZnO ✚ Polietilen tatrafitalat ✚ Soda kalsik cam	✚ SEM ✚ TEM ✚ CL ✚ Luminesans	✚ 375 nm,625 nm salma ✚ O ₂ atmosferi ✚ Wurtzite kristal yapısı
✚ Çinko asetat trimetil borat	✚ Cam (SiO ₂)	✚ PL ✚ EPR	✚ (002),(100),(101) yönü
✚ Çinko ve varadyum	✚ Al ₂ O ₃ (safir)	✚ Spektrofotometre ✚ AFM	✚ Oda sıcaklığında lüminesans
✚ Asetilasetanat ile vinil alkol ZnO:P ₂ O ₅	✚ Corning-glass ✚ GaSb ✚ Pyrexglass ✚ ITO ✚ LiAlO ₂	✚ 4 nokta yöntemi ✚ XPS ✚ VSM ✚ PIXE ✚ FTIR ✚ XAS ✚ Raman saçılması ✚ DRS ✚ BET ✚ EDS	✚ 2-1000 nm arasında yapı eldesi ✚ N ₂ ,Ar gaz ortamı ✚ 20-30µm boyulu nanokablo ✚ 3.35-3.39 eV

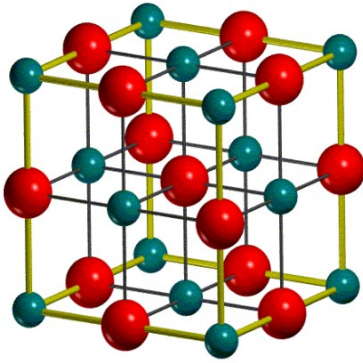
3.7. Magnezyum Oksit Bileşiği

Magnezya olarak da bilinen Magnezyum oksit, bir alkalın metal oksittir. Magnezyum oksit ampirik formülü MgO olan beyaz renkli bir katıdır. Mg⁺² ve O⁻² iyonlarının iyonik bağlanmaları sonucu oluşur.

Magnezyum oksit, magnezyum karbonat (MgCO₃) ya da magnezyum hidroksit (Mg(OH₂)) kalsinasyonu veya magnezyum klorürün (MgCl₂) ısıtılmasından geçirilmesiyle elde edilir [28]. Günümüzde üretilen magnezyum oksitin büyük bir kısmı doğal minerallerden oluşan magnezit (MgCO₃) kalsinasyonu ile elde edilmektedir. Magnezyum oksitin elde edildiği diğer önemli kaynaklar deniz suyu, okyanus altındaki çökeltirler ve magnezyum oksitin işlendiği derin tuz yataklarıdır.

Magnezyum oksit, tarih boyunca, günümüzde manganez olarak bilinen magnezya negradan ayırt edilebilmesi için magnezya alba (literatürde beyaz mineral magnezya ya da $MgCO_3$ olarak verilmektedir) olarak bilinmiştir.

Magnezyum oksit kaya tuzu yapısına sahip olan mükemmel bir yalıtkan maddedir. Aşağıda Şekil 3.4'de magnezyum oksit bileşiğinin kaya tuzu yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Magnezyum oksitin kaya tuzu yapısı [29]

Farklı sıcaklıklardaki kalsinasyon, farklı reaktiviteye sahip magnezyum oksit üretir. 1500-2000°C yüksek sıcaklıklarda yapılan kalsine mevcut yüzey alanını azaltır ve reaktif olmayan magnezyum oksit üretir. 1000-1500°C ' de yapılan kalsinasyon sınırlı reaktiviteye sahip magnezyum oksit üretirken, 700-1000 °C düşük sıcaklıklarda yapılan kalsine kostik kalsine magnezya olarak da bilinen reaktif magnezyum oksir üretir [30].

Magnezyum oksit üstün özelliklere sahip mükemmel bir yalıtkan maddedir. Bu özellikler arasında kimyasal tepkisizlik, yüksek elektriksel öz direnç, optik geçirgenlik, düşük ısıl iletkenlik ve özellikler yüksek sıcaklıklarda ikincil elektron salımı için yüksek verimliliği gelmektedir. Bu özellikler magnezyum oksiti birçok uygulama için uygun hale getirmektedir.

Magnezyum oksit filmler, yüksek süperiletken oksitleri geliştirmek için tampon katman olarak [31], çok büyük manyetik direnç oksitlerde [32], manyetohidrodinamik cihazlarda [33], plazma teknolojisindeki elektrotlarda [34], Josephson eklem bariyerleri [31] gibi oldukça geniş uygulama alanına sahiptirler.

3.8. Magnezyum Oksitin Materyal Parametreleri

Kaya tuzu kristal yapıdaki MgO' nun bazı önemli materyal parametreleri Çizelge 3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Magnezyum oksitin özellikleri [35, 36]

Molar kütle	40,3044 g/mol
Görünüş	Beyaz toz
Koku	Kokusuz
Özkütle (25 °C)	3,58g/cm ³
Erime sıcaklığı	2,852 °C
Kaynama sıcaklığı	3,600 °C
Suda çözünürlük	Asit ve amonyakta çözünür alkolde çözünmez
Çözünürlük	0,00062 g/100mL (0 °C) 0,0086 g/100mL (30 °C)
Elektronegatifliği	1,31 Pauli ölçeği
Bant aralığı	~7 eV
Isıl iletkenlik	~30 W/mK
Örgü sabiti	a=0,4212 nm
Isıl genleşme	14,10 ⁻⁶ K ⁻¹
Dielektrik sabiti	9,6
Kristal yapısı	Kaya tuzu
Kırılma indisi	n=1,77

3.9. MgZnO Alaşımı ve Özellikleri

3,4 eV bant aralığı, geniş eksiton bağlanma enerjisi (60meV) ve wurtzite yapıya sahip olan ZnO en önemli yarıiletkenlerden birisidir. ZnO ışık yayan diyotlar, saydam iletken oksitler, güneş hücreleri, lazer, optik dedektör, fotokataliz ve foto elektrokimyasal gibi optik uygulamalarda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [37]. Özellikle ZnO, kısa dalga boyuna sahip yarıiletkenler alanında GaN'dan sonra

yeni bir aday olmuştur. ZnO bileşiğini Al, In, B, Mn, Co, Ga gibi birçok metalle katkılamak mümkündür. Ancak ZnO bileşiği magnezyum (Mg) ile katkıldığında çinko oksitin bant aralığı 3,3 eV'den 4,7 eV değerine kadar yükseltmek mümkün olmaktadır. Bu durum çinko oksite olan ilgiyi daha da artırmış ve MgZnO alaşımlar derin UV optoelektronik aletler için çok önemli bir aday haline gelmiştir. Ayrıca, radyasyona karşı yüksek direnç gösterme, çevre dostu karakteri, düşük sıcaklıklarda büyüme gibi benzersiz özelliklere sahiptir [38].

ZnO wurtzite yapıya, MgO ise kübik kaya tuzu yapısına sahiptir. MgO ve ZnO arasında yapı farklılığı olmasına rağmen yüksek oranda Mg katkısı MgZnO alaşımını tek wurtzite fazda elde etmek oldukça zordur. Hem deneysel hem de teorik araştırmalar artan Mg katkısıyla MgZnO alaşımlarının bant aralığının arttığını göstermektedir ve bu katkı ~%50 oranını geçtiğinde saf wurtzite yapıda MgZnO elde etmek mümkün olmamaktadır [37].

Son zamanlarda, birçok araştırmacı MgZnO alaşımların temel fiziksel özelliklerinin incelenmesi için büyük çaba göstermişlerdir. Birçok ilk teorik çalışmalar ve deneysel araştırmalar ZnO bileşiğine Mg katkıldığında alaşımın optik ve elektriksel özelliklerinin yanı sıra katkının kristalite ve yapı üzerindeki etkisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aslında, MgZnO alaşımlarının optik, elektronik ve yapısal özellikleri hakkında edinilen bilgi hala çok sınırlıdır. Örneğin, artan Mg konsantrasyonu ile a ve c örgü parametrelerindeki farklılıklar hakkındaki teorik çalışmalar daima tartışmalıdır [39].

Yüksek oranda Mg katkılı wurtzite MgZnO alaşımları üzerinde önemli çalışmalar yapılmasına rağmen, MgZnO'nun optik kalitesi sorun çıkarmaktadır [40]. Teorik araştırmalar ve deneysel bileşimde karşılaşılan bu zorluklar MgZnO alaşımlarına olan ilgiyi daha da artırmış ve optoelektronik aletlerin geliştirilmesinde uygulamalarında yeniliklere yol açmıştır.

MgZnO alaşımlarının kullanım alanlarından bazıları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Işık yayan diyotlar
- ✓ Optik sensörler

- ✓ Optik dedektörler
- ✓ Piezoelektrik aletler
- ✓ Optoelektronik aletler
- ✓ Güneş hücreleri

4. İNCE FİLM TEKNOLOJİSİ

4.1. İnce Film

Materyal bilimi ve mühendislik alanının sıra dışı kimyasal, fiziksel ve mekaniksel kombinasyonlarla yeni materyaller elde edebilmesi modern toplumda yeniliklere yol açmaktadır. Sürekli artan bir teknolojik gelişim mevcuttur ve bunun sonucunda modern teknoloji farklı uygulamalar için ince filmlere ihtiyaç duymaktadır. İnce film teknolojisi katı hal elektroniğinde en önemli gelişmelerden birisidir. Metal filmlerin optik özelliklerinin kullanışlılığı ve iki boyutlu katıların davranışları hakkındaki bilimsel merak ince film teknolojisindeki büyük ilginin temel sebeplerindendir. İnce film çalışmaları doğrudan ya da dolaylı olarak katı hal fiziğinde ve filmlerin yapı, geometri veya kalınlık gibi madde yapısı gibi birçok alanda gelişmeler sağlar.

Bir maddeden çok ince bir film kesiti dikkate alınırsa; madde sürecinin farklı olduğu ve mutlaka iç fiziksel özelliklerini etkileyen birbirine çok yakın iki yüzey elde edilmiş olunur. Bu nedenle bulk malzemelerden ince film elde etmek daha uygun bir yoldur. Yüzeyler arasındaki mesafenin azalması ve bu yüzeylerin karşılıklı etkileşimi tamamen yeni bilimsel veri artışıyla sonuçlanabilir. Materyalin bir boyutu, makro sistemlerle mikro sistemler arasında bir ara sistemi oluşturan birkaç atomik tabakaya indirgenir ve böylece çeşitli süreçlerin mikro fiziksel yapısının araştırılması için bir yöntem elde edilmiş olunur.

Bir ince filmin kalınlığı bir mikrometreden ($<1000\text{nm}$) daha incedir. İnce film malzemeleri, optoelektronik fotonik ve manyetik cihazlar alanında yapılan sürekli devam eden teknolojik gelişmenin önemli unsurlarıdır. İnce filmler halinde malzemenin işlenmesi, cihazların farklı tiplerde bütünleştirilmesine imkan sağlar. Malzemelere ince film formunda bakıldığında malzeme özellikleri önemli ölçüde farklılık gösterir. Fonksiyonel malzemelerin pek çoğu sahip oldukları kendilerine özgü elektriksel, optik manyetik ya da aşınma direncinden dolayı ince film formunda uygulanır.

İnce film oluşumu üç aşamada gerçekleşmektedir:

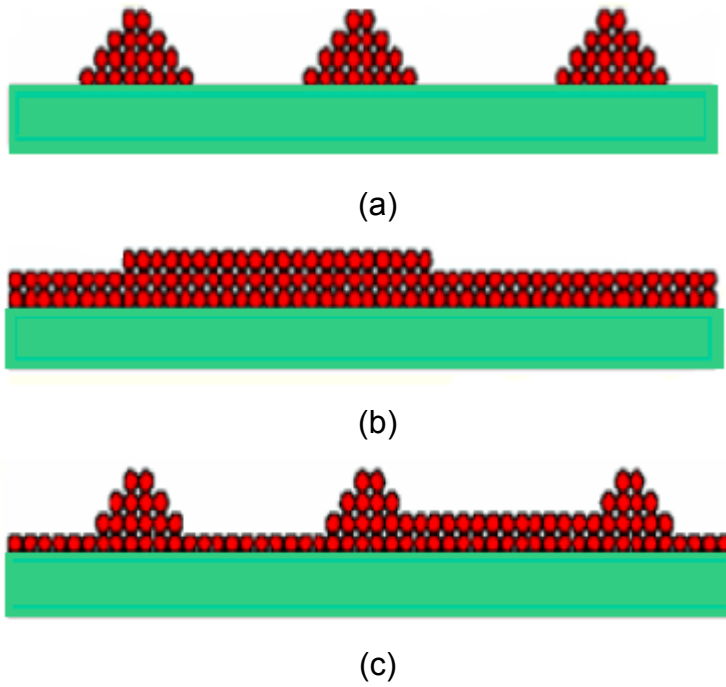
- i. Kaplama malzemesinin katı, sıvı veya gaz kaynaktan atomik, moleküler ya da iyonik parçacıklar halinde ayrılması
- ii. Oluşan parçacıkların doğrudan ya da elektrik\ manyetik alan etkisiyle kaplanacak yüzeye taşınması
- iii. Kapanacak alttaş yüzeyinde katı bir yapı oluşturmak için bu parçacıkların doğrudan ya da kimyasal yollarla yoğunlaşması [41]

Kaplama tekniği kadar ince filmin büyümesi süreci de kaplamanın karakterini etkiler. İnce film yüzeyde büyürken termodinamik ve kinetik enerjisi dikkate alınır. Bu nedenle;

- Yüzey enerjisi
- Ara yüzey enerjisi
- Ara yüzey kristalografisi
- Kapanacak kaynağın türü
- Alttaş sıcaklığı
- Yüzeyi aktif madde
- Üretimde kullanılan inert gaz

gibi özellikler oluşturulan ince filmin kalitesini önemli derecede etkiler. Alttaşın fiziksel ve kimyasal özellikleri, gaz ortamı alttaş sıcaklığı, safsızlıkların kaynağı ve enerjileri önemli parametrelerdir. Alttaş üzerine gelen parçacıkların kinetik enerjileri, birim zamanda gelen parçacık sayısı, yapışma katsısı, yoğunlaşma katsayısı, doyum oranı, safsızlık miktarı yüzey hareketliliğini etkileyen parametrelerdendir. Gelen parçacıkların kinetik enerjilerinin artması belirli bir bölgeye kadar çekirdek boyutunu arttırmaktadır [42].

İnce film bir yüzeyde üç farklı şekilde büyüyebilir: bunlardan ilki adalar halinde büyümedir. İkincisi ise ve en ideal büyüme olan tabakalar halinde büyümedir. Son olarak üçüncü büyüme şekli hem ada hem de tabaka halinde büyümelerinin beraber olduğu karma büyümedir [43] (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. İnce filmlerin yüzey üzerinde büyüme çeşitleri: (a) adalar halinde büyüme (b) tabaka halinde büyüme (c) hem ada hem de tabaka halinde büyüme

4.2. İnce Film Uygulamaları

İnce film çalışmaları yüzyıl öncesine dayanmasına rağmen, son zamanlarda uygulanabilir durumlarda önemli ölçüde kullanılmaktadır. Mikro boyut gereksinimi ince ve kalın film gereksinimini neredeyse zorunlu hale getirmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle çok yüksek yoğunluklu depolama tekniklerine ihtiyaç duyuldu ve bu gereklilik de ince filmlerin manyetik özelliklerinin incelenmesinde harekete geçilmesini sağladı. Birçok ince film aygıtı bir uygulama ya da daha da önemlisi piyasa için geliştirilmiştir. Genel olarak bu cihazlar ince filmlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması sonucu meydana gelmiştir.

İnce film üretiminde temizlik, yüzeyin yapısı, biriktirme koşulları, biriktirme sonrası işlemler değişkenleri vardır. Bu nedenle ince filmlerin anlaşılmasında bu gelişmeden öncesinde, ince filmleri gerçek hayattaki cihazlara uygulamak mümkün olmamıştır. İnce film çalışmaları için finansın çoğu uzay ve savunma sanayisinden elde edilmektedir. Bu alanlar için aygıtların hafifliği fiyattan daha önemlidir. Elbette ince film teknolojisinin uygulama alanı sadece uzay ve savunma sanayisi değildir aksine düşük maliyetin önemli olduğu yerli sektörde oldukça sık kullanılmaktadır.

İnce film malzemeler yarıiletken cihazlar, kablosuz iletişim, telekominükasyon, entegre devreler, doğrultucular, transistörler, kristal ekranlar, manyeto-optik aygıtlar, ses ve görüntü sistemleri, kompakt diskler, elektro-optik kaplamalar, bellekler, çok katmanlı kapasitörler, düz panel ekranlar, bilgisayar çipleri, manyetooptik diskler, litografi, mikro-elektronik mekanik sistemler ve çok fonksiyonlu gelişmekte olan kaplamalarda kullanılmaktadır.

4.3. İnce Film Üretim Teknikleri

İnce filmlerin biriktirme işlemi, üretim teknikleri, spektroskopik ve optiksel karakterizasyon işlemleri aygıt üretimi için gerekli parametrelerdir. İnce film üretme tekniklerini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar :

- Fiziksel yöntemler
- Kimyasal yöntemler

Fiziksel yöntemler buharlaşma ya da kaynak bir metalden çıkarılmaya bağlı olan biriktirme tekniklerini kapsar. Kimyasal yöntemler ise numunenin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Yapı ve nitelik ilişkisi ince film teknolojisinde temel özelliklerdir.

Çizelge 4.1. İnce film üretim teknikleri



4.4. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme (sputtering), bir maddenin yüzeyinde ince filmler biriktirilmesi için kullanılan bir tekniktir. İlk olarak gaz halinde plazma ortamı oluşturulur. Sonra iyonlar bu plazma ortamında hızlandırılarak target adı verilen kaynak malzemeye gönderilir ve enerji transferiyle hedef (kaynak) malzemeye gelen iyonlar hedef malzeme yüzeyinden nötr partiküller halinde atomlar ya da atom\molekül gruplarını sökerler. Bu nötr parçacıklar başka parçacıklarla veya başka bir yüzeyle temas etmediği sürece düz bir çizgide hareketlerine devam ederler. Sökülen parçacıkların hareket yoluna alttaş yerleştirilirse, alttaş ince bir filmle kaplanır.

Yukarıda açıklandığı gibi püskürtme olayı nispeten kolay gibi görünse de aslında daha kapsamlı bir süreçtir. Bazen maddenin dördüncü hali olarak (ilk üç hali; katı, sıvı, gaz) plazma hali tanımlanır. Aslında plazma hali, nötr gaz atomlarının, iyonların, fotonların ve elektronların eş zamanlı olarak dengeli olduğu dinamik bir durumdur. Plazma enerji kaybettiğinde RF, DC gibi enerji kaynaklarına ihtiyaç duyar. Bir ön pompalı vakum odasına Ar gibi bir soygaz gönderilip, hazne basıncını özel bir değere getirip (örneğin;0.1 mTorr) kesintisiz bir vakumla besleme yaparak ve düşük basınçlı gaz ortamına elektrot getirilerek bu dinamik durum yani plazma ortamı oluşturulabilir.

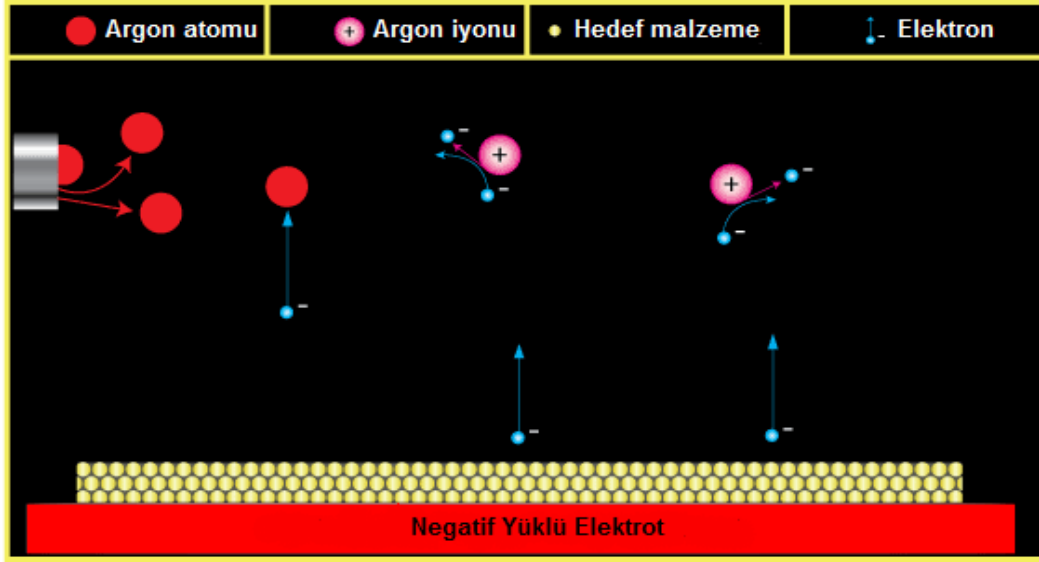
4.4.1. DC püskürtme

D.C. püskürtme sistemi bir çift düzlemsel elektrottan meydana gelir. Elektrotların bir tanesi soğuk katot diğeri ise anottur. Hedef malzeme (kaplama malzemesi) katoda yerleştirilir. Kaplanacak malzeme ise anoda yerleştirilir. Katodun arka yüzeyi malzemenin zarar görmemesi için su soğutmalı olarak dizayn edilir. Anot ise kaplanacak malzeme koşullarına göre ısıtmalı olabilir.

Elektrota voltaj uygulandığında;

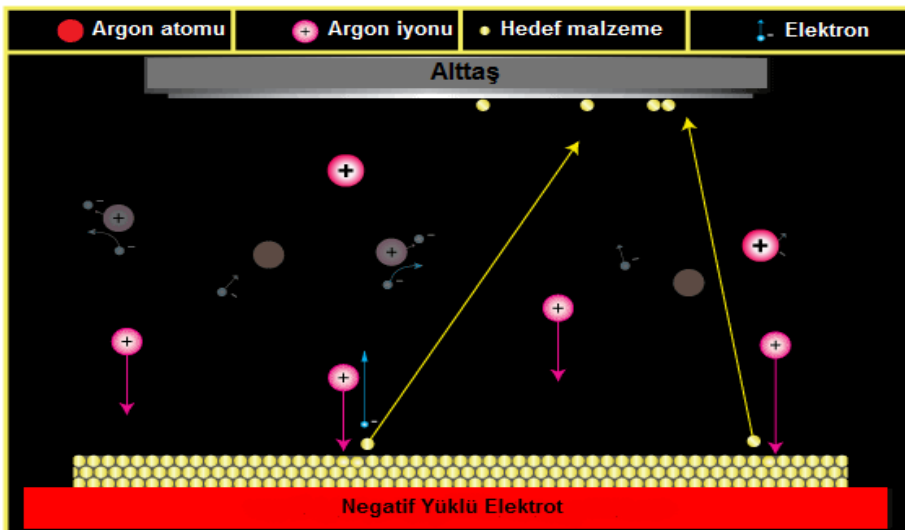
- ❖ Serbest elektronlar zıt yüklü elektrot (katot) tarafından hızlandırılır. Hızlandırılan elektronlar, yolları üzerindeki nötr gaz atomlarının dış kabuktaki aynı yüklü elektronlarıyla karşılaştığında bu elektronlar gaz atomlarına ayrılır.

Pozitif yüklü elektronlar negatif yüklü elektronlardan daha fazla olacağı için bu ayrılma elektriksel dengesizlik meydana getirir. Böylece nötr gaz atomu pozitif yüklü iyonlarına (örneğin; Ar^+) ayrılmış olur.



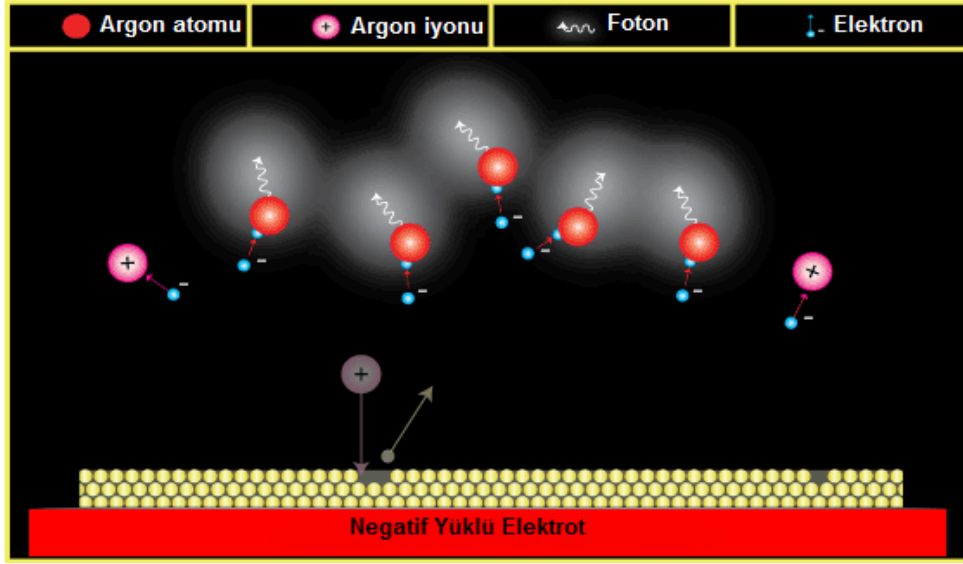
Şekil 4.2. Atomun serbest elektronlar tarafından iyonlarına ayrılması [44]

- ❖ Bu noktada pozitif yüklü elektronlar katoda doğru hızlandırılır ve katot yüzeyine çarpar. Böylece enerji transferiyle yüzeyden sökülen elektronlar ortama salınır. Bu olaya püskürtme adı verilir. Ayrıca serbest elektron iyonların oluşumunu ve plazmanın devamını sağlar.



Şekil 4.3. Püskürtme olayının meydana gelmesi (ortama elektron salınımı) [44]

- ❖ Bu süre zarfında serbest elektronlar tekrar gaz atomu haline dönerler. Enerji korunumu yasaları nedeniyle, bu elektronlar taban durumuna geçtikleri zaman elde edilen nötr gaz atomları enerji kazanır ve foton şeklinde enerji salar. Bu fotonların salınmasının sebebi plazmanın parlak olmasındandır.



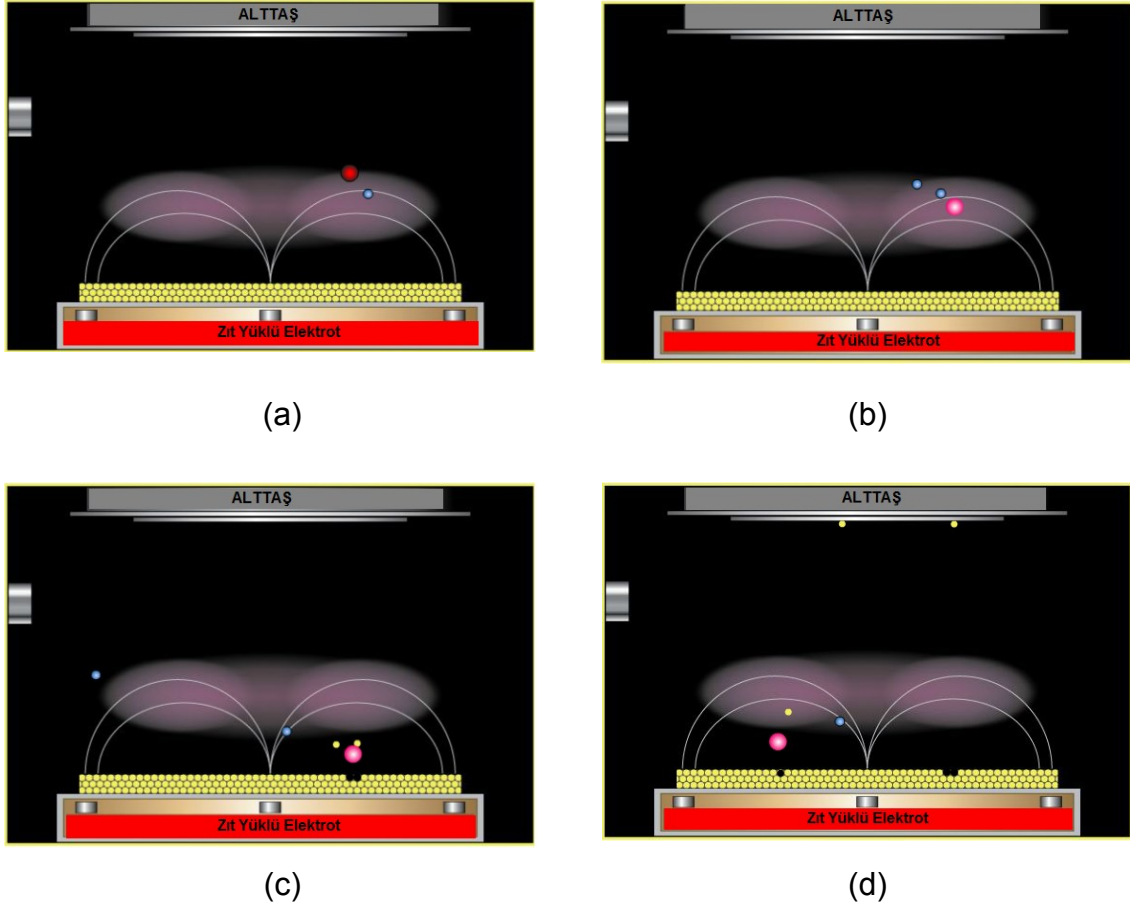
Şekil 4.4. Serbest elektronların taban durumuna geçmesi [44]

4.4.2. Magnetron püskürtme tekniği

DC püskürtmede, katot kaynak materyali yani püskürtme hedefiyle kaplı olduğunda kullanışlı bir ince film biriktirme yöntemi olduğu ispatlanmıştır. Ancak DC püskürtmede iki önemli problem vardır. Bunlardan birincisi biriktirme oranı yavaştır. İkincisi ise hedef malzemedeki elektron bombardımanı yoğundur dolayısıyla alttaşa gelen elektron sayısı da fazladır. Bu durum aşırı ısınmaya ve yapısal hasara neden olabilir.

Manyetik alanda püskürtmenin gelişimi ile bu problemin çözümü sağlanmıştır. Manyetik püskürtme sisteminde; hedef malzemenin yüzeyin üzerinde manyetik alanda doğrudan serbest elektronların tuzaklanması için katot arkasında magnetler yerleştirilir. Bu magnetler sayesinde DC püskürtmede olduğu gibi elektronlar serbest hareket edemezler. Manyetik alanda yön verilerek alttaşa gönderilirler. Aynı zamanda manyetik alanda tuzaklanan elektronlar nötr gaz molekül iyonize olasılığını arttırırlar. Bu elde edilen iyonlardaki artış hedef malzemenin aşınma

oranını (elektron sökme) önemli ölçüde artırır böylece alttaş yüzeyine birikim sağlanır. Aşağıda Şekil 4.5'te manyetik püskürtmenin aşamaları verilmiştir.

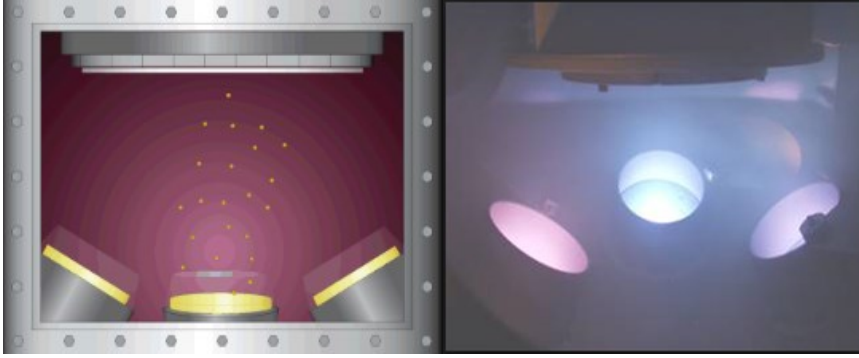


Şekil 4.5. Manyetik alanda püskürtme (a) elektronla Ar gazının çarpışması (b) elektronun iyonlarına ayrılması (c) hedef malzemeden elektron sökülmesi (d) sökülen elektronların alttaşa yönlendirilmesi [44]

Magnetron püskürtme kaynağı vakum odasına monte edilir. Bu kaynak magnet dizisinin içine yerleştirilen su soğutmalı katottan oluşur. Belirli gereksinimleri karşılamak sayısız tasarımlar ve magnet yapılandırmaları yapılabilir.

4.4.3. Eş püskürtme tekniği

Bir eş püskürtme sistemi, birden çok manyetik püskürtme kaynağının özel bir dairesel düzende yerleştirilip ortak bir odak (konfokal) noktasının olduğu püskürtme sistemidir. Alttaş bu odak noktası karşısına yerleştirilir ve alttaş kendi ekseninde dönmektedir. Bunun sonucunda yüksek oranda homojen tek tabakalar, çoklu tabakalar/katmanlar, eş-püskürtmeli alaşımlı filmler elde etmek mümkündür.



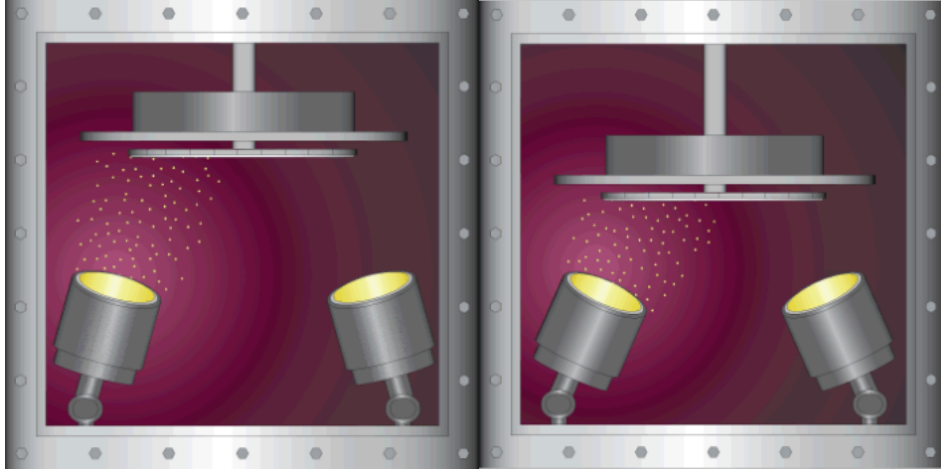
Şekil 4.6. Eş-püskürtme sistemindeki büyütme haznesi

Eş-püskürtme tekniği aşağıdaki nedenlerden dolayı son derece popüler bir tekniktir:

- ❖ Alttaş üzerindeki olağanüstü homojen biriktirmede hedef çapının iki katı büyüklükte bir alanda biriktirme yapılabilir. (Target çapı iki inç iken manipülatör yarıçapı dört inçtir.)
- ❖ Kalınlığı tek bir atomik tabakadan daha az ve binlerce Angstrom arasında değişen katmanlı tabakaların büyütme kontrolü kolayca sağlanabilmektedir.
- ❖ Her katman için yeniden alttaş konumlandırması olmadığı için sonraki katmanlar arasındaki zaman gecikmesi en aza indirilir. Çok katmanlı bir eş-püskürtme birikiminde, her bir kaynağın kapatıcı kapağı (shutter) bir önceki kaynağın kapatıcısı kapandıktan yaklaşık bir saniye sonra açılır, böylece plazma ortamında alttaş yüzeyince biriktirme işlemine devam edilir.
- ❖ Herhangi bir malzemenin herhangi bir hassas oranda alaşımları kolayca büyütülebilir. Bu durum birleşimsel kimya uygulamaları ve üretim uygulamaları için target (hedef) stokiyometrisinin optimizasyonu için idealdir.
- ❖ Eş-püskürtme tekniğinde alttaş tutucu eksensel yönelime sahiptir. Bu alttaş tasarımı daha çok serbestlik ve çok yönlülük katar buda toplam maliyetin azalmasını sağlar.
- ❖ Tek bir kaynak malzeme kullanılarak yapılan ince film biriktirme hızı, eş zamanlı olarak iki veya üç hedef malzeme kullanılarak biriktirme hızı artırılabilir.

DC ve RF püskürtme sistemlerinde kaynak malzeme ve alttaş arasındaki mesafeyi değiştirilerek ince film biriktirme işlemi yapılabilir. Homojen biriktirmenin devamlılığını sağlamak için, magnetik püskürtme kaynaklarının odak noktası, hedef malzemenin yönelim açısı değiştirilerek değişken olması gereklidir. Ayrıca, DC,

Magnetron ve RF püskürtme ile elde edilen malzemelerin hepsi birbirinden farklıdır, bu yüzden her bir malzeme için en uygun açı, çalışma mesafesi değişmeden kalsa bile aynı değildir.



Şekil 4.7. Kaynak malzeme yönelimli eş-püskürtme sistemi büyütme odası konfigürasyonu [44]

İlk defa 1991 yılında AJA International tarafından dünyanın ilk kaynak malzeme yönelimli manyetik püskürtme tekniği keşfedildi. Vakum bozmadan, ayrı ayrı her bir kaynak malzemenin yönelim açısını hassas bir mikrometreyle istenilen açıya ayarlamak mümkündür. Eğer bakım ya da temizlik sırasında ayarlanan açı değişirse, sistem tekrar aynı açısına dönebilmektedir. Kaynak yönelimin açısını ayarlamak için her zaman vakumun boşaltılması gerekir ve bu uzun süre gerektirir. Manuel olarak kaynak malzemenin yönelimini ayarlamak birkaç gün alabilir ancak yük kilitli kaynak malzeme eğilimli püskürtme sisteminde bu işlem birkaç saat içinde yapılabilmektedir ve böylece önemli ölçüde zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Aşağıdaki Resim 4.1’de bu tez çalışması kapsamında ince filmlerin büyütülmesinde kullanılan eş-püskürtme sistemi verilmiştir.



Resim 4.1. Nanovak Eş-püskürtme (Co-Sputtering) Cihazı

Yukarıdaki sistem kullanılarak tez çalışmamızda karakterizasyonu yapılan MgO, ZnO ve MgZnO ince filmleri Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 5.4' de verilen büyütme şartlarına bağlı olarak oluşturuldu.

Çizelge 4.2. Si ve korning cam alttaşlar üzerine büyütülen ZnO ince filmlerin kaplama parametreleri

Numune adı	RF gücü (W)	Gaz akış oranı (sccm)	Büyütme oranı (Å/s)	Temel basınç (Torr)	Kaplama basıncı (mTorr)	Kaplama süresi (dk)	Alttaş sıcaklığı (C)	Kaplama kalınlığı (nm)
CTS311 Si	100	9,8	0,87	$9,7 \times 10^{-6}$	30	90	Oda sıcaklığı	150
CTS311 K. cam	100	9,8	0,87	$9,7 \times 10^{-6}$	30	90	Oda sıcaklığı	148

Çizelge 4.3. Korning cam alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri

Numune adı	RF gücü (MgO) (W)	RF gücü (ZnO) (W)	Gaz akış oranı (sccm)	Büyütme Oranı (MgO) (Å ² /s)	Büyütme Oranı (ZnO) (Å ² /s)	Temel basınç (Torr)	Kaplama basıncı (mTorr)	Kaplama süresi (dk)	Kaplama kalınlığı (nm)
CTS308	40	100	9,8	0,12	0,75	9,7x10 ⁻⁶	30	90	90
CTS307	50	100	9,8	0,17	0,87	3,6x10 ⁻⁶	30	90	120
CTS309	75	100	9,8	0,20	0,75	6,0x10 ⁻⁶	30	90	128
CTS310	100	100	9,8	0,29	0,84	5,4x10 ⁻⁷	30	90	176

Çizelge 4.4. Silikon alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri

Numune adı	RF gücü (MgO) (W)	RF gücü (ZnO) (W)	Gaz akış oranı (sccm)	Büyütme Oranı (MgO) (Å ² /s)	Büyütme Oranı (ZnO) (Å ² /s)	Temel basınç (Torr)	Kaplama basıncı (mTorr)	Kaplama süresi (dk)	Kaplama kalınlığı (nm)
CTS308	40	100	9,8	0,12	0,75	9,7x10 ⁻⁶	30	90	140
CTS307	50	100	9,8	0,17	0,87	3,6x10 ⁻⁶	30	90	110
CTS309	75	100	9,8	0,20	0,75	6,0x10 ⁻⁶	30	90	136
CTS310	100	100	9,8	0,29	0,84	5,4x10 ⁻⁷	30	90	180

Çizelge 4.5. Silikon alttaşlar üzerine oda sıcaklığında büyütülen MgZnO ince filmlerin kaplama parametreleri

Numune adı	RF gücü (MgO) (W)	RF gücü (ZnO) (W)	Gaz akış oranı (sccm)	Büyütme Oranı (MgO) (Å ² /s)	Büyütme Oranı (ZnO) (Å ² /s)	Temel basınç (Torr)	Kaplama basıncı (mTorr)	Kaplama süresi (dk)	Kaplama kalınlığı (nm)
CTS308	40	100	9,8	0,12	0,75	9,7x10 ⁻⁶	30	90	120
CTS307	50	100	9,8	0,17	0,87	3,6x10 ⁻⁶	30	90	120

Çizelge 4.6. Si, safir ve korning cam alttaşlar üzerine büyütülen MgO ince filmlerin kaplama parametreleri

Numune adı	RF gücü (W)	Gaz akış oranı (sccm)	Büyütme oranı (Å/s)	Temel basınç (Torr)	Kaplama basıncı (mTorr)	Kaplama süresi (dk)	Alttaş sıcaklığı (°C)	Kaplama kalınlığı (nm)
CTS 306 Si	180	9,8	0,33	$1,8 \times 10^{-6}$	30	90	Oda sıcaklığı	95
CTS 306 Safir	180	9,8	0,33	$1,8 \times 10^{-6}$	30	90	Oda sıcaklığı	87
CTS 306 korn.cam	180	9,8	0,33	$1,8 \times 10^{-6}$	30	90	Oda sıcaklığı	80

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Alttaşıların Hazırlanması

Bu tez çalışmasında MgO ve ZnO' in optik ve yapısal özelliklerini incelemek için MgZnO ince filmler korning cam, safir ve silikon alttaşlar üzerine biriktirildi. Safir, Si ve korning-cam için aynı temizleme prosedürü kullanıldı. Korning cam alttaşlar 1cm x 5 cm boyutlarında kesildi. Önce deterjanlı süngerle yıkanıp sonra deiyonize suyla durulandı. Daha sonra içinde aseton (CH_3COCH_3 , $M=58.08 \text{ g/mol}$) olan beher kaba konulup ultrasonik banyoda 5 dakika bekletildi. Ultrasonik banyodan çıkarılan alttaş önce metanolle (CH_2OH , $M= 32.04 \text{ g/mol}$) yıkanıp sonra tekrar deiyonize suyla durulandı. Son olarak alttaş yüksek saflıktaki kuru azot gazıyla kurutulur. Temizlikleri yukarıda özetlenen yöntemle gerçekleştirilen alttaşlar atmosferik kirlilikten etkilenmemesi amacıyla, zaman geçirilmede püskürtme sistemine yüklenerek sistem vakum için pompalandı. Tüm bu işlem basamakları safir ve Si alttaşlar için de uygulandı.

5.2. Numunelerin Karakterizasyonunda Kullanılan Deneysel Teknikler

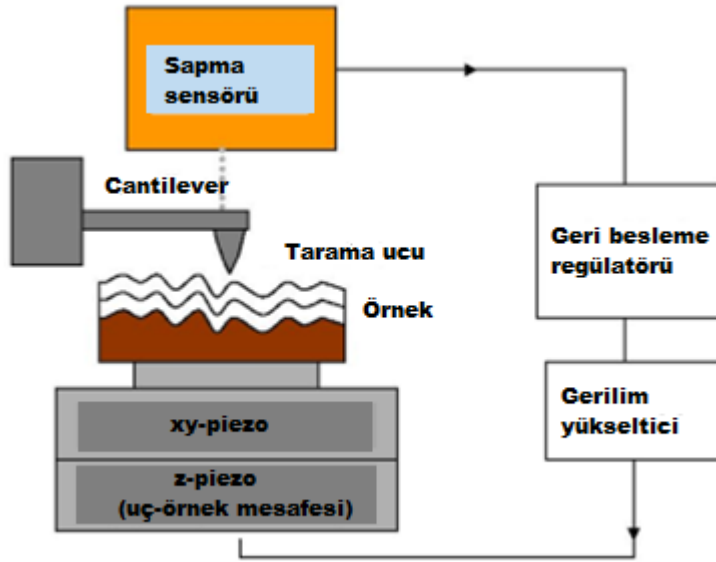
5.2.1. Atomik kuvvet mikroskobu analizi (AFM)

Yüzeyin anatomik yapısının ve bu yapıyla ilişkili elektronik özelliklerinin belirlenmesi modern yüzey bilimi ve teknoloji için önemlidir. Çok sayıda deneysel teknik ve teorik metot, yüzeyin atomik ve elektronik yapısını belirlemek için kullanılmaktadır. Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM)' nin başarıları yeni taramalı araştırma mikroskop metotlarının geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bunlardan biri olan atomik kuvvet mikroskobu ile malzeme yüzeyi analizleri yapılmaktadır.

Binning, Quate ve Gerber tarafından 1986 yılında icat edilen Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy, AFM), numuneye zarar vermeyen atomik incelikte keskin uçlu bir iğne (tip) aracılığıyla yüzey morfolojisini angstrom mertebesinden 100 mikrona kadar ölçebilen bir sistemdir. Numune yüzeyinde

numune ile iğne arasında oluşan etkileşme kuvveti Cantilever adı verilen esnek bir yay tarafından algılanır.

İğne ve yüzey atomları arasında atomik boyutta bir uzaklık bulunmaktadır ve iğne yüzey üzerinde hareket ettikçe atomlar arası potansiyeller yüzünden denge çubuğu aşağı yukarı doğru hareket eder. Böylelikle atomlar arası potansiyel kuvvetlerin denge çubuğu tarafında ölçülmesi ile yüzey topografisi angstrom seviyesinden 100 mikrona kadar ölçülebilmektedir. AFM cihazının çalışma prensibi Şekil 5.1’de verilmiştir.



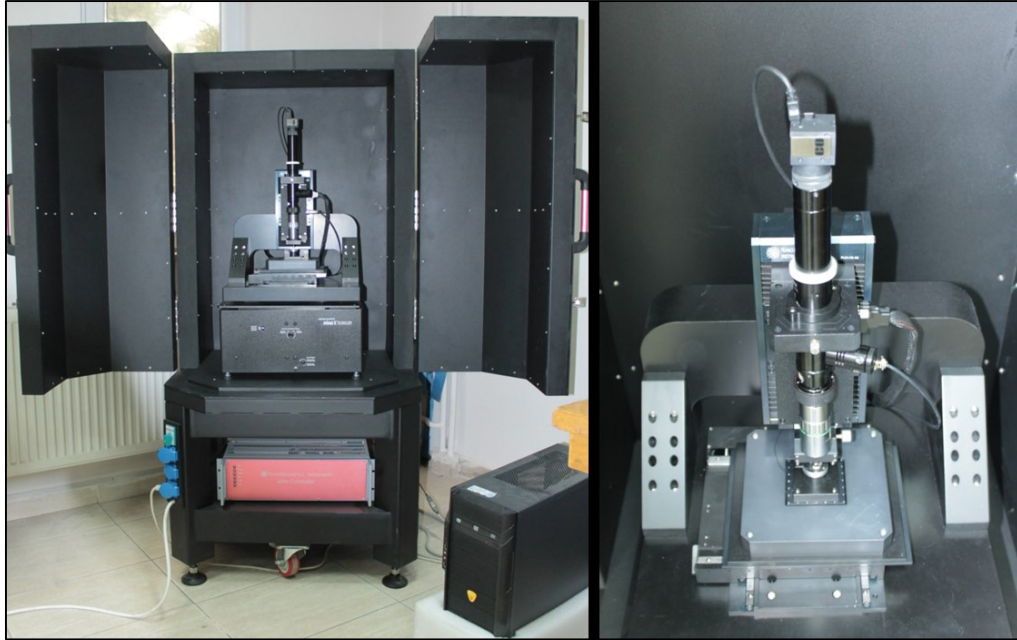
Şekil 5.1. AFM' nin şematik diyagramı

AFM' nin çalışma prensibi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Birkaç mikron uzunluğundaki bir uç (tip) cantileverin ucuna yerleştirilir. Uç ve numune yüzeyi arasındaki atomlar arası kuvvetler cantileverin sapmasına neden olur.

Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılarak birçok özellik hakkında bilgi edinilebilir. Bunlardan biri, örneğin yüzeyinin nasıl görüldüğü, yüzey üzerinde bulunan moleküler yapılar arasındaki ilişkiler ve sertlik, yansıma gibi maddesel özellikler hakkında fikir edinilmesini sağlayan yüzey topografisidir [45]. Diğer bir dal olan yüzey morfolojisi ise, maddeyi oluşturan parçacıkların büyüklükleri ve şekli, bu parçacıkların birbirleriyle etkileşimleri ile ilgili bilgi, yüzey etkileşim özellikleri, elektriksel yük, manyetiklik, nanomekanik özellikler, aşınma, korozyon,

pürüzlendirme, sürtünme, kayganlaştırma, kaplama ve cilalama ile ilgili bilgiler sağlar. Ayrıca Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanarak örneği oluşturan molekül ve elementlerin bileşimi, bunların relatif miktarları ve maddelerin erime noktaları, sertliği gibi bazı maddesel özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Bunların yanında örneği oluşturan maddelerin elektriksel özellikleri (örneğin iletkenlik) gibi kristalografik bilgi de veren AFM görüntüleri elde edilebilir [46].

Bu tez çalışmasında numunelerin yüzey özellikleri Resim 5.1’ de fotoğrafı görülen AFM cihazı ile elde edilmiştir.

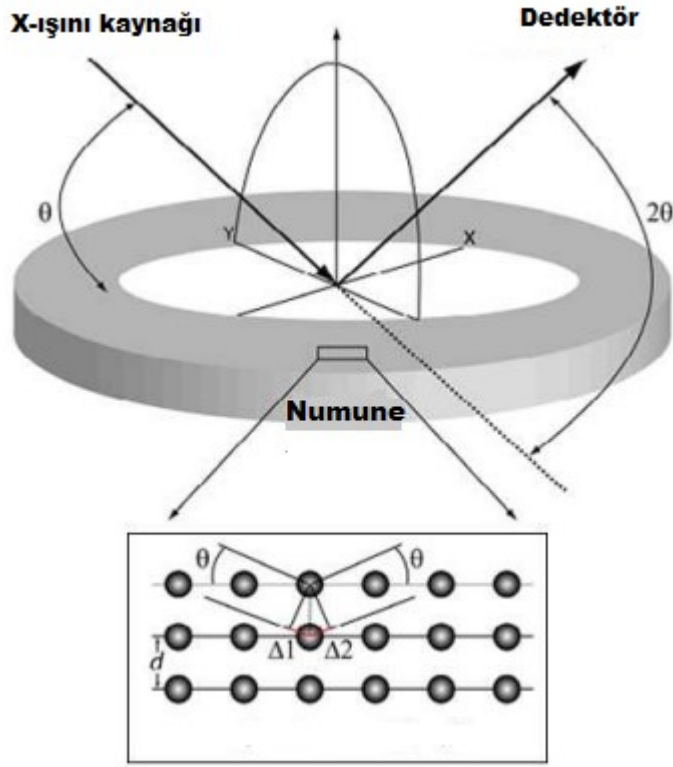


Resim 5.1. AFM (Nanomagnetics Instruments AFM Controller) cihazı

5.2.2. X - Işını analizi (XRD)

X–ışınları 1895’ te Alman fizikçi Wilhelm Conroad Röntgen tarafından keşfedilmiş ve bu tarihte sahip olduğu özellikler bilinmediği için bu elektromanyetik dalgalara “X-ışınları” denilmiştir. X-ışını analizi (XRD, X-Ray Diffraction), kristal özelliklerinin karakterizasyonu, bileşimler ve malzemelerin gerilim durumunu analiz etmek için kullanılan numuneye zarar vermeyen bir ölçüm tekniğidir [47].

XRD kaynağından çıkan X-ışınları numune ile etkileşime girer. Daha sonra, kristal yüzey atomlarından belirli Bragg açılarındaki kırınımına uğrayan karakteristik ışınlar bir dedektör tarafından sayılır.

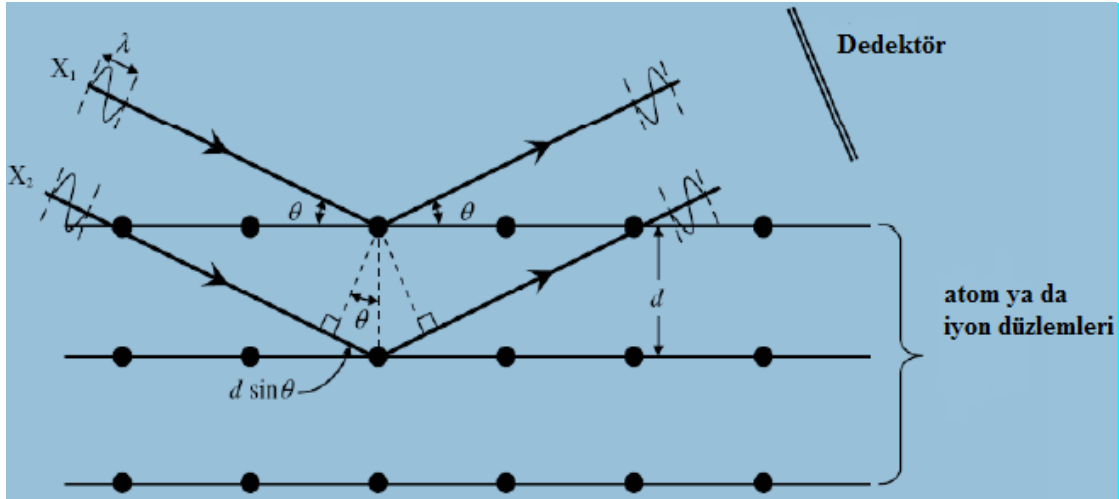


Şekil 5.2. XRD geometrisinin şematik gösterimi. Altındaki görüntü X-ışınının izlediği farklı yolları kullanarak Bragg kırınımını göstermektedir [47].

Bragg gelme açısı θ , X-ışını dalga boyu λ , ve atomlar arası mesafe olan d arasındaki ilişki Bragg eşitliği olan;

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (5.1)$$

ile verilmektedir. Burada n bir tamsayıdır.



Şekil 5.3. Bir kristal düzlemde X-ışını kırınımı meydana gelmesi

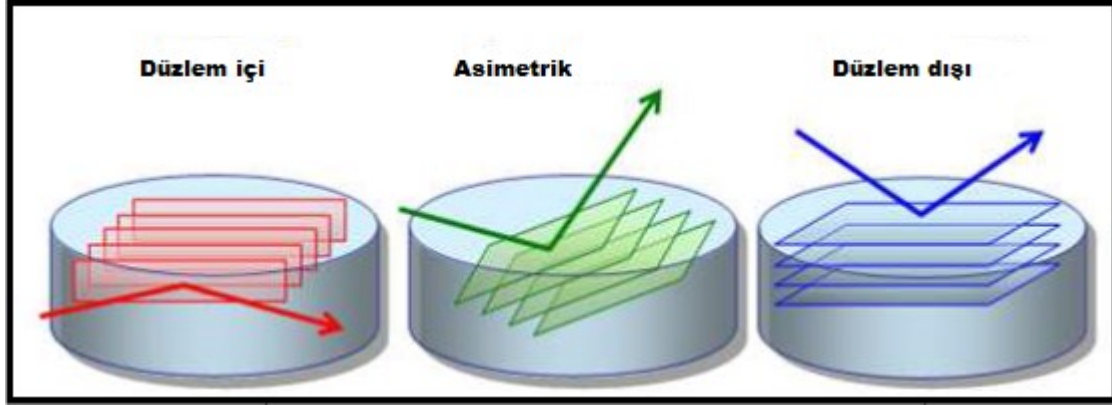
Kırınım için X-ışını kaynağı olarak birçok malzeme için 0.15 ile 0.4 nm arasında olan 0.154 nm' ye sahip CuK α kaynağı kullanılır. X-ışını kaynağından numune üzerine ω açısıyla gelen ışın dedektör üzerine 2θ açısıyla düşer. Böylece dedektör θ' dan 2θ açısına kadar kırınıma uğrayan ışınım şiddetlerini kaydeder. Sonuç olarak elde edilen şiddet - 2θ deseninin referans desenle karşılaştırılmasıyla ölçülen numunenin pik pozisyon açısı belirlenerek ölçüm gerçekleştirilir. Ölçüm sonucu piklerin pozisyonlarının referans değerden daha küçük olmaları deneysel hata kabul edilir. Sistem zaman zaman Si referans örneği ile kalibre edilerek bu deneysel hataların minimuma indirilmesi sağlanır.

Bir numuneye ait parçacık boyutunu;

$$\text{parçacık boyutu} = \frac{\kappa\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (5.2)$$

Scherrer denklemi ile hesaplanır. Burada $\kappa=0.9$, β ilgili pikin maksimum şiddetinin yarı genişliği ve λ kullanılan X-ışınının dalga boyudur. XRD pikinin yarı genişliği (β) parçacık büyüklüğü ile ilgilidir. İyi bir kristal kalitesi için β birkaç arc-sec' dir.

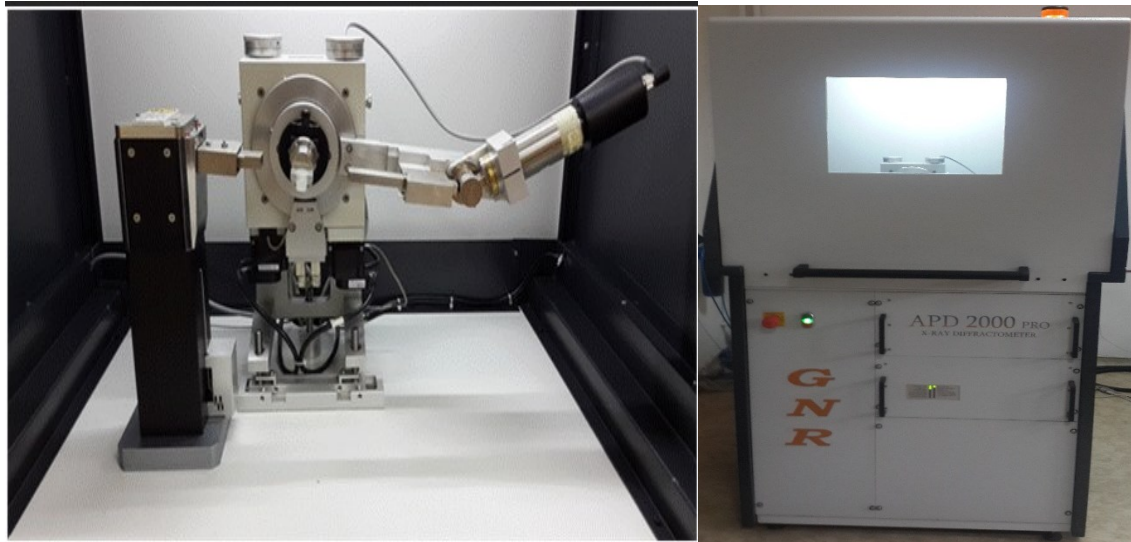
XRD tekniği ince film, toz, sıvı gibi birçok malzeme için çeşitli uygulama alanına sahiptir. Buna ek olarak, XRD tekniği ince film kalınlık analizi, yoğunluk-pürüzlülük saptanması, faz tanımı, partikül genişliği (grain size) hesapları yapılmasına da imkan sağlar. Ayrıca XRD kullanıcıları ultra ince filmlerin karakterizasyonu için, düzlem içi, asimetrik ve düzlem dışı gibi yönelim ölçümleri alabilir.



Şekil 5.4. Çeşitli yönelimlerdeki kristal düzlemleri [48]

Alttaş üzerinde bulunan amorflaşan bölümler, yapısal bozulmalar ve kusurlar yüzünden XRD şiddet piklerinde genişleme olabilir [49]. Buna rağmen XRD diğer tekniklere nazaran daha hızlı bir analiz sağlar ve malzeme analizinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Bu tez çalışmasında kullanılan X-ışını kırınımı ölçümleri Resim 5.2' de gösterilen $\text{CuK}\alpha 1$ ($1.540 \text{ \AA}$) kaynaklı APD.2000 PRO XRD cihazı kullanılarak elde edildi.



Resim 5.2. $\text{CuK}\alpha 1$ ($1.540 \text{ \AA}$) kaynaklı APD 2000 PRO XRD cihazı

5.2.3. UV-Vis spektrometresi

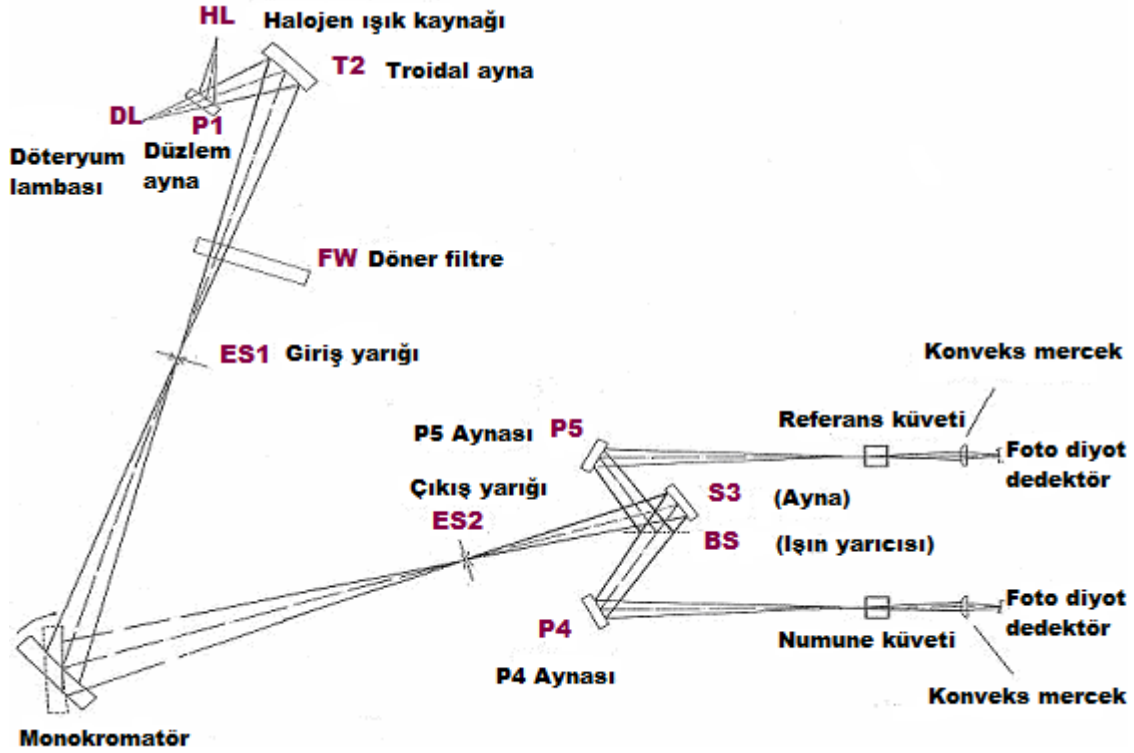
Ultraviyole- görünür spektroskopi (UV-Vis veya UV\Vis), ince filmlerin morötesi- görünür spektral bölgedeki optik soğurma, geçirgenlik veya yansıma spektrumlarının belirlenmesine imkan verir.

Bu tez çalışması için büyütülen ince filmlerin optiksel karakterizasyonunda kullanılan Lambda 2s Perkin Elmer UV-Vis spektrometre cihazı Resim 5.3'de gösterilmektedir. Bu cihazın spektral ölçüm aralığı 200-1100 nm'dir.



Resim 5.3. Perkin Elmer Lambda 2s UV-Vis Spektrometre Cihazı

Perkin Elmer Lambda 2s UV-Vis spektrometre cihazının optik çalışma prensibi şematik olarak Şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Perkin Elmer Lambda 2s UV-Vis Spektrometre Cihazı Optik Yolları

Cihazda kullanılan monokromatörün konkav ağ çizgilerinin sıklığı 1053 çizgi/nm'dir. P1 düzlem aynasının pozisyonu mekanik bir kol ile değiştirilebilir.

Monokromatör normal durumdayken DL Döteryum lambası kilitletir ve Halojen ışık kaynağından çıkan ışınlar (T2) troidal ayna üzerine yansıtılır. Işık kaynakları P1 aynasının özel pozisyonundan dolayı belirli bir dalga boyunda monokromatöre ile eş zamanlı olarak çalışır. Işınlar T2 aynası tarafından odaklanır ve döner filtre (FW) içinden geçerek giriş yarığı ES1 üzerine düşer. Döner filtreler farklı optik özelliklere sahip filtrelerden oluşmuştur. Bunlar monokromatörle eş zamanlı çalışırlar. Filtreler monokromatöre ulaşan bir dizi dalgaboylarını sınırlar ve bu nedenle sapan ışımaları azaltıcı etki gösterirler.

Işınlar ES1 giriş yarığından geçerek monokromatöre ulaşır. Gelen ışınlar monokromatör tarafından spektral olarak dağıtılıp ES2 çıkış yarığına buradan geçen ışınlar BS ışın yarıcısı üzerine yansıtılır. Işın yarıcısı ışınların %50'sini P4 düzlem aynası %50'sini de P5 düzlem aynası üzerine yansıtır. P4 aynası ışınları içinde numunenin bulunduğu küvete P5 aynası ise referans küvet üzerine odaklar. Daha

sonra numune ve referans küvetinden geçen ışınlar foto-diyot dedektör üzerine basit bir konveks tarafından odaklanır.

Spektrometre ile ölçülen optiksel geçirgenlik (transmittance) spektrumundan, d kalınlıklı bir ince film numunesinin optik soğurma katsayısı:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln(T) \quad (5.3)$$

ile hesaplanabilir. Direk bant aralığına sahip yarıiletken malzemelerde optik soğurma katsayısı ile enerji bandı (E_g) arasındaki ilişki:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (5.4)$$

olarak verilir. Burada B bir sabit, $h\nu$ ise gelen fotonun enerjidir.

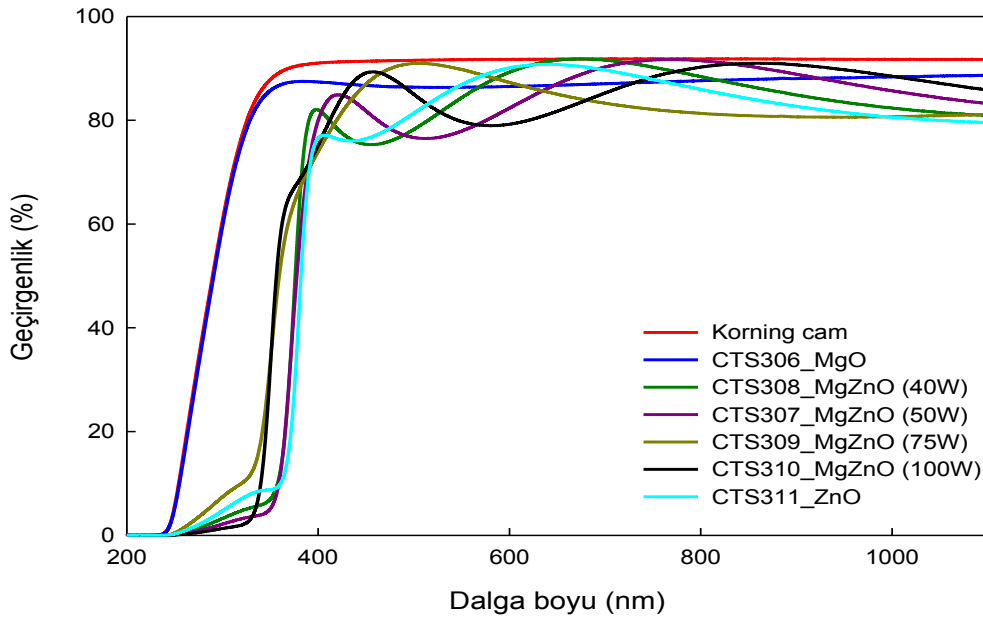
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Optik Analizleri

Korning cam, silikon ve safir alttaşlar kullanılarak büyütülen MgO, MgZnO ve ZnO ince filmlerinin optik geçirgenlik ve soğurma spektrumlarının analizleri UV-Vis spektrometre ile ölçüldü.

6.1.1. Korning cam alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin Optiksel analizleri

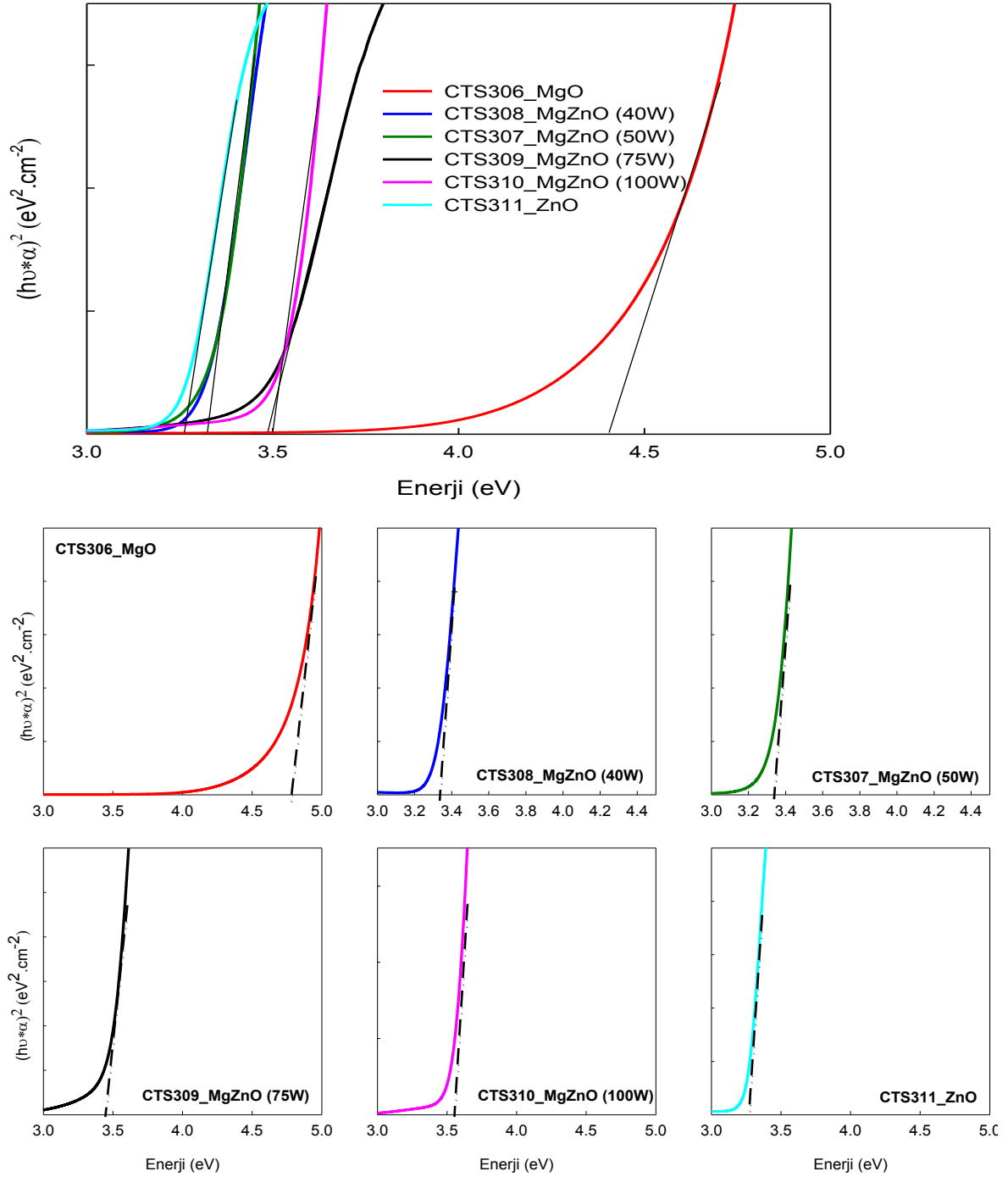
Şekil 6.1 MgO, ZnO ve MgZnO ince filmlerinin 200-1100 nm dalgaboyu aralığında ölçülen geçirgenlik spektrumları verildi.



Şekil 6.1. Korning cam alttaş kullanılan MgZnO filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik spektrumu

Mg bileşimi artan filmlerde soğurma kenarının daha düşük dalga boylarına kaydığı görüldü. Bu durum Mg katkısının fazla olduğu alanlarda MgZnO filmlerin kristalitesinin bozulduğunu düşündürmektedir. Bütün filmler keskin bir soğurma kenarı ve görünür bölgede yaklaşık %80 geçirgenlik sergilemektedirler. Buda MgZnO filmlerin iyi bir optiksel geçirgenliğe sahip olduğunu gösterir.

Şekil 6.2 korning cam alttaşı kullanılan MgZnO filmlerin bant aralığı hesapları için foton enerjisine karşı $(h\nu \cdot \alpha)^2$ çizilen eğriyi göstermektedir. Soğurum katsayısı (α) Şekil 6.1’ de gösterilen geçirgenlik spektrumundan hesaplandı.



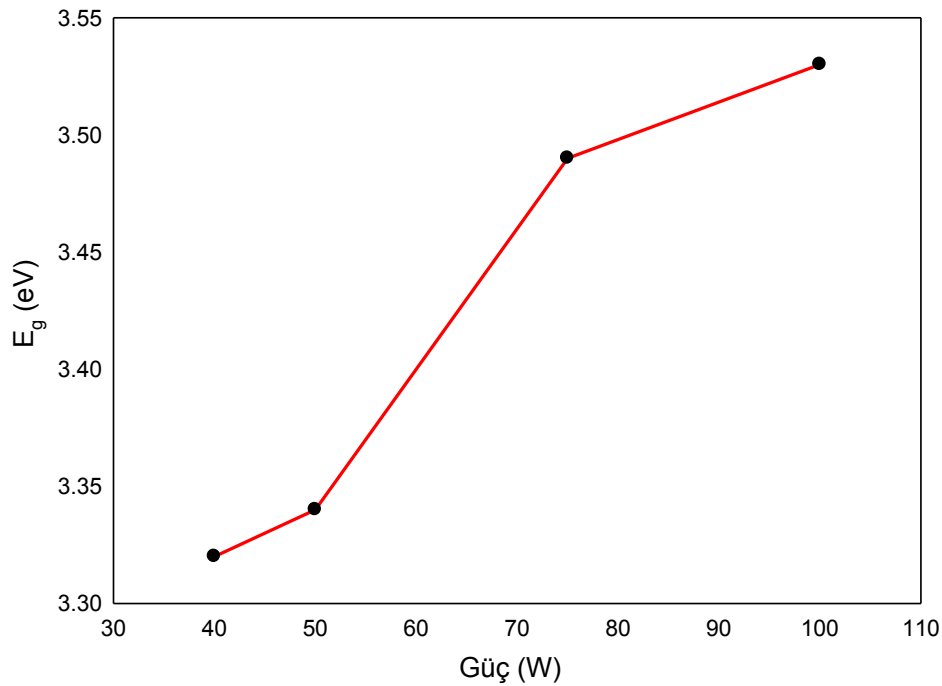
Şekil 6.2. Korning cam alttaşı kullanılan MgZnO filmlerin foton enerjisine karşı $(h\nu \cdot \alpha)^2$ 'nin spektrumları

MgZnO direkt bant aralığına sahiptir. Direkt geçiş durumunda soğurma katsayısı ile bant aralığı arasında

$$h\nu \cdot \alpha = A(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (6.1.)$$

bağıntısı vardır. Burada A bir katsayı $h\nu$ ise gelen fotonun enerjisidir. MgZnO filmlerin optik bant aralığı enerjisi, $(h\nu \cdot \alpha)^2$ nin $h\nu$ ye göre değişiminin doğrusal bölgesinin, doğrusal bölgeye fit edilmesiyle bulunabilir. Bu durumda, $(h\nu \cdot \alpha)^2=0$ olduğunda $h\nu$ eksenini kesen nokta bant aralığını verir.

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra korning cam alttaş üzerine kaplanan CTS306 (MgO), CTS308 (MgZnO_40W), CTS307 (MgZnO_50W), CTS309 (MgZnO_75W), CTS310 (MgZnO_100W) ve CTS311 (ZnO) filmlerin bant aralıkları sırasıyla 4,96, 3,32, 3,34, 3,49, 3,53 ve 3,26 olarak bulunmuştur. Hesaplanan bant aralığı sonuçlarından Mg katkısı arttıkça bant aralığının da attığı görüldü (Şekil 6.3).



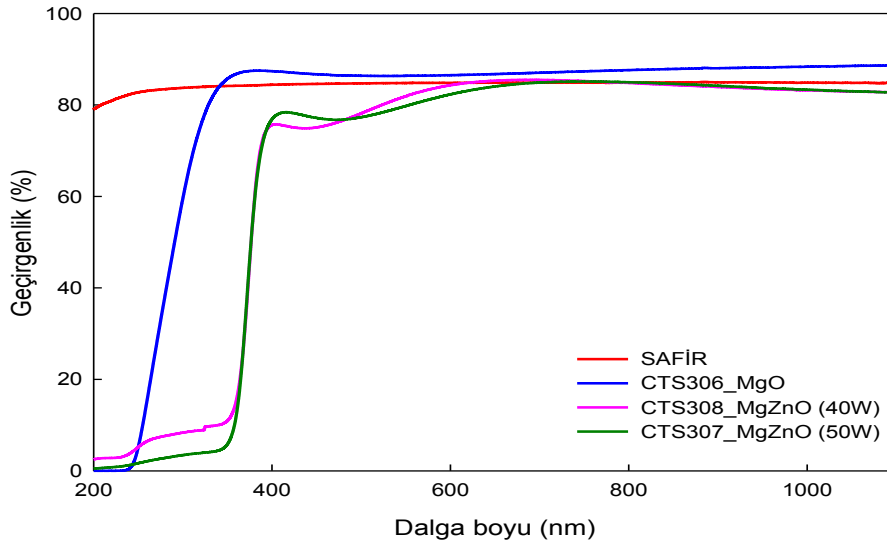
Şekil 6.3. MgO'ın farklı RF güçlerinde püskürtülmesi ile üretilen MgZnO filmlerinin RF gücüne bağlı olarak enerji bant aralıkları değişimi

Bant aralığının, RF gücüne bağlı olarak değişimi lineer olmamaktadır. Bu ise MgZnO filminin oluşumunda Mg atomlarının örgü içerisine dahil olmasının sadece püskürtme gücü ile orantılı olmadığını bir göstergesidir.

6.1.2. Safir alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerin Optiksel analizleri

Şekil 6.1 incelendiğinde MgO'nun geçirgenlik bant kenarının korning cam ile üst üste geldiği görülmektedir. Bu durum MgO'nun gerçek UV soğurma bant kenarının doğru olarak belirlenmesinde problem oluşturma ihtimalini düşündürmektedir. Bu nedenle UV soğurması daha düşük dalga boyunda olan safir alttaş MgO ve bazı MgZnO filmleri büyütüldü.

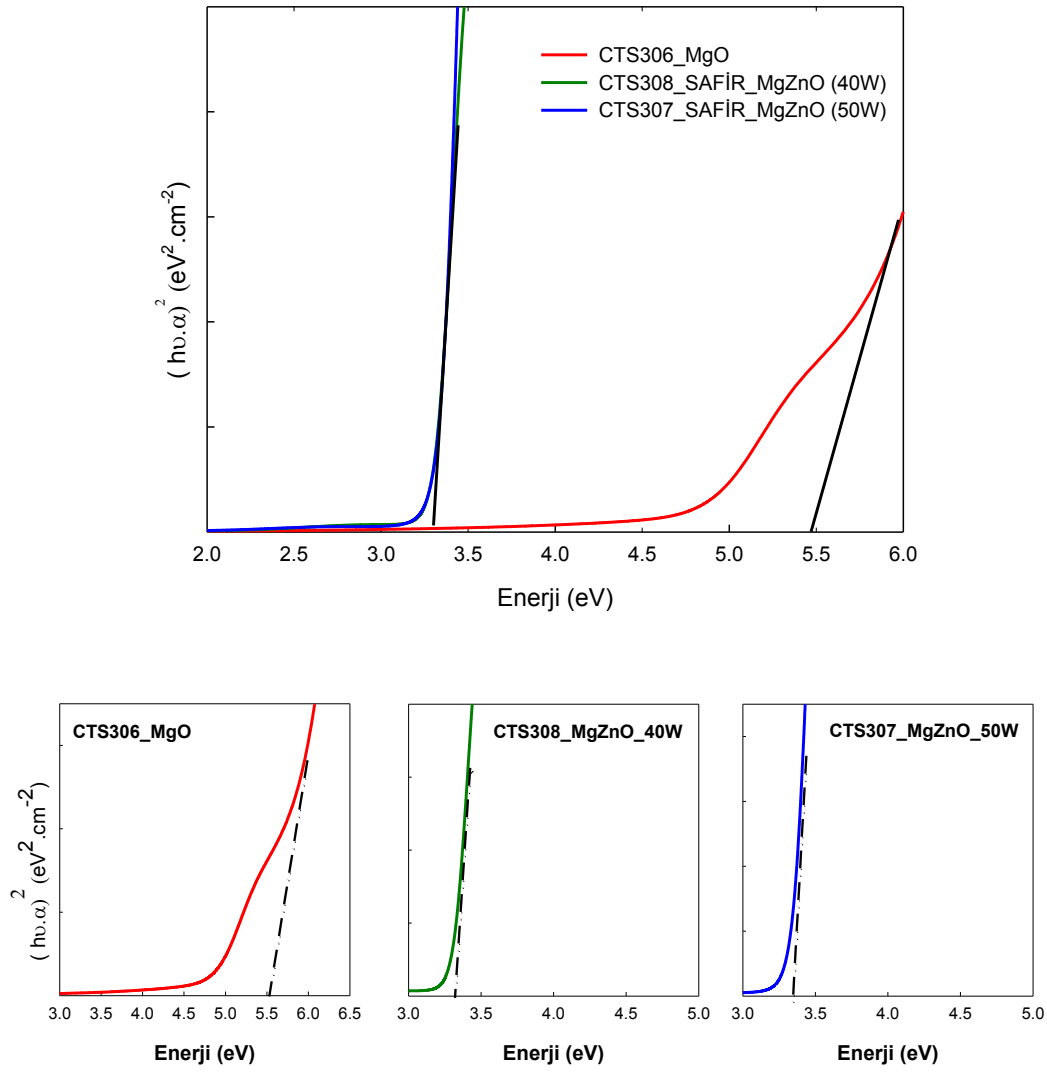
Üretilen MgO ve MgZnO ince filmlerinin 200-1100 nm dalga boyu aralığında ölçülen geçirgenlik spektrumları Şekil 6.4'de verildi.



Şekil 6.4. Safir alttaş kullanılan MgZnO filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik spektrumu

Korning camda olduğu gibi Mg bileşimi artan filmlerde soğurma kenarının daha düşük dalga boylarına kaydığı görüldü. MgZnO filmler keskin bir soğurma kenarı ve görünür bölgede yaklaşık %75 geçirgenlik sergilemektedirler.

Şekil 6.5 safir alttaş kullanılan MgZnO filmlerin bant aralığı hesapları için foton enerjisine karşı $(h\nu \cdot \alpha)^2$ çizilen eğriyi göstermektedir. Soğurma katsayısı (α) Şekil 6.4' de gösterilen geçirgenlik spektrumundan hesaplandı.



Şekil 6.5. Safir alttaş kullanılan MgZnO filmlerin foton enerjisine karşı $(h\nu.\alpha)^2$ 'nin spektrumları

Aynı şekilde safir alttaş kullanılan CTS306 (MgO), CTS308 (MgZnO_40W), CTS307 (MgZnO_50W) filmlerin bant aralıkları sırasıyla 5,5, 3,30, 3,33 olarak bulundu. Bu seride korning camda olduğu gibi artan Mg katkısıyla bant aralığı artışı gözlemlendi. Ayrıca MgO için 40 ve 50 W RF gücünde büyütülen (ZnO RF gücü tüm kaplamalarda 100W'tır) MgZnO filmlerinin bant aralıkları, korning cam ve safir üzerine büyütülmüş durumları için, yaklaşık olarak eşittir. Safir üzerine büyütülen MgO için elde edilen bant enerji değeri, 50W RF gücünde MgO filminin korning cam üzerine büyütülmesi durumunda, gerçek bant aralığının belirlenemeyeceğini göstermektedir.

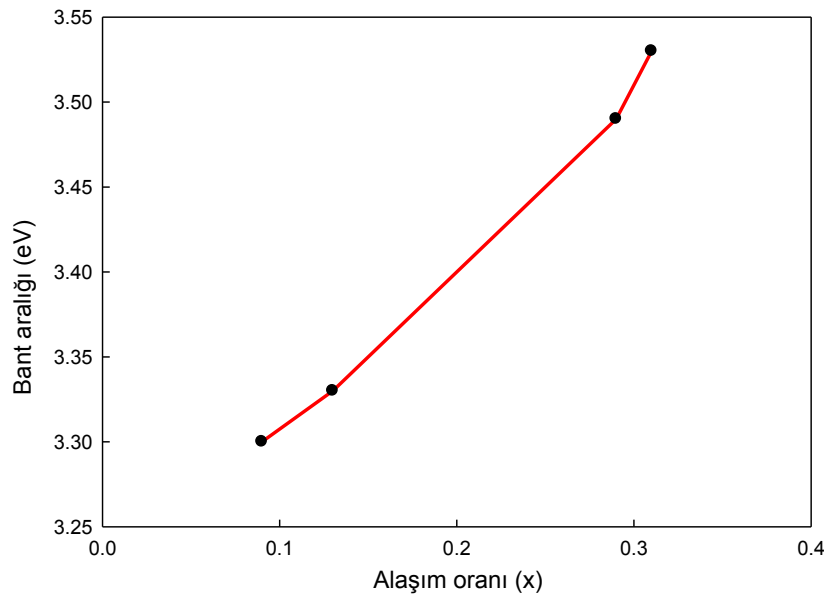
Enerji bant aralıkları kullanılarak MgZnO filmlerindeki Mg oranı Vegard yasası kullanılarak tahmin edildi. Bilindiği gibi MgZnO filmlerinin enerji bant aralığı değişimi

lineer değildir ve bükülme parametresi (b) wurtzite yapı için 2,01 eV, kübik yapı için ise 1,48 eV'dir [50]. Bu b parametresi kullanılarak,

$$E_g(\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}) = E_g(\text{MgO}) + (1-x)(\text{ZnO}) - x(1-x)b \quad (6.2)$$

ifadesinden x alaşımlanma oranı [51], CTS308, CTS307, CTS309 ve CTS310 için sırasıyla $x=0,09$, $0,13$, $0,29$ ve $0,31$ olarak belirlendi.

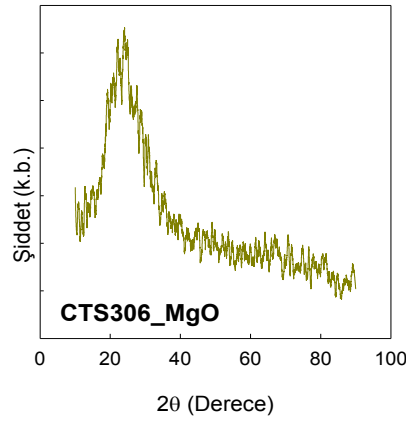
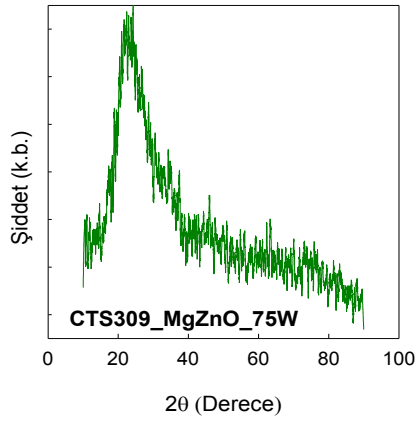
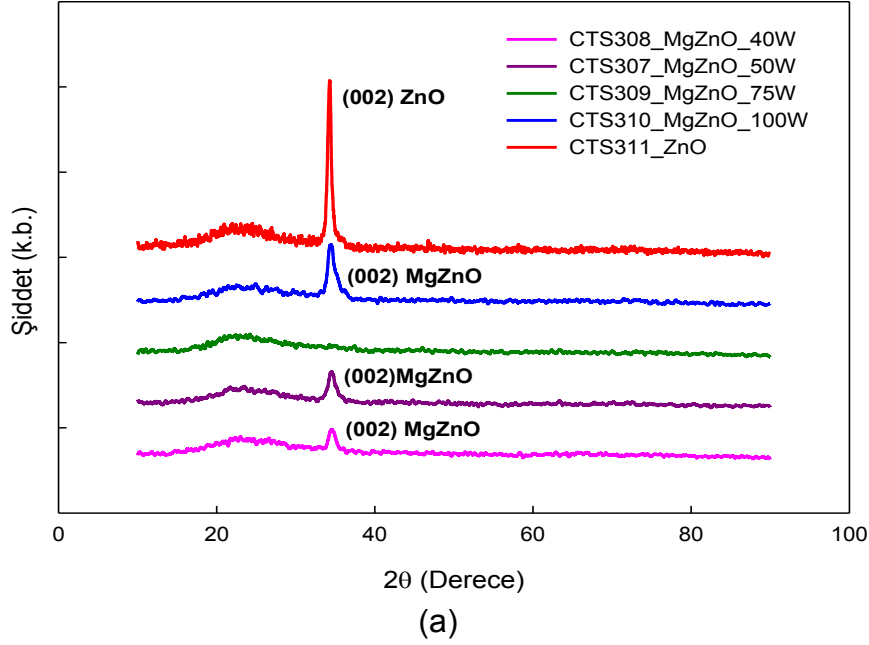
Elde edilen alaşımlanma oranına göre enerji aralığının değişimi Şekil 6.6'da verildi. Bant aralığının alaşımlanma oranına göre, RF gücündeki duruma benzer bir şekilde, lineer olarak değişmediği, parabolik davranış gösterdiği belirlendi.



Şekil 6.6. Büyütülen $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ filmlerinin enerji bant aralıklarının alaşımlanma oranına (x) göre değişimi

6.2. XRD Spektrum Analizleri

6.2.1. Korning cam alttaşı üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri



Şekil 6.7. Korning cam alttaşı kullanılan MgZnO ve ZnO ince filmlerin XRDspektrumları

Şekil 6.7 korning cam alttaşı üzerine büyütülen MgZnO (Şekil 6.7 (a)), MgO (Şekil 6.7 (b)) ve ZnO (Şekil 6.7 (a)) ince filmlerin XRD spektrumlarını göstermektedir. Ayrıca CTS309_MgZnO ve CTS 306_MgO numunelerinin XRD desenleri amorf yapıda büyüme gösterdikleri için ayrı grafiklerde verilmiştir. Katkısız ZnO filminin XRD desenine göre $2\theta=34,249^\circ$ (002) düzleminde hegzagonal wurtzite

yapısındadır. CTS309_MgZnO (75 W) ve CTS306_MgO (120 W) filmleri amorf yapıda büyümüş ve dolayısıyla bu filmlerde MgO ve MgZnO piklerine rastlanmamıştır.

Mg katkılı ZnO ince filmler sadece katkısız ZnO' da olduğu gibi ZnO' ya ait (002) pikini gösterdi. Bu bileşim oranlarında MgZnO' nun yapısı ZnO' nun yapısıyla aynıdır, hegzagonaldır. Çünkü, çinko ve magnezyumun iyon yarıçap değerleri yaklaşık olarak aynıdır (sırasıyla 0,74 ve 0,71 Å) [52] . Dolayısıyla her bir iyonun yer değiştirmesinden kaynaklanan gerilme esnek rahatlatılmış olabilir.

MgZnO ince filmlerin XRD spektrumlarına bakıldığında artan RF gücü dolayısıyla artan Mg katkısıyla (002) pik şiddetinin arttığı görülmektedir. Bu değişim Mg katkısı arttıkça düzlem boşluğunun daraldığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Filmlerin FWHM değerleri ve Eş.5.2' de verilen Scherrer ifadesi ile hesaplanan partikül büyüklüğü Çizelge 6.1' de verildi.

Çizelge 6.1. Korning cam alttaş üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri

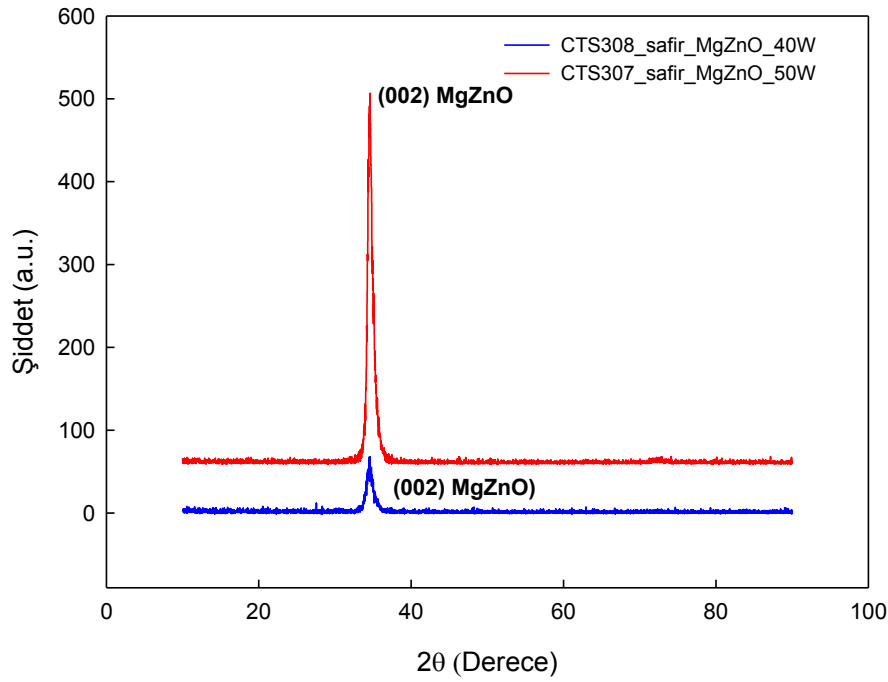
Numune adı	RF gücü (W)	2θ (°)	FWHM (nm)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS306_MgO	120	-	-	-
CTS308_MgZnO	40	34,57	0,86	9,66
CTS307_MgZnO	50	34,53	0,84	9,85
CTS309_MgZnO	75	-	-	-
CTS310_MgZnO	100	34,46	0,78	10,76
CTS311_ZnO	100	34,24	0,50	16,59

Çizelge 6.1'e bakıldığında, MgZnO filmlerde RF gücü arttıkça partikül büyüklüğünün de arttığı görüldü. CTS306 ve CTS309 numunelerinde pik gözlenemediğinden dolayı FWHM ve partikül büyüklükleri hesaplanamadı.

Püskürtme metodunda RF gücü arttığında, plazma ortamındaki pozitif iyon ve elektron sayısı da artmaktadır. Diğer bir ifadeyle hedef malzemeden koparılan partiküllerin kinetik enerjisi artar ve böylece daha fazla yüzey difüzyonu

oluşacağından partikül büyüklüğü de artar. Ayrıca RF gücünün artmasıyla oluşan yüksek enerjiye sahip olan elektronlar alttaş üzerinde oluşan film yüzeyini bombardıman ederek yüzeye ısı aktarır. Bu durumda yüzey mobilitesini artırır ve film kristalliliğine olumlu katkı sağlanır.

6.2.2. Safir alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri



(a)

Şekil 6.8. Safir alttaş kullanılan MgZnO ve ZnO ince filmlerin XRD spektrumları

Şekil 6.8’de safir alttaş üzerine büyütülen MgZnO (Şekil 6.8 (a)), MgO (Şekil 6.8 (b)) ince filmlerin XRD spektrumlarını göstermektedir. CTS308 adlı numune $2\theta=34,56^\circ$ (002) MgZnO pikine sahiptir. CTS 307 adlı numune ise $2\theta=34,61^\circ$ (002) MgZnO pikine sahiptir. Mg katkısı az da olsa artan numunede pik daha şiddetli ve daha büyük açığa kaydı olduğu görüldü. CTS 306 numune $2\theta=41,62^\circ$ (200) MgO pikine sahip hegzagonal wurtzite yapıda olduğu görüldü. Filmler için FWHM değerleri ve Eş.5.2’de verilen Scherrer ifadesi ile hesaplanan partikül büyüklükleri Çizelge 6.2’de verildi.

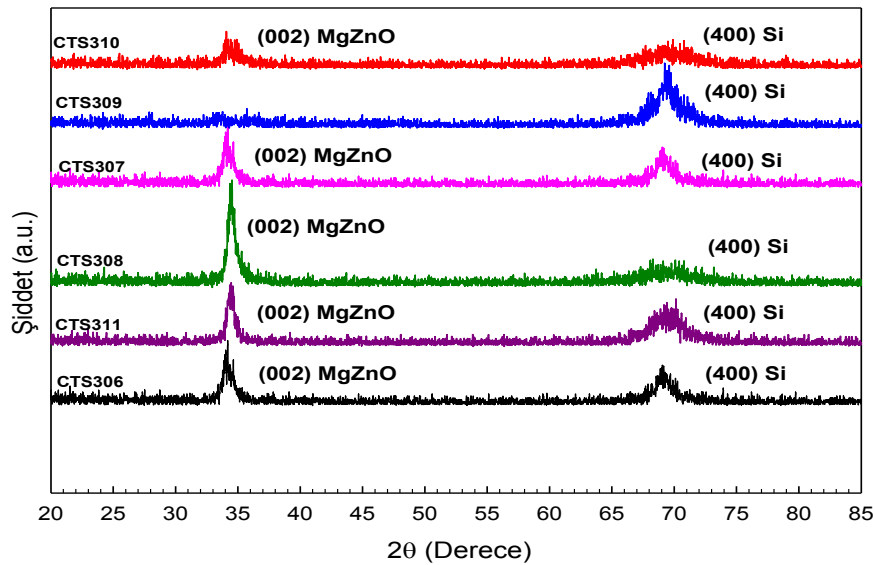
Çizelge 6.2. Safir alttaş üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri

Numune adı	RF gücü (W)	2 θ (°)	FHWM (nm)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS306_MgO	120	41,62	0,64	13,12
CTS308_MgZnO	40	34,56	0,93	8,93
CTS307_MgZnO	50	34,61	0,64	12,23

Korning cam alttaş üzerine büyütülen numunelerde olduğu gibi RF gücü arttıkça partikül büyüklüğünün de arttığı görüldü.

Bu çalışmada büyütülen numunelerin ZnO yapısında hegzagonal wurtzite yapıda büyüdüğü gözlemlendi.

6.2.3. Silikon alttaş üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin XRD analizleri



Şekil 6.9. Silikon alttaş kullanılan MgZnO, MgO ve ZnO ince filmlerin XRD spektrumları

Şekil 6.9’da silikon alttaş üzerine büyütülen MgO, ZnO ve MgZnO filmlerinin XRD spektrumu verilmiştir. Bütün numunelerde $2\theta=69,1$ (400) Si alttaş piki gözlenmiştir. CTS306_MgO filminde MgO piki gözlenmeyip sadece Si piki gözlemlendi. MgZnO ince filmlerde ikişer adet pik gözlemlendi. Bunlardan ilki MgZnO piki diğeri ise Si pikidir.

Ancak CTS309_75W MgZnO numunesinde MgZnO yapısı oluşmamış sadece Si piki gözlenip MgZnO piki gözlenmemiştir. Safir ve korning cam alttaşı kullanılan filmlerde olduğu gibi Si alttaşı üzerine büyütülen numuneler de hegzagonal wurtzite yapıda büyüdüğü görüldü. Şekil 6.9'da görüldüğü gibi MgZnO ince filmlerinde RF gücü arttıkça pik şiddetinin azaldığı görülmektedir. Her zaman RF gücünü artırmak kristalliği artırmayabilir. Bazen yüksek güç durumunda yüksek kinetik enerjiye sahip alttaşa gelen partiküller alttaşı yüzeyinde düzensiz büyüme gösterirler ve böylece kristalite bozulabilir.

Filmler için FWHM değerleri ve Eş.5.2'de verilen Scherrer ifadesi ile hesaplanan partikül büyüklükleri Çizelge 6.3'de verildi.

Çizelge 6.3. Silikon alttaşı üzerine büyütülen filmlerin yapısal parametreleri

Numune adı	RF gücü (W)	2θ (°)	FWHM (nm)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS306_MgO	120	-	-	-
CTS308_MgZnO	40	34,48	0,56	14,69
CTS307_MgZnO	50	34,54	0,68	12,10
CTS309_MgZnO	75	-	-	-
CTS310_MgZnO	100	34,58	1,20	6,89
CTS311_ZnO	100	34,44	0,63	13,06

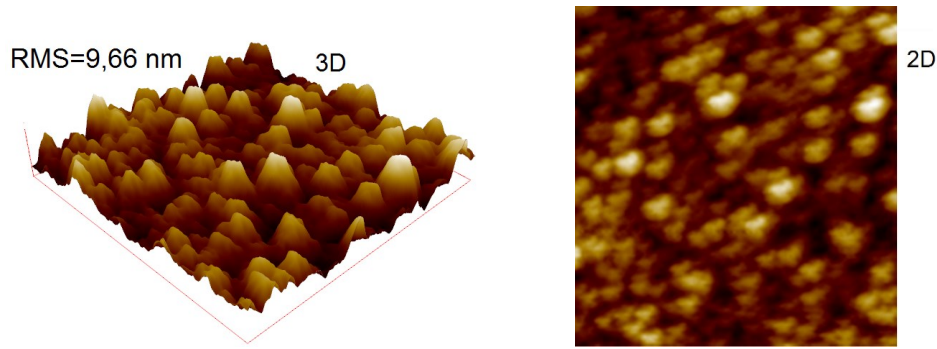
MgZnO filmlerde RF gücü arttıkça 2θ değerinin arttığı ve parçacık büyüklüğünün azaldığı gözlemlendi. Ayrıca kırınım piklerinin FWHM değerlerinin de RF gücüne bağlı olarak arttığı görüldü. Bu durum, MgZnO filminin oluşmasına rağmen artan RF gücüyle kristalitenin artmadığı şeklinde yorumlandı. Ayrıca parçacık büyüklüğü açısından değerlendirildiğinde; alttaşa bağlı partikül büyüklüğünde standart bir değişim gözlenmedi.

6.3. AFM Analizleri

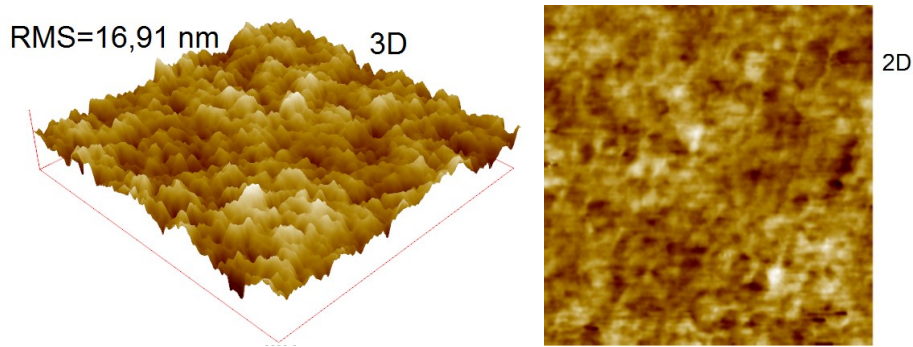
Yüzey morfolojisi, geliştirilecek cihazların performansı için oldukça önemli bir faktördür. Yüzeyin düzgün olmaması tabakalar arasında bozulmalara sebep olabilir. Dolayısıyla elde edilen filmlerin tanecik büyüklükleri ve yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi gereklidir.

6.3.1. Korning cam alttaş üzerine kaplanan filmlerin AFM analizleri

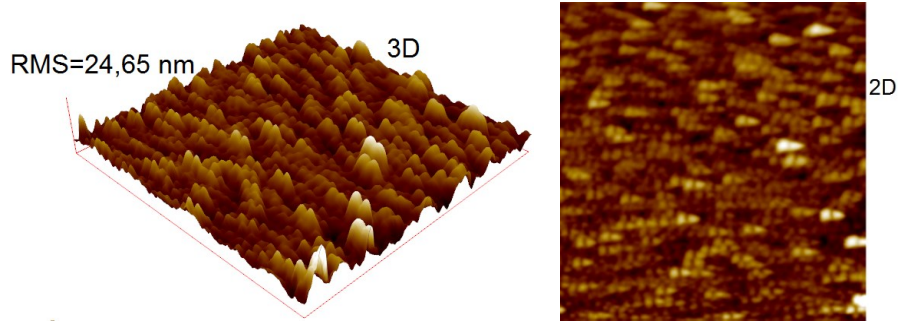
Korning cam alttaşlar üzerine büyütülen filmlerin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ ’lik yüzey alanı taranarak gerçekleştirilen yüzey analizi görüntüleri 2D (iki boyutlu) ve 3D (üç boyutlu) olarak Şekil 6.10-12’de verildi.



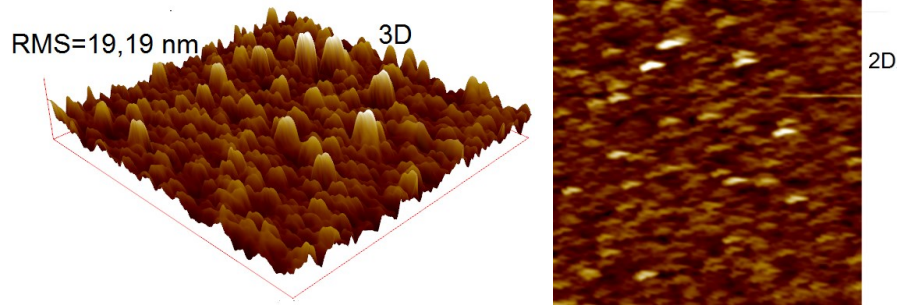
Şekil 6.10. Korning cam alttaş üzerine büyütülen MgO ince filminin AFM görüntüleri



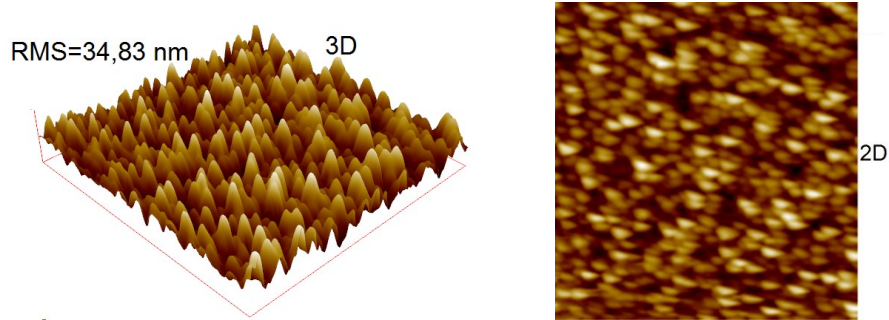
Şekil 6.11. Korning cam alttaş üzerine büyütülen ZnO ince filminin AFM görüntüleri



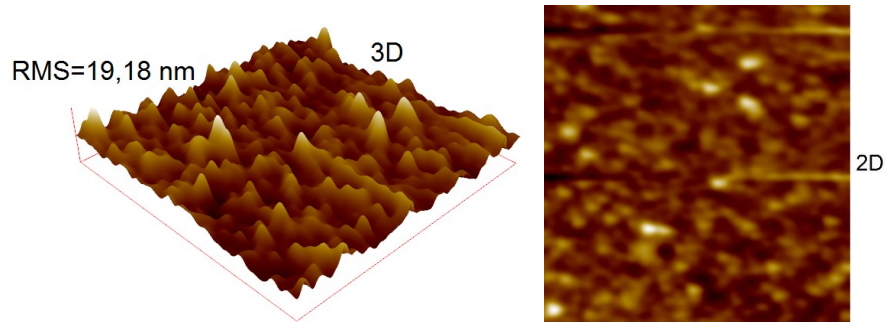
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.12. (a) 40W, (b) 50W, (c) 75W, (d) 100W RF gücünde korning cam alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerinin AFM görüntüleri

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntülerinden bütün numune yüzeylerinin ZnO ve MgZnO filmleri için literatürde mevcut yapılara benzerlik içerdiği görülmektedir. MgO filminin yüzey pürüzlülüğü 9,7 nm ile büyütülen filmlerin içerisinde en iyi düşük değere sahiptir. Filmlerin yüzey pürüzlülüklerinin 19nm-35nm aralığında değiştiği belirlendi; ancak, püskürtme gücüne göre pürüzlülük değişiminde bir standart gözlenemedi. Bununla birlikte korning cam alttaş üzerine yapılan MgZnO ince filmlerinde CTS309 adlı numune dışında RF gücü arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kök ortalama kare (RMS) değerlerinin azaldığı görüldü.

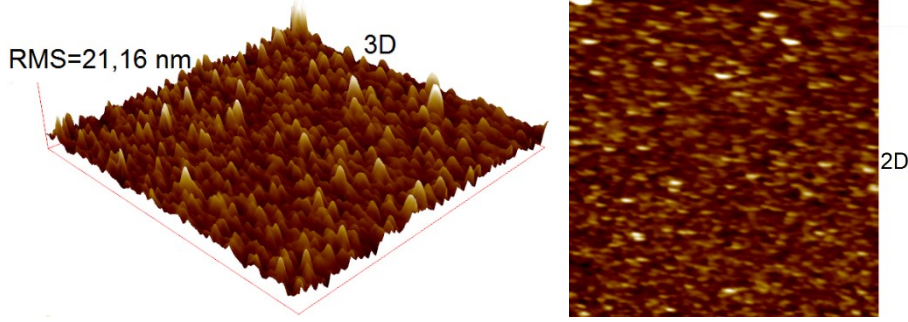
Numunelerin AFM analizinde kullanılan sistemin yüksek çözünürlüğü sayesinde numune yüzeyinde morfolojinin yanında parçacık büyüklüğünü belirlemek de mümkün olmaktadır.

Çizelge 6.4. Korning cam alttaş üzerine kaplanan MgZnO filmlerin RMS ve parçacık büyüklüğü değerleri

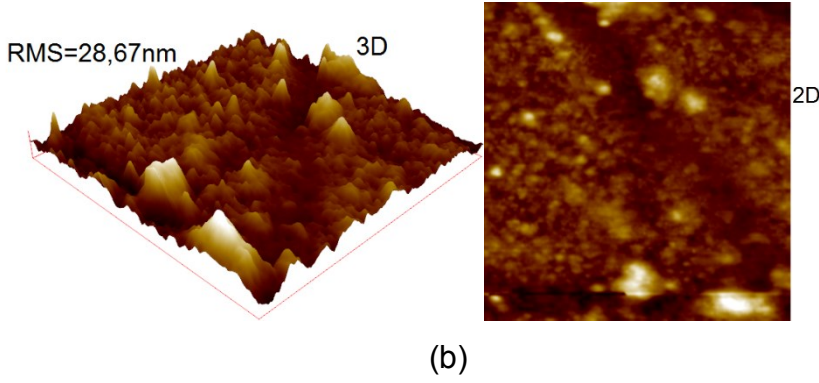
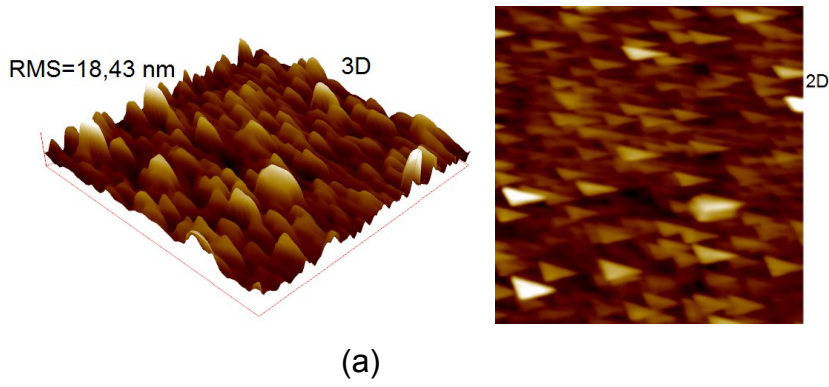
Numune adı	RF gücü (W)	RMS (nm)	Parçacık büyüklüğü
CTS308	40	2,323	44,21
CTS307	50	2,083	26,37
CTS309	75	5,663	51,91
CTS310	100	2,035	30,67
CTS306	120	1,591	95
CTS311	100	1,730	-

6.3.2. Safir alttaş üzerine kaplanan filmlerin AFM analizleri

Safir alttaşlar üzerine büyütülen filmlerin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile 3x3 μm^2 'lik yüzey alanı taranarak gerçekleştirilen yüzey analizi görüntüleri 2D (iki boyutlu) ve 3D (üç boyutlu) olarak Şekil 6.13-14'de verildi.



Şekil 6.13. Safir alttaş üzerine büyütülen MgO ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 6.14. (a) 40W, (b) 50W RF gücünde safir alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerinin AFM görüntüleri

Şekil 6.12-13'de gösterilen MgO ve MgZnO ince filmlerinin AFM görüntüleri, Filmlerin yüzey pürüzlülüklerinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Korning cam üzerine kaplanan numunelerde RF gücü arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kök ortalama kare (RMS) değerinin azaldığı görülmüştü. Safir alttaş üzerine kaplanan numunelerde ise bu durumun tersi gözlenmekte RF gücü arttıkça RMS değerinin arttığı gözlemlendi. MgZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülüklerindeki bu farklılıklar

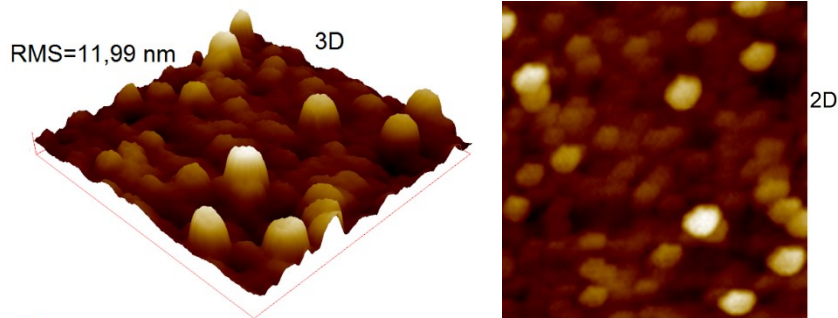
püskürtme tekniğindeki MgO ve ZnO. oranlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 6.5. Safir alttaş üzerine kaplanan MgZnO filmlerin RMS ve parçacık büyüklüğü değerleri

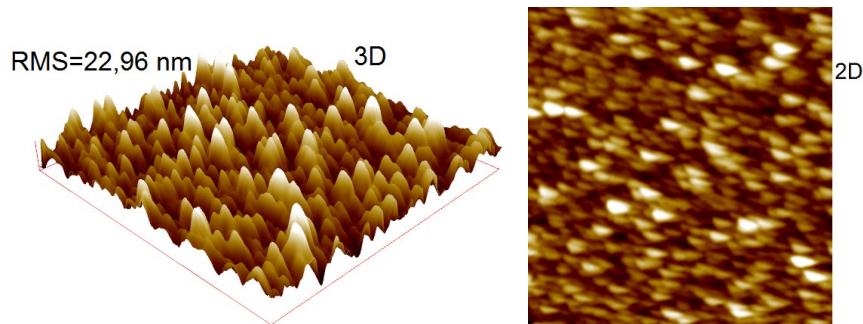
Numune adı	RF gücü (W)	RMS (nm)	Parçacık büyüklüğü
CTS308	40	2,226	52,73
CTS307	50	3,136	30,03
CTS306	120	1,597	16,94

6.3.3. Silikon alttaş üzerine kaplanan filmlerin AFM analizleri

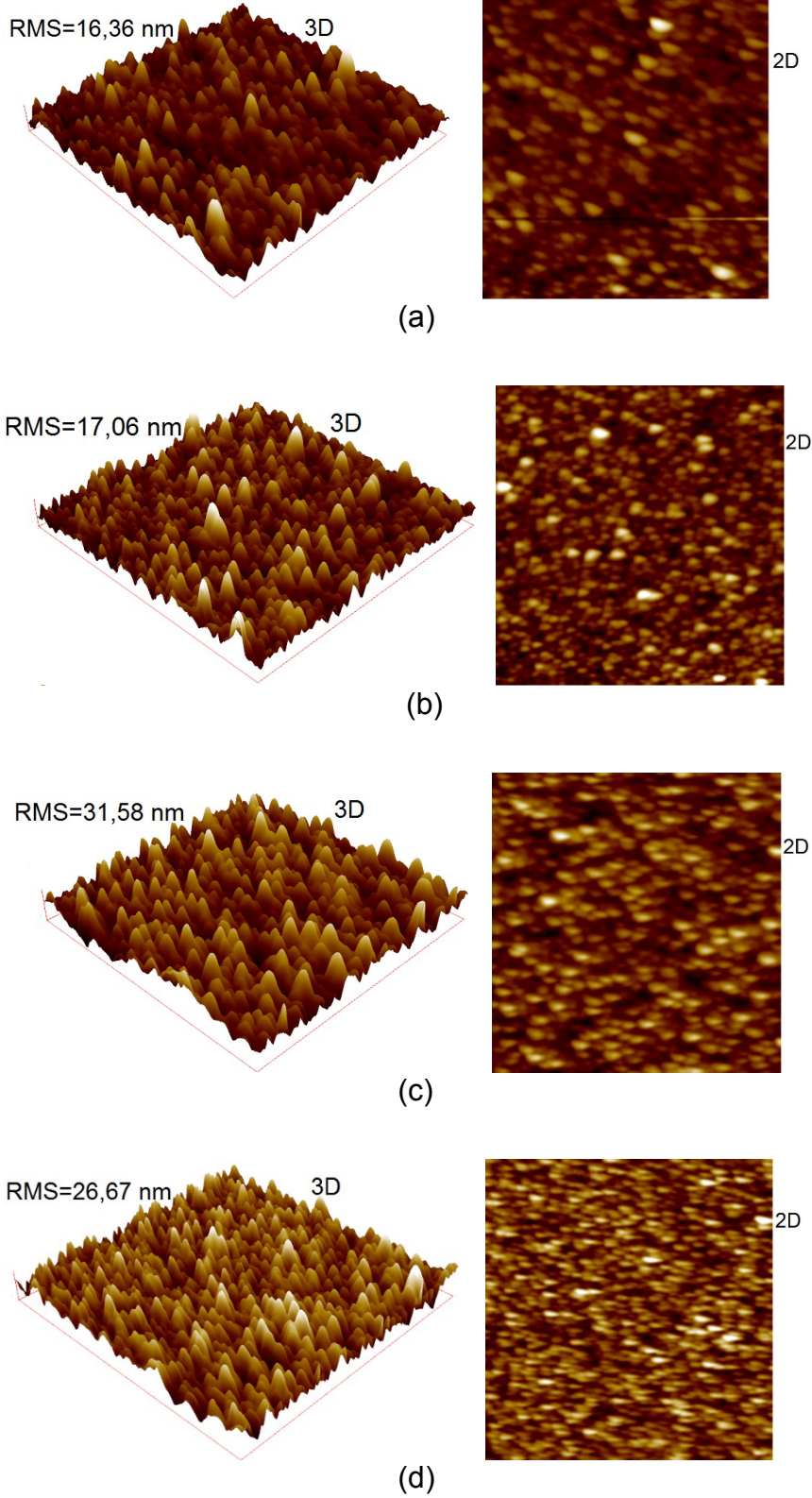
Silikon alttaşlar üzerine büyütülen filmlerin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ ’lik yüzey alanı taranarak gerçekleştirilen yüzey analizi görüntüleri 2D (iki boyutlu) ve 3D (üç boyutlu) olarak Şekil 6.15-17’de verildi.



Şekil 6.15. Silikon alttaş üzerine büyütülen MgO ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 6.16. Silikon alttaş üzerine büyütülen ZnO ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 6.17. (a) 40W, (b) 50W, (c) 75W, (d) 100W RF gücünde silikon alttaş üzerine büyütülen MgZnO ince filmlerinin AFM görüntüleri

Silikon alttaş üzerine kaplanan ince filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri (RMS) Çizelge 6.6'da verildi.

Silikon alttaş üzerine yapılan MgZnO ince filmlerin AFM analizlerinden numunelerin RF gücü artışıyla yüzey przllğnn korning cam alttaş üzerine büyütülen numunelerin aksine arttığı gözlendi. Bu durum, camsı yüzeyle üzerine metal-oksit yapıların tutunmasından kaynaklanabileceği şeklinde değerlendirildi. Bununla birlikte, korning cam, safir ve Si alttaşlar üzerine büyütülen MgO filminin yüzey przllğnn, sırasıyla, 9,66, 21,60, ve 11,99 nm olduğu dikkate alındığında, en düşük yüzey przllğnn korning cam üzerine büyütülen filme ait olduğu görülmektedir. Bunun alttaşın yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili olabileceği değerlendirildi.

Çizelge 6.6. Numunelere uygulanan RF gücü, RMS değerleri ve parçacık büyüklükleri

Numune adı	RF gücü (W)	RMS (nm)	Parçacık büyüklüğü
CTS308	40	1,883	42,85
CTS307	50	2,006	35,38
CTS309	75	4,638	37,98
CTS310	100	3,104	23,71
CTS306	120	1,741	146
CTS311	100	3,273	32,96

7. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında ilk olarak; MgZnO ince filmlerin hazırlanmasında Püskürtme (Sputtering) yöntemi tercih edildi. RF Magnetron Püskürtme sistemi ile MgO ve ZnO hedefleri (target) kullanılarak Si, korning cam ve safir alttaşlar üzerinde oda sıcaklığında farklı RF güç değerlerinde (40W, 50W, 75W, 100W) MgZnO, MgO ve ZnO ince filmler büyütüldü. Elde edilen filmlerin yapısal, morfolojik ve optik karakterizasyonları XRD, AFM ve UV-Vis Spektrometre ölçüm sistemleri kullanılarak gerçekleştirildi.

Kaplama sırasında ZnO target gücü sabit tutulup, MgO target RF gücü değiştirilerek korning cam, safir ve silikon alttaşlar üzerine kaplanan MgZnO ince filmlerin analiz sonuçları incelendi. Optik analizler sonucunda, korning cam ve safir alttaş üzerine kaplanan numunelerde Mg bileşimi arttıkça soğurum kenarının daha düşük dalga boylarına kaydığı ve artan Mg kaykısıyla filmlerin bant aralıklarının arttığı görüldü. Korning cam alttaş üzerine kaplanan CTS306 (MgO), CTS308 (MgZnO_40W), CTS307 (MgZnO_50W), CTS309 (MgZnO_75W), CTS310 (MgZnO_100W) ve CTS311 (ZnO) filmlerin bant aralıkları sırasıyla 5,5 3,32, 3,30, 3,49, 3,53 ve 3,26 olarak bulunmuştur. Safir alttaş üzerine kaplanan CTS306 (MgO), CTS308 (MgZnO_40W), CTS307 (MgZnO_50W) filmlerin bant aralıkları ise sırasıyla 5,5, 3,30, 3,33 olarak bulundu. Korning cam alttaş kullanılan numuneler %85 geçirgenlik safir alttaş kullanılan numuneler de %75 optik geçirgenliğe sahip olduğu görüldü. Filmlerde bant aralığının RF gücüne bağlı olarak değişimi lineer olmamaktadır. MgZnO filmlerinin enerji bant aralıkları kullanılarak Vegard Yasası'ndan Mg katkı oranları hesaplandı. CTS308 (MgZnO_40W), CTS307 (MgZnO_50W), CTS309 (MgZnO_75W) ve CTS310 (MgZnO_100W) filmlerinin Mg katkı miktarı sırasıyla $x=0,09$, $0,13$, $0,29$, $0,31$ olarak hesaplandı. Bant aralığının alaşım oranına göre, RF gücündeki durumun aksine lineer değişmeyip parabolik bir değişim gösterdi.

MgZnO ince filmlerin XRD analizlerine bakıldığında, korning cam, safir ve silikon alttaş üzerine kaplanan bütün numunelerin ZnO kaplı fimlerde olduğu gibi hegzagonal wurtzite fazda büyüdüğü ve ZnO'ya ait (002) pikini gösterdiği belirlendi. CTS309_MgZnO (75 W) ve CTS306_MgO (120 W) filmleri amorf yapıda büyümüş ve dolayısıyla bu filmlerde MgO ve MgZnO piklerine rastlanmamıştır. Safir ve

korning cam alttaş üzerine kaplanan ince filmlerde RF gücü dolayısıyla artan Mg katkısıyla (002) pik şiddetinin arttığı gözlendi. Ayrıca bu ince filmlerde artan RF gücüyle parçacık büyüklüklerinin arttığı görüldü. Si alttaş üzerine kaplanan ince filmlerde ise MgZnO' ya ait (002) pikinin yanısıra (400) silikon pikine rastlandı. Ancak CTS309_75W MgZnO numunesinde MgZnO yapısı oluşmamış sadece Si piki gözlenip MgZnO piki gözlenmemiştir. MgZnO filmlerde RF gücü arttıkça parçacık büyüklüğünün azaldığı gözlendi. Ayrıca kırınım piklerinin FWHM değerlerinin de RF gücüne bağlı olarak arttığı görüldü. Bu durum, MgZnO filminin oluşmasına rağmen artan RF gücüyle kristalitenin artmadığı şeklinde yorumlandı. Ayrıca parçacık büyüklüğü açısından değerlendirildiğinde; alttaşa bağlı partikül büyüklüğünde standart bir değişim gözlenmedi.

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntülerinden bütün numune yüzeylerinin ZnO ve MgZnO filmleri için literatürde mevcut yapılara benzerlik içerdıği görüldü. MgO filminin yüzey pürüzlülüğü 9,7 nm ile büyütölen filmlerin içerisinde en iyi düşük değere sahip olduğu belirlendi. Filmlerin yüzey pürüzlölüklerinin 19nm-35nm aralığında değiştiği görüldü; ancak, püskürtme gücüne göre pürüzlölük değişiminde bir standart gözlenemedi. Bununla birlikte korning cam alttaş üzerine yapılan MgZnO ince filmlerinde CTS309 adlı numune dışında RF gücü arttıkça yüzey pürüzlölüğünün kök ortalama kare (RMS) değerlerinin azaldığı görüldü. Safir alttaş üzerine kaplanan numunelerde ise korning cam alttaş üzerine kaplanan numunelerin tersi gözlendi ve RF gücü arttıkça RMS değerinin arttığı görüldü. Silikon alttaş üzerine yapılan MgZnO ince filmlerin AFM analizlerinden numunelerin RF gücü artışıyla yüzey pürüzlölüğünün korning cam alttaş üzerine büyütölen numunelerin aksine arttığı gözlendi. Ayrıca, korning cam, safir ve Si alttaşlar üzerine büyütölen MgO filminin yüzey pürüzlölüğünün, sırasıyla, 9,66, 21,60, ve 11,99 nm olduğu belirlenerek, en düşük yüzey pürüzlölüğünün korning cam üzerine büyütölen filme ait olduğu görüldü.

KAYNAKLAR

1. Research Institute for Technical Physics and Materials Science of HAS. (2005). *History of Thin Films Growth, Techniques, Characterization*, Berlin: Budapest, Hungary, Humboldt University of Berlin:Barna, B.P., 3-7.
2. Smith, D. L. (1995)., *Thin Film Deposition Principles and Practice* (first edition).New York, McGraw-Hill Education, 1-18.
3. Aksoy, S. (2006). *Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2-4.
4. Kahraman, S. (2010). *ZnO Yarıiletken Yapıların Eldesi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Hatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 1.
5. Akın, N. (2015). *ZnO Tabanlı UV Dedektör Geliştirilmesi ve Prototip Üretimi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-18.
6. Tyagi, M. S. (1991). *Introduction to Semiconductor Materials and Devices* (third edition), USA: John Wiley and Sons, 35-50.
7. Schmid L., Macmanus-Driscoll L. (2007). ZnO- Nanostructures, Defects and Devices, *Materials today*, 10(5), 40-48.
8. Yaşar, S. (2012). *Titanyum oksit Yarıiletken Filminin Elde Edilmesi, Optik ve Kristal Özelliklerinin İncelenmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 9.
9. Yurdugüzel, B. (2011). *Co Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Elektriksel ve Yapısal Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 2-9.
10. Pişkin,E. (2014). *GaAsP\GaP Yarıiletken Yapılarının Si Üzerine Epitaksiyel Büyütülmesi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 7-8.
11. Koid, M.A, ElSayed,N.Z.,Ashour,A (2006). Physical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Techniques, *Elsevier*, 252(22), 44-48.
12. Özgür, U., Allivov, Y., Liu, C., Teke, A., Doğan, M.A., Avrutin, S., Morkoç, H., Cho, V. (2011). A Comprehensive Review of ZnO Materials Anda Devices, *Journal of Applied Physics*, 98(4), 103.
13. Reynolds, D.C., Look, D.C., Jogai, B., Collins, T.C. (2011). *Polariton and Free-Exciton- Like Photoluminescence in ZnO*, *Applied Physics Letters*, 79(23), 34-74.

14. Sung-Hak, Y., Seung-Kyu, C., Jae-Min, J., Jung-A, K., Woo-Gwang, J. (2007). Journal of Interface Science, *Low temperature Growth of ZnO Nanorods by Chemical Both Deposition, Elsevier*, 313(2), 705-710.
15. Morkoç, H., Özgür, Ü. (2009). *Zinc Oxide: Fundamental Materials and Devices Technology* (first edition), USA: Wiley-VCH, 1-3.
16. Lao, J.Y., Wen, J.G., Ren Z.F. (2011). Nano letters, American chemical society, 1287. *Hierarchical ZnO Nanostructures*.
17. Bunn, C. W. (1935). Lattice Dimension of Zinc Oxide, *IOP Science*, 47(5), 835-841.
18. İnternet: Excitation of Photoluminescence. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fned.ipac.caltech.edu%2Flevel5%2FSept03%2FLi%2FLi4.html&date=2016-07-25>. Son Erişim Tarihi: 27.06.2016
19. Kuzucu, A. (2007). *Eriyik ve Buhar Tekniği ile Büyütülen Yüksek Kalite ZnO Kristallerinin Optiksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 67.
20. Chin, H.A., Cheng, I.C., Li, C.K., Wu, Y.R., Chen, J.Z., Lu, W.S., Lee, W.L. (2011). Electrical Properties of Modulation -Doped RF- Sputtered Polycrystalline MgZnO/ZnO Heterostructures, *IOP Science, Journal of Physics D: Applied Physics* ,44(45), 1-3.
21. Chang, K. J., Lee, E.C. (2004). Ferromagnetic Versus Antiferromagnetic Interaction in Co- Doped ZnO, *APS Physics*,69.
22. Minot, E. D. (2004). *Tuning the Band Structure of Carbon Nanotubes*, ABD; Cornell University, In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 1-18.
23. Shan, F.K., Yu, Y.S. (2004). Bandgap Energy of Pure and Al Doped ZnO Thin Films, *Science Direct*, 24(6), 69-72.
24. İnternet: Elektromanyetik Spektrum. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fguide.ceit.metu.edu.tr%2Fthinkquest%2Ftapndx5.htm+&date=2016-07-25>. Son Erişim Tarihi: 25.07.2016
25. Ota, Y., Kimura, Y., Michikami, O. (2007). Initial Stages of EuBa₂Cu₃O₇ Thin Film Deposited on a ZnO Semiconductor, *Elsevier*, 463(465), 919-921.

26. Vossen, J.L., Kern, W. (1978). *Thin Film Process II*, San Diego, California, Bridgewater, New Jersey Lam Research Corporation: John Vosse Associates 82-84.
27. Kaya, V. (2010). *Spin Kaplama Yöntemiyle Üretilmiş Al Katkılı ZnO İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 27.
28. Cantakan, Z. (2009). *Magnezyum Oksit Nanokristallerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Uranyum Gideriminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 43.
29. Causa, M., Dovesi, R., Pisani, C., Roetti, C. (1986). Electronic structure and stability of different crystal phases of magnesium oxide. *Physical Review B*, 33(2), 74.
30. Ropp, R. C. (2013). *Encyclopedia of the alkaline earth compounds* (first edition), United Kingdom: Elsevier Science and Technology, 8.
31. Caceres, D., Vergara, I., Gonzalez, R. (2013). Microstructural characterization of MgO thin films grown by radio-frequency sputtering ,Target and substrate-temperature effect, *American Institute of Physics (AIP)*, 43.
32. Fontcuberta, J. Bibes, M., Martinez, B., Trtik, V., Ferrater, C., Sa'nchez, F., Varela, M. (1999). Tunable epitaxial growth of magnetoresistive La₂/3Sr₁/3MnO₃ thin films, *Journal of Applied Physics*, 85(8), 48.
33. Vuoristo, P., Mantyla, T., Kettunen, T. (1989). Microstructure and reflectance of sputtered Au/MgO films on Cu, *Elsevier*, 18(3), 117-126.
34. Tsujita, T., Nagatomi, T., Takai, T., Marita, Y., Nishitani, M., Kitagawa, M., Uenoyama, T. (2004). Energy Distribution of Ion-Induced Secondary Electrons from MgO Surface, *IOP Science*, 43(6), 753.
35. Internet: Magnesium Oxide. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FMagnesium_oxide&date=2016-07-25. Son Erişim Tarihi: 25.07.2016
36. Caceres, D., Vergara, I., Gonzalez, R. (2003). Microstructural Characterization of MgO thin films grown by radio frequency sputtering target and substrate-temperature effect, *Journal of Applied Physics*, 93(6), 4300-4305.
37. Hu, Y., Coi, B., Hu, Z., Liu, Y., Zhang, S., Zeng, H. (2015). The impact of Mg content on the structural, electrical and optical properties of MgZnO alloys: A first principles study, *Elsevier*, 15(3), 423-425.

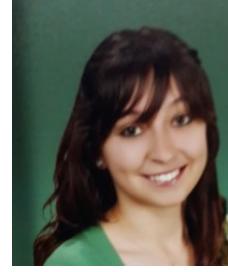
38. Zhao, Y., Zhang, J., Jiang D., Shan, C., Zhang, Z., Yao, B., Zhao, D., Shan, Z. (2009). Ultraviolet Photodetector Based on MgZnO Film Grown by Radio Frequency Magnetron Sputtering, *ACS Applied Materyal*, 11(1), 28-30.
39. Shimoda, K., Takashi, N., Nagagawa, Y., Hiramitsu, T. (2013) Nonlinear Characteristics of Structural Properties and Spontaneous Polarization in Wurtzite $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$: A first-principles, *Physical Review*, 88(1), 1-4.
40. Maznichenko, I.V., Ernest, A., Bauhassou, M., Henk, J., Done, M., Lüders, M., Bruno, P., Herget, W., Merting, I., Szotek, Z. and Temmerman, W.M. (2009). Structural Phase Transitions and Fundamental Bandgap of $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ Alloys from First Principles, *Physical Review B*, 80(14), 2-9.
41. West, A. R., (1984). *Solid State Chemistry and It's Applications* (second edition), United Kingdom: John Wiley and Sons, 37-38.
42. Wasa, K., Kanno, I., Katera, H.T. (2012). *Sputter Deposition Technology Fundamentals and Applications for Functial Thin Films, Nanomaterials and MEMS* (Third edition), Germany, Springer 77-94.
43. Demirci, B. (2006). *İndiyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 13-14.
44. Cömert, B. (2015). *TiO₂ İnce Film Gaz Sensörlerinin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 18.
45. Ciraci, S., Baratoff, A. (1989). Tip-sample interaction effects in scanning-tunneling and atomic-force microscopy, *Physical Review*, 41(5), 63-64.
46. Sader, J. E., Sanelli, J.A., Adamson, D.B., Monty, J.P., Wei, V. and Crawford, S.A. (2012). Spring constant calibration of atomic force microscope cantilevers of arbitrary shape, *AIP Review of Scientific Instruments*, 83(10), 1-15.
47. Avcı, C. (2013). *Electrodeposition of ZnO Thin Films: Effect of Vanadium Doping*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 53.
48. Inaba, K., Kobayashi, S., Isehara, K., Okada, A., Reddy, L.S. and Endo, T. (2013). High Resolution X-Ray Diffraction Analyses of (La,Sr)MnO₃/ZnO/Sapphire(0001) Double, *Scientific Research*, 75.
49. Leonhardt, D. (2011). *Selective Epitaxial Growth Techniques to Intergrate High-Quality Germanium on Silicon*, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy Engineering, New Mexico.

50. Wang, X., Saito, K., Tanaka, T., Nishio, M., Nagaoka, T., Arita, M., Guo, M. (2015). Energy band bowing parameter in MgZnO Alloys, *Applied Physics Letters*, 107(2), 1-5.
51. Aoumeur-Benkabou, M., Kadaun, A., Benkabou, K., Ameri, M. (2012) , Theoretical Study on the Origins of the Gap Bowing in $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ Alloys, *Modeling and Numerical Simulation of Material Science* 60-66.
52. Minemoto, T., Negami, T., Nishiwaki, H., Hamakawa, V. (2000). Preparation of MgZnO films by Radio Frequency Magnetron Sputtering, *Elsevier Thin Solid Films*, 372(20), 173-176.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOZKURT, Neslihan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.10.1989, KARAMAN
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (544) 6953639
 e-mail : bozkurtneslihan@yahoo.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik	2013
Lise	Konya/Ereğli Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2016	Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi	Bursiyer

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Bozkurt, N., Efker, H.İ., Akın, N., Özbay, A., Özçelik, S. *MgZnO Filmlerinin Eş-Püskürtme Tekniği ile Büyütülmesi: Yapısal ve Optiksel Karakterizasyonlar*. 19. Yoğun Madde Fiziği Toplantısı, Ankara.

Hobiler

Sinemaya gitmek, dans, müzik dinlemek



GAZİ GELECEKTİR..