



**NANOKRİSTAL ZnXO (X=Zr, Mn, ZrMn) İNCE FİLMLEİN  
FABRİKASYON VE KARAKTERİZASYONU**

**Parisa PASHAEI**

**YÜKSEK LİSANS  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2015**



Parisa PASHAEI tarafından hazırlanan “NANOKRİSTAL ZnXO İNCE FİLMLEİN FABRİKASYON VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAK

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**İkinci Danışman:** Dr. Zulfiqar KHAN

Bilim ve Teknoloji, Bournemouth Üniversitesi

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

.....

**Başkan:** Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**Üye :** Prof. Dr. Mehmet KASAP

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**Üye :** Prof. Dr. Ş. Bora ALKAN

Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 22/05/2015

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

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

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.

Parisa Pashaei

22.06.2015

NANOKRİSTAL ZnXO İNCE FİMLERİN FABRİKASYON  
VEKARAKTERİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Parisa PASHAEI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2015

ÖZET

Manyetik iyonları esas iletken malzemenin içindeki katyonların yerine geçen II-VI ve III-V grubu yarıiletken manyetik yarıiletkenler (DMS's) spintronik teknolojinin gelişmesini sağlamaktadır. Esas malzemesi ZnO'nun bant aralığının geniş olmasından dolayı ZnXO yapılarının geleceği parlaktır. Çinko oksit özellikleri geniş bir yelpazeye sahiptir ve bu özellikler doplamaya, işlem parametrelere, fabrikasyon metoduna ve ince filmlerin kalınlığına bağlıdır. Çinko oksit özellikleri yüksek geçirgenlik, piezoelektrik, geniş yarıiletkenlik bant aralığı, oda sıcaklığı ferromanyetizim, büyük manyeto-optik ve yüksek algılama sayılabilir. Bu çalışmada RF magnetron püskürtme yöntemi ile camalttaş üzerine ZnMnO ince filmler üretildi ayrıca ZnMnO, ZnZrO ve ZnZrMnO ince filmler çelik alttaş üzerine puls elektrodepozisyon yöntemi ile üretildi. İnce filmlerin yapısal, optik ve yüzey özellikleri X-ışını kırınım (XRD), atomik kuvvet mikroskopu (AFM), UV spektrum, oda sıcaklığı fotoluminesans (PL), taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dağılımlı X - ışını spektroskopisi (EDS) ve 3-D tarama enterferometre yöntemleriyle incelendi. Püskürtmeli ZnMnO ince filmlerde alttaş sıcaklığı 300 °C, 400 °C ve 500°C ayarlandı. Alttaş sıcaklığı artınca, filmlerin yapısı kübikten hegzagonale değişti. Kübik ZnMnO ince filmler [210] yönelimli ve hegzagonal ince filmler [002] yönelimli büyüdü. Yüzey morfolojisinde değişiklikler yapısal geçişle ilgili bir kanıt sağladı. Ayrıca optiksel bant aralığında azalma ve artma filmlerin kübik veya hegzagonal yapısı ile ilişkilidir. Üstelik, Puls elektrodepozisyon metot ile yapılan filmlerde, yapısal sonuçları polikristal olduğunu ve yüksek pürüzlülüğü gösterdi ve bütün örneklerde altıgen yapılı, örgü sabiti  $a = 2.65$  (Å) ve  $c = 4,93$  (Å) görülmektedir. Hem de korozyon testi Mn ve Zr ikisinin birleşik hali önemli ölçüde atmosferik korozyona galvanizli kaplama direncini arttırdı.

Bilim Kodu : 912.1.075

Anahtar Kelimeler : RF magnetron puskurtme, ZnMnO ince film, Puls ektrodepozisyon

Sayfa Adedi : 57

Danışman : Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAK

İkinci Danışman : Dr. Zulfiqar Khan

## FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF NANOCRYSTALLINE ZnXO

(X=Mn, Zr, ZrMn) THIN FILMS

(M. Sc. Thesis)

Parisa PASHAEI

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June2015

## ABSTRACT

II-VI and III-V diluted magnetic semiconductors (DMS's), in which magnetic ions substitute for the cations of the host semiconducting material, are developed for spintronic technology. The ZnXO system is very promising because of the wide bandgap of the ZnO host material. Zinc Oxide has a wide range of properties that depends on doping, process parameters, fabrication method and thickness of thin films. The properties of zinc oxide include high transparency, piezoelectricity, wide bandgap semi-conductivity, room temperature ferromagnetism and huge magneto-optic and sensing properties. In this study, ZnMnO thin films were deposited on glass substrates by RF magnetron sputtering and ZnMnO, ZnZrO, ZnZrMnO thin films on steel substrates by Pulse Electrodeposition method respectively. The properties of ZnMnO thin films were investigated by x-ray Diffractometer (APD 2000 PRO), atomic force microscopy (AFM), UV-Vis spectrometer, room temperature photoluminescence (PL), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS), and 3-D scanning interferometry. The substrate temperature of sputtered thin films was varied from 300°C, 400°C, and 500°C. With increasing the substrate temperature, the structure of the films changed from cubic to hexagonal. The cubic ZnMnO thin films grown along [210] direction, while the hexagonal ones grown along [002] direction. The changes in surface morphology provided a proof on the structural transition. Also, decrease and increase of optical band gap is associated with cubic or hexagonal structure of the films. Moreover structural result revealed that Pulse electrodeposition thin films are polycrystal with high roughness and in the all samples hexagonal structure is observed with lattice parameters of  $a=2.65\text{\AA}$  and  $c=4.93\text{\AA}$ . Furthermore corrosion test indicate that Mn and Zr both combined can significantly improve the resistance of the galvanized coating to atmospheric corrosion.

Science Code : 912.1.075

Key Words : RF magnetron sputtering, ZnMnO thin films, Pulse electrodeposition

Page Number : 57

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAK

Co-Supervisor : Dr. Zulfiqar Khan

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen ve bana ZnXO ince filmlerin üretimi ve karakterizasyonu konulu yüksek lisans tezimde yardımcı olan, yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocalarıma Sayın Prof. Dr.Mehmet ÇAKMAK, Gazi Üniversitesive Dr.Zulfiqar KHAN'a Bournemouth Üniversitesisonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyleirim ve ölçümlerimin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan değerli hocalarım Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK ve Doç. Dr. Mustafa Kemal ÖZTÜRK'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırmalarım sırasında karşılaştığım problemlerin çözümlenmesinde ve çalışmalarımın daha verimli bir şekilde tamamlanmasında benden yardımlarını esirgemeyen Nihan AKIN, Rizwan Sarwar BAJWA, Mian Hammad NAZIR, Halil Ibrahim EFKERE, Ceren BAŞKOSE'eve bu süreçte beni yalnız bırakmayan Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi ve BournemouthÜniversitesi labratuar çalışanlarına teşekkür ederim. Bu eser 2011K120290 bir proje numarası ile Kalkınma Ministr desteklenmiştir.

Bugüne kadar başarılı ve mutlu bir insan olarak ulaşmamda emeği aileme sonsuz teşekkürler.



## İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| ÖZET .....  | i            |
| ABSTRACT.....   | ii           |
| TEŞEKKÜR.....   | iii          |
| İÇİNDEKİLER .....   | iv           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                       | vi           |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....   | vii          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                    | ix           |
| 1. GİRİŞ.....   | 1            |
| 2. İNCE FİLMLER .....   | 7            |
| 2.1. İnce Filmlerin Özellikleri.....                            | 7            |
| 2.2. Metal Oksit İnce Filmler.....                              | 8            |
| 2.2.1. Çinko oksit .....  | 9            |
| 2.2.2. ZnO kristal yapısı.....                                  | 10           |
| 2.2.3. Örgü parametreleri .....                                 | 11           |
| 2.2.4. ZnO'nun optiksel parametreleri .....                     | 12           |
| 2.2.5. ZnO Uygulamaları ve Metal katkılı ZnO ince filmler ..... | 13           |
| 3. DENEYSEL TEKNİKLER.....                                      | 15           |
| 3.1. Püskürtme Metodları.....                                   | 16           |
| 3.2. Elektrodepozisyon .....                                    | 18           |
| 3.3. Karakterize Etme Teknikleri.....                           | 21           |
| 3.3.1. X-ray dağılımı .....                                     | 21           |
| 3.3.2. Fotolüminesans spektroskopisi .....                      | 24           |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 3.3.3. UV/VIS Spektroskopi .....                               | 25           |
| 3.3.4. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskopi ).....                    | 26           |
| 3.3.5. SEM(Elektron Tarama Mikrokopi ).....                    | 27           |
| 3.3.6. EDS (Enerji Dağıtıcı X-Ray Spektroskopi ) .....         | 29           |
| 3.3.7. ZYGO (3-D tarama enterforemetre) .....                  | 30           |
| <b>4. TARTIŞMA .....</b>                                       | <b>33</b>    |
| 4.1. Çökeltilmiş ZnXO İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri.....  | 33           |
| 4.2. Çökeltilmiş ZnXO İnce Filmlerinin Optik Özellikleri ..... | 38           |
| 4.2.1. Fotolüminesans sonuçları.....                           | 38           |
| 4.2.2. UV- Vis spektrometre sonucu .....                       | 41           |
| 4.3. Çökeltilmiş ZnXO İnce Filmlerin yüzey morfolojisi .....   | 42           |
| 4.3.1. Atomik kuvvet mikroskobu sonuçları.....                 | 42           |
| 4.3.2. Taramalı elektron mikroskobik sonuçları .....           | 44           |
| 4.3.3. 3-D tarayıcı interferometre sonuçları.....              | 44           |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                               | <b>47</b>    |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>49</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>57</b>    |

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

| <b>Çizelge</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. İnce filmlerin özellikleri.....  | 7            |
| Çizelge 2.2. Metal oksitler .....   | 8            |
| Çizelge 2.3. ZnO özellikleri.....   | 9            |
| Çizelge 4.1. ZnMnO ince filmlerin XRD sonuçlar farklı cam alttaş sıcaklıklarda..... | 34           |
| Çizelge 4.2. İnce filmlerin detayı ve biriktirme verileri .....                     | 36           |
| Çizelge 4.3. Elementlerin konsantrasyonu.....                                       | 37           |



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. ZnO kristal yapıların sopa ve top gösterimi: (a) Kaya tuzu yapısı,<br>(b) Altıgen wurtzite yapı (c) Çinkoblend.....  | 10    |
| Şekil 2.2. İnce filmlerin optik fenomenler .....  | 11    |
| Şekil 2.3. Malzemelerde bant aralığı enerjisi.....  | 12    |
| Şekil 3.1. İnce film kaplama işlemlerinin sınıflandırılması şematik gösterimi .....   | 15    |
| Şekil 3.2. Püskürtme sistemi .....  | 16    |
| Şekil 3.3. Enerjik olay iyon bombardımanı sırasında meydana gelen farklı süreçler.....  | 17    |
| Şekil 3.4. Gazi Üniversitesi laboratuvarında püskürtme sistemi .....  | 18    |
| Şekil 3.5. Electrodepozisyon sistemi .....  | 19    |
| Şekil 3.6. Puls Electrodepozisyon dalga formu gösteren önemli puls parametreleri .....  | 20    |
| Şekil 3.7. Puls elektrodepozisyon sistemi Bournemouth Üniversitesi laboratuvarı .....   | 20    |
| Şekil 3.8. X-ray (APD 2000, Gazi fotonik) .....   | 21    |
| Şekil 3.9. Ne zaman olay x ışınları bir numunenin yüzeyine atomlarının elektronları<br>nüfuz ederse X-ışını dalgaları dağılır ve yeni dalgalar göndererek o yapıcı,<br>belirli yönlerde birbirine müdahale eder, Bragg yasasına göre..... | 22    |
| Şekil 3.10. XRD sistemi.....  | 23    |
| Şekil 3.11. Fotoluminesans (PL) sistemi .....   | 24    |
| Şekil 3.12. Fotonun luminesansı bant boşluk enerjisinin içinde.....   | 24    |
| Şekil 3.13. Ultraviyole-görünür spektroskopisi (UV/ VIS) sistemi.....   | 25    |
| Şekil 3.14. AFM sistemi (Gazi Fotonik).....   | 26    |
| Şekil 3.15. Görüntüleme modları AFM sisteminde .....  | 27    |
| Şekil 3.16. SEM ve EDS sistemi (Bournemouth Üniversitesi) .....   | 28    |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 3.17. SEM sistemin şematik diyagramı .....   | 29           |
| Şekil 3.18. EDS sisteminin şematik diyagramı.....  | 30           |
| Şekil 3.19. 3-D tarama enterforemetre sistemi Bournemouth Üniversitesi.....  | 30           |
| Şekil 3.20. WLI sisteminin şematik diyagramı.....  | 31           |
| Şekil 4.1. RF püskürtülen ZnMnO ince filmlerin farklı alt tabaka sıcaklıklarında cam<br>üzerinde XRD piklerinin gösterisi.....   | 33           |
| Şekil 4.2. Pulse metod ile kaplanmış ince filmlerin XRD sonuçları çelik alttaş<br>üzerinde .....   | 35           |
| Şekil 4.3. İnce filmlerin EDS sonuçları: a) ZnMnO b) ZnZrO c) ZnZrMnO thin films   | 37           |
| Şekil 4.4. Plot of $(\alpha h\nu)^2$ karşı $h\nu$ , ZnMnO ince filmlere .....  | 38           |
| Şekil 4.5. Oda sıcaklığı PL spektrumu ve Gauss uydurma RF- püskürtülen ZnMnO<br>ince filmler için cam yüzeylerde bu sıcaklığında(a) 300 °C, (b) 400 °C ve<br>(c) 500 °C .....                      | 39           |
| Şekil 4.6. Oda sıcaklığı PL spektrumu ve Gauss uydurma ince filmler için a)ZnMnO<br>b)ZnMnZrO c)ZnZrO.....   | 41           |
| Şekil 4.7. Cam alt tabakaların üzerine cam alt tabaka ve RF-püskürtülen ZnMnO ince<br>filmler için 200-1100 nm aralığında bir dalga boyunun bir fonksiyonu olarak<br>geçirgenlik spektrumları..... | 42           |
| Şekil 4.8. ZnMnO ince filmlerin 3D AFM görüntüleri .....   | 43           |
| Şekil 4.9. Electrodepozisyon ince filmlerin SEM görüntüleri (a-c) .....  | 44           |
| Şekil 4.10. ZnXO ince filmlerin pürüzlülüğü 3-D tarama enterforemetre ile .....  | 45           |
| Şekil 4.11. Elektrodepozisyon ince filmlerin korozyon testi sonuçları .....  | 46           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| <b>Simgeler</b>             | <b>Açıklamalar</b>               |
|-----------------------------|----------------------------------|
| $\text{Å/sec}$              | Angstrom/ saniye                 |
| <b>A</b>                    | Soğurganlık                      |
| <b>A</b>                    | Masured soğurma                  |
| <b>A</b>                    | Kristal Örgü Değişkeni           |
| <b>Ar</b>                   | Argon                            |
| <b>Al</b>                   | Alüminyum                        |
| <b>B.C</b>                  | Milattan Önce                    |
| <b>B</b>                    | Tam genişlik yarım Maxima        |
| <b>B</b>                    | Manyetik alan                    |
| <b>CD</b>                   | Kompakt Disk                     |
| <b>Cd</b>                   | Kadmiyum                         |
| <b>C</b>                    | Türleri soğurma yoğunluğu        |
| <b>C</b>                    | Örgü Değişkeni                   |
| <b>c/a</b>                  | Örgü değişkenlerinin oranı       |
| $^{\circ}\text{C}$          | Celsius derecesi                 |
| <b>Cu</b>                   | Bakır                            |
| <b>K<math>\alpha</math></b> | X_Rar Kırınım ölçerin dalga boyu |
| <b><math>\alpha</math></b>  | Optik soğurma katsayısı          |
| <b>DVDs</b>                 | Dijital Çok Amaçlı Diskler       |
| <b>3d</b>                   | 3 seviye                         |
| <b>2D</b>                   | 2 boyutlu                        |
| <b>Eg</b>                   | Bant aralığı                     |
| <b>E</b>                    | Elektrik alan                    |
| <b>eV/atom</b>              | Elektron Volt/ atom              |
| <b>F</b>                    | Kuvvet                           |
| <b>h<math>\nu</math></b>    | Foton enerjisi                   |

| <b>Simgeler</b>          | <b>Açıklamalar</b>      |
|--------------------------|-------------------------|
| <b>i.e</b>               | Örnek olarak            |
| <b>Ge</b>                | Germanyum               |
| <b>Ga</b>                | Galyum                  |
| <b>He</b>                | Helyum                  |
| <b>gr/cm<sup>3</sup></b> | Yoğunluk                |
| <b>IO</b>                | Gelen ışın              |
| <b>IT</b>                | Geçen ışın              |
| <b>IA</b>                | Soğurulan ışın          |
| <b>IR</b>                | Yansıtılan ışın         |
| <b>IT/IO</b>             | Geçirgenlik             |
| <b>IA/IO</b>             | Soğurganlık             |
| <b>IR/IO</b>             | Yansıtılabilirlik       |
| <b>I<sub>0</sub></b>     | Gelen ışının şiddeti    |
| <b>I</b>                 | Geçen ışının şiddeti    |
| <b>ITO</b>               | İndiyum Tin Oksit       |
| <b>In</b>                | İndiyum                 |
| <b>ΔE</b>                | Uyarma enerjisi         |
| <b>R</b>                 | Yansıtılabilirlik       |
| <b>e.g.</b>              | Örnek olarak            |
| <b>etc</b>               | Ve benzeri              |
| <b>K</b>                 | İp sabiti               |
| <b>Kcal/mol</b>          | Kilokalori/mole         |
| <b>TC</b>                | Curie sıcaklıkları      |
| <b>NaCl</b>              | Sodyum Klorür           |
| <b>N<sub>2</sub></b>     | Nitrojen gazı           |
| <b>λ</b>                 | Dalgaboyu               |
| <b>Θ</b>                 | Tepe açısı              |
| <b>x-y</b>               | X ve Y eksenini         |
| <b>Mn<sup>2+</sup></b>   | Manganez iyonu          |
| <b>Mn</b>                | Manganez                |
| <b>MeV/atom</b>          | Mega elektron Volt/atom |

**Simgeler****mTorr****MHz****n-type****O****pH****L****sp<sup>3</sup>****Si** **$\epsilon$** **T****t****II-VI****V****W****wt.%****X****Zn<sup>2+</sup>****Zinc (II)****ZnO****ZnMnO****ZrO<sub>2</sub>****Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>****ZnMnZrO****Zr****Z****Açıklamalar**

Basınç birimi

Frekans birimi

N-tipi yarıiletken

Oksijen

Asitlik ya da bazlık derecesi

Yol uzunluğu

yörünge hibridizasyon tipi

Silikon

molar emicilik ya da yok olma katsayısı

geçirgenlik

Film kalınlığı

2 ve 6 grup yarı iletkenler

charged particle hızı

vat

ağırlıkça yüzde

ucu sapma

Çinko iyon

Tip 2 Çinko

Çinko Oksit

Çinko Oksit Manganez

zirkonyum dioksit

Manganez (III) oksit

Çinko Oksit Manganez Zirkonyum

Zirkonyum

Z eksen

**Kısaltmalar****AZO****AFM****AC****Açıklamalar**

Al-katkılı çinko oksit

Atomik Kuvvet Mikroskobu

alternatif Akım

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

|                |  |
|----------------|--|
| <b>DC</b>      | Doğru Akım                                   |
| <b>CVD</b>     | Kimyasal Buhar Biriktirme                    |
| <b>d</b>       | Farklı düzlemleri arasındaki mesafe          |
| <b>Fig</b>     | şekil  |
| <b>FWHM</b>    | Tam genişlik yarım maksimum                  |
| <b>mm</b>      | Millimetre                                   |
| <b>mbar</b>    | Milibar                                      |
| <b>min</b>     | Dakika                                       |
| <b>MOVPE</b>   | Metal Organik Buhar Faz Epitaksi             |
| <b>MBE</b>     | Moleküler Işın Epitaksi                      |
| <b>MOS</b>     | Metal Oksit Yarıiletken                      |
| <b>nm</b>      | Nanometre                                    |
| <b>NIR</b>     | Yakın Kızılötesi Aralıkları                  |
| <b>µm</b>      | Mikrometre                                   |
| <b>OLED</b>    | Organik Işık Yayan Diyotlar                  |
| <b>PECVD</b>   | Kimyasal buhar çökeltmesiyle gelişen plazma  |
| <b>PLD</b>     | Darbeli Lazer Çökertme                       |
| <b>PVD</b>     | Fiziksel buhar çökeltme                      |
| <b>PL</b>      | fotoluminesans                               |
| <b>RT</b>      | Oda sıcaklığı                                |
| <b>RT FM</b>   | Oda Sıcaklığı Ferromanyetik                  |
| <b>sccm</b>    | Dakikadaki standart santimetrekep            |
| <b>UV</b>      | Morötesi                                     |
| <b>UV/ VIS</b> | Görünür morötesi spektroskopisi              |
| <b>DMS</b>     | Seyreltilmiş Manyetik Yarıiletken            |
| <b>DMSs</b>    | Seyreltilmiş Manyetik Yarıiletkenler         |
| <b>hpAFM</b>   | Yüksek performanslı Atomik Kuvvet Mikroskobu |
| <b>RF</b>      | Radyo frekansı                               |
| <b>RMS</b>     | Kare ortalamalarının kökü                    |
| <b>PS</b>      | Püskürtme basıncı                            |
| <b>SAW</b>     | Yüzey akustik dalga                          |

**Kısaltmalar****TFT****XRD****SEM****EDS****Açıklamalar**

İnce Film Transistör

X-ışınları kırınımölçeri

Taramalı Elektron Mikroskobu

Enerji Dağılım Spektrometresi

## 1. GİRİŞ

İnce filmler, temel olarak birkaç atomdan birkaç mikrometre düzeyine kadar kalınlığa sahip materyal tabakasıdır. Elektronik yarıiletken cihazlar ve optik kaplamalar ince film yapımından yararlanan başlıca uygulamalardır. İnce filmler yeni teknoloji olmamasına rağmen ancak son zamanlarda ticari ve bilimsel uygulamalarda yer aldılar.

Çinko oksit materyali çalışması ve onun mikro ölçeklerdeki kullanımı ve nano ölçek cihazları, son on yılda büyük bir artış gösterdi. Çinko oksit, birçok mikrosistemde kullanılabilir çok yönlü bir malzemedir. Geniş bant aralığı, piezoelektrik, elektrik ve optik özelliklerinin kombinasyonu ZnO'yu tek ve geniş bir aralıkta bugün ve gelecek cihaz uygulamaları için önemli yapar [1].Yüksek elektromekanik eşleme katsayısı sayesinde ZnO sensörler ve aktüatörler hem de elektrik ve mekanik etki alanları arasında etkin sinyal iletimi için önde gelen adaylardan biridir[2].Aynı zamanda ZnO diğer tüm materyallerden daha iyi radyasyon sertliğine sahip olması sayesinde, nükleer reaktörler ve uzay gibi aşırı koşullarda faaliyet gösterebilir ve bu nedenden dolayı diğer materyallerden ayrılır.

Çinko oksit ayrıca nanoteknoloji için diğer malzemeler üzerinde birkaç temel avantaj sunan güçlü bir potansiyele sahiptir. ZnO'nun büyük bir bant aralığı ve uyarma bağlama enerjisi [3].Aynı zamanda bu tür nano sensörler ve aktüatörler gibi nano elektromekanik birleştirme cihazları yapımında yararlı kılan, kullanışlı piezoelektrik özelliklere sahiptir.[4].ZnO ayrıca biyo-uyumlu bir madde olduğu için biyomedikal implantlar ve kaplamalar gibi birçok biyomedikal uygulamalarda kullanılabilir [5]. Sensörler ve aktüatörler dışında, ZnO ayrıca bazı ilginç parlaklık arttıran özellikler sağlar. ZnO, morötesi aralığında çalışan yeni nesil lazer kaynağına neden olabilecek kısa dalga boylu opto elektronik özelliklere sahip nanoçubuklar ve tellere dönüştürülebilir [1].Şu anda ZnO, birkaç isim vermek gerekirse nano çubuklar, nano kemerler, nano teller, nano taraklar, nano yaylar ve nano pervanelere dönüştürülebilir [6,7].

Son yıllarda mavi ve morötesi ışık yayıcılar ve dedektörlerin geniş kullanımı için geniş bant aralıklı yarıiletkenlere daha fazla dikkat verilmiştir. ZnO, oda sıcaklığında 3,37 eV enerji bant aralığında ve 60 meV uyarılma enerjisiyle geniş düz bant aralığında yarı iletkenidir [6,7].

Katkılama ZnO'nun özelliğini değiştirebilir bu yüzden, ZnXO birçok bilim insanının dikkatini çekiyor. Eğer X 3d geçiş metal iyonları ise, ZnXO manyetizma gösterebilir ve Sulandırılmış Manyetik Yarıiletkenler (DMS) elde edilebilir. Tek bir materyalde yük ve serbest şekilde dönme dereceleri içerenseyreltilmiş manyetik yarı iletkenlerin hafıza ve mantık işlemlerinde sorunsuz olarak tek bir cihaz üzerinde entegre edilebileceği potansiyel cihaz uygulamaları üretimi için önemli bir rol oynaması beklenmektedir [10].

ZnMnO onlardan biridir [8,9,52] ve çok ilginç manyetik, manyeto optik, manyeto elektronik ve diğer özellikleri sergileyebilir. Yarıiletken spintronik için en muhtemel malzeme seçimi için iki önemli kriter vardır:

- Ferromanyetizma oda sıcaklığının üzerinde muhafaza edilmesi gerekmektedir.
- Ferromanyetik yarıiletkenlerin elektriksel ve optik özellikleri spinmanipülasyonu için izin vermelidir [23].

ZnO içine Mn birleştirmesi sadece manyetik anlar üzerinde bir girişe neden olmaz aynı zamanda ZnO bazlı heteroyapıların işlevselliğinin artmasına izin veren band aralığı artışı sağlar. ZnO ince filmlerin özelliklerinden bazıları hakkında raporlar olmuştur, farklı yöntemlerle oluşan ZnMnO filmleri farklı özelliklere sahiptir [6,8,9]. Metalik Zn paramanyetik olduğundan, ZnO filmlerinde tespit edilen herhangi bir Ferromanyetizm muhtemelen büyüme sürecinde oluşan Mn kümeleri nedeniyle olmaz Mn alaşımlı ZnO tanecikleri ve ince filmleri için oda sıcaklığının üstünde ya da oda sıcaklığına yakın değerlerde ferromanyetizm bildirilmiştir oysaki bizim çalışmalarımızda sadece paramanyetik davranışı bildirilmiştir. Mn alaşımlı ZnO filmleri gibi yarı yalıtkanlarda gözlenen zayıf ferromanyetizm, antiferromanyetik eşleşme yüzündendir, paralel manyetik momentler yüzünden değildir [23]. 3d geçiş metal serisi boyunca ZnO'daki çeşitli araştırmalar ZnO 'daki Mn'nin farklı elektriksel ve manyetik davranışlarını vurgular. 3d geçiş metali iyonlarının ZnO elektron iletimine katkısı Mn'nin, ZnO enerji boşluğundaki enerji düzeylerini izole ettiğini öngören birinci psödopotansiyel hesaplamalarıyla açıklanmıştır [24]. Mn<sup>2+</sup>'nin ZnO matrisindeki çözünürlüğü  $x < 0,35$ 'e göre yüksektir [25]. Mn<sup>2+</sup> ve Zn<sup>2+</sup>'nin benzer iyonik yarıçaplarından dolayı, ZnMnO'nun kristal özelliği saf ZnO ile karşılaştırılabilir. Son zamanlarda ZnMnO'nun ferromanyetik özelliğine çok fazla dikkat verilmesi seyreltilmiş manyetik yarı iletkenler DMS'lerin oda sıcaklığının üzerindeki Curie (TC) sıcaklıklar için potansiyel spintronik uygulamaları yüzündendir

[26–30]. Bununla birlikte, bu tür filmlerin yapısal ve optik özellikleri gibi diğer özelliklerini incelemek cihazların uygulamalarında da gereklidir. Bu nedenle, bu projede biz ZnMnO'nun ince filmlerinin yapısal, optiksel ve yüzey morfolojisi üzerinde çalışacağız.

Ayrıca, Zn ve Zr karma oksit çok nadiren incelenmiştir ve uygulama açısından ilginç olabilir. Zirkonyum dioksit (ZrO<sub>2</sub>) yüksek kırılma indeksi, geniş optik bant aralığı, düşük emilim, yüksek kimyasal ve termal kararlılık gibi bir sürü benzersiz özelliklere sahiptir ve bir takviye olarak seçilir ve ZnO filmleri için geçirgenlik ve taşıma özelliklerini geliştirilmesi beklenir [77]. Küp şeklinde veya dörtgen fazlarında (ortam sıcaklığında) ya da monoklinik fazda kristalleştirilebilir (çok yüksek ısıda) [81]. Zr<sup>4+</sup>'ün iyonik yarıçapı (0,8Å) Zn<sup>2+</sup> (0,74 Å)'ün yarıçapından büyüktür. Taşıyıcı yoğunluğunu azaltan Zr içeren katkı ZnO görünür aralıktaki saydamlığı artırır [78] ve aynı zamanda Zr-katkılı ZnO ince filmlerinin bant boşlukları katkılı ince filmlerinkinden daha büyüktür. Ortalama kristalit boyutları etkisi bunu açıklayabilir [80]. Daha sonra soruşturma Zr konsantrasyonunun, ZnO ince filmlerinin yapısal, optiksel ve yüzey morfolojisi üzerine etkisi gereklidir. ZnO katkılı ZrO<sub>2</sub> (ZrZnO) yüksek sıcaklıklarda (>700 K) sabit fonksiyon olan ITO'lar için umut vericidir. Ayrıca ZrO<sub>2</sub> ince filmleri, dielektrik sabiti, yüksek bozunma elektrik alan ve geniş bant aralığı gibi birçok mükemmel özelliğe sahiptir. Yang ve arkadaşları ortak püskürtmede kullanılan ZrO<sub>2</sub> katkılı ZTO filmlerinin, ZrO<sub>2</sub> katkısına eşlik eden oksijen boşluklarının konsantrasyonundaki azalma yüzünden olan negatif sapma aydınlanma gerilimi kararsızlığını (NBIS) bastırıldığını bulmuştur [79]. Ayrıca, bu alandaki araştırmaların çoğu aktif katmanların elektriksel performansını artırmak için malzeme değiştirme üzerinde yoğunlaşmıştır [79].

ZnXO ince filmlerin büyüme yöntemi, magnetron püskürtme [22,32], plazma geliştirilmiş kimyasal buhar birikim (PECVD) [11], metal organik buhar faz epitaksi (MOVPE) [12], Sol-jel işleme [13,35], pyrolysis [14,34], Moleküler Işın Epitaksi (MBE) [33], Atım elektroçöktürme (PED) [51], ve atım lazer elektroçöktürme (PLD) [15,31] gibi büyük tekniklerle kabul edilmiştir.

Bu tezde ZnXO ince filmleri, camda radyo frekansı magnetron püskürtmesi ve çelik tabanda puls elektrodepozisyon hazırlanmıştır. Daha sonra cam taban üzerinde RF-püskürtme ZnMnO ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerinde yüzey sıcaklığının

etkisi incelenmiştir. Ayrıca ZnMnO, ZnZrO ve ZnMnZrO ince filmlerinin özellikleri araştırılmıştır. Şu anki asıl amaç ZnXO ince filmlerinin yüzeylerini, yapısal ve optiksel özelliklerini araştırmaktır.

Bu tezde, ilk olarak ZnMnO ince filmleri, cam alttaş üzerine radyo frekansı magnetron püskürtme sistemi ile hazırlanmıştır. ZnMnO filmleri, radyo frekansı magnetron püskürtme sistemiyle (Bestec) yüksek saflıkta ZnO tozundan hazırlanmış ve 36 ağırlık % MnO<sub>2</sub> tozu ile karıştırılmış bir seramik hedef kullanılarak depolanmıştır. Alt katmanlar dikkatli bir şekilde etanol ile temizlenmiştir ve N<sub>2</sub> gazı altında kurutulmuştur. Kısım yaklaşık olarak 2,9x10<sup>-8</sup> mbar'lık bir taban basıncına boşaltıldı. Yüksek saflıkta (99,999 %) Ar bölme içine sokuldu ve 18 sccm'lik sabit bir toplam akış oranı için akan kütle kontrolleriyle ölçüldü. Ar (argon) gazında film çökertmesinden önce, hedef yüzeyi temizlemek üzere, bir ön-püskürtme işlemi 20 dakika boyunca kullanılmıştır. Alttaş sıcaklığı, sırasıyla 300 °C, 400 °C ve 500 °C'de sabitlendi. Çöktürme süresince püskürtme basıncı (P<sub>s</sub>) at 5.4x10<sup>-3</sup> mbar'da tutuldu. RF gücü 250 W olarak ayarlandı ve hedef ve alt katman arasındaki uzaklık tüm örnekler için yaklaşık olarak 35 mm olarak belirlendi. Daha sonra filmin büyüme oranı 1,7–2,0 Å/sve toplam kalınlık yaklaşık olarak 200–300 nm idi. Biriken filmlerin kalınlığı bir kalınlık ölçer ile ölçüldü. Çökeltmeden sonra, filmlerin kalınlığı kalem tipi profilometreyle (Dektak 150) ölçüldü. Filmlerin yapısal ve kristal özellikleri, CuKα1 (1,540 Å) kullanılarak X-ışını difraktometresi ve 4-kristalli Ge (220) simetrik monokromatörüyle belirlendi. Filmlerin yüzey morfolojisi, dinamik tarama modu kullanarak yüksek performanslı atomik kuvvet mikroskopuyla (AFM Nanomanyetik cihazlar) karakterize edilmiştir. Optik geçirgenlik ölçümleri 200-1100 nm aralığında, oda sıcaklığında, UV-Vis spektrometreyle (lambda 2S, Perkin Elmer) yapıldı. Filmlerin optik bant boşluğu, bir uyarı ışığı kaynağı olan 50 mW HeCd lazer (λ = 325 nm) kullanılarak oda sıcaklığında PL ölçümleriyle (HORIBA Jobin Yvon) yapılmıştır. Alt katman sıcaklığının artışıyla, kübikten altıgen faza yapısal dönüşüm yapısal morfolojik ve optiksel sonuçlar içindir. Tanecik boyutu artarken, alt katman sıcaklığı kontrol edilerek elde edilebilen RF magnetron püskürtmesiyle biriken ZnMnO filmlerinin yüksek kalitesini gösteren tepelerin (002) FWHM'leri azalır.

Daha sonra ZnMnO, ZnZrO, ZnZrMnO, hafif çelik alt tabaka (50 mm x 25 mm x 1,4 mm) üzerine darbe elektro çöktürme tekniğiyle biriktirilmiştir ve çinko levhalar (90 mm x 75 mm x 0,8 mm) anot olarak kullanılmıştır. Elektro kaplamadan önce, alt katman 320,600 ve

1200 dereceli kum kağıtlarının ardışık ince derecesiyle parlatıldı ve daha sonra çok yumuşak bir bezle parlatıldı. Numuneler musluk suyu ile yıkandı,asetonla temizlendi ve son olarak da hava akımı ile kurutuldu. Elektro çöktürme bir asidik klorür kullanılarak 30 °C sıcaklıkta gerçekleştirildi. Nano elektro çöktürme için, tanecik yarıçapı 40-60 nm olan 10 g Manganez (III) oksit tozu ve yarıçapı yaklaşık olarak 30-60 nm olan 10 g Zirkonyum dioksit tozu banyoya eklendi. Nano manganez parçacıkların tamamen tekrar gerilimi için, banyo elektro çökeltmeden önce manyetik karıştırıcı kullanılarak, yaklaşık 12 saat karıştırıldı. Banyo bileşenlerinin konsantrasyonu: 200 (g L<sup>-1</sup>)ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 80 (g L<sup>-1</sup>)Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 40 (g L<sup>-1</sup>)NaCl, 16 (g L<sup>-1</sup>) H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 10 (g L<sup>-1</sup>) ZrO<sub>2</sub> ve 10 (g L<sup>-1</sup>)Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> idi. ZnXO ince filmlerin yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) tespit edilmiştir, yapısal özellikleri CuKα1 (1,540 Å) radyasyon kullanarak X-ışını difraktometresiyle (APD 2000 PRO) karakterize edilmiştir ve 4-kristalli Ge(220) simetrik monokromotör, nicel başlıca analiz, bir taramalı elektron mikroskobu tesisinin enerji ayırıcı X-ışını spektrometresi (EDS) kullanılarak elde edilmiştir ve filmlerin optik bant boşluğu 50 mW HeCd lazer ( $\lambda = 325$  nm) kullanılarak oda sıcaklığında PL ölçümleri (HORIBA Jobin Yvon) ile yapılmıştır. Kaplanmış ince filmlerin pürüzlülüğü yüksekti çünkü yapısal sonuçlar ince filmlerin polikristal yapısını ortaya çıkardı ve aynı zamanda ince filmlerin hepsinin altıgen yapısı gözlemlendi. İnce filmlerin bant aralığı optiksel analizlerden sırasıyla ZnZrMnO, ZnMnO, ZnZrO için 3,308 eV, 3,17 eV, 3,305 eV olarak elde edildi. Kaplanmış ince filmlerin korozyon testleri için sıcaklık-iklim testi odasını kullanarak aşınma testi kullanıldı. Oda sıcaklığı 100°C–105°C dereceye kadar ısıtıldı. Kaplanmış numuneler 3,5 wt % filtreden geçirilmiş sodyum klorür (NaCl) çözeltisi (iyonu giderilmiş su, 100 ml karıştırılmış NaCl 3,5 gr)'ye sahip olan bir beher (200 ml kapasiteli) içine yerleştirildi. Aşınma çalışması, aşınma aktivatörleri (klorür iyonları) varlığı sayesinde aşınma üzerinde çalışmaya uygun olan 3,5 wt.% NaCl çözeltisi içinde uygulandı. Kaplama örnekleri olan beher ve NaCl çözeltisi 150 saat süre ile ısıtılmış bölme içine yerleştirilmiştir. Kaplanmış numuneler sürekli olarak izlendi ve gözlemler her 24 saat süre içinde kaydedildi. Sonuçlar, Mn ve Zr bileşiminin galvaniz kaplama direncini atmosferik aşınmaya kadar önemli bir şekilde geliştirdiğini göstermektedir.



## 2. İNCEFİLMER

İnce filmler materyallerin tabakalarıdır (nanometre-mikrometre) ve yeni teknoloji değillerdir. Aslında, onlar kalınlığı yaklaşık olarak 0,3µm olan altın ile kaplı dekoratif altın yaprak Çizimi olarak görülebilir. İnce filmler yeni teknoloji olmamasına rağmen son zamanlarda sadece ticari ve bilimsel uygulamalarda kullanılıyor.

İnce filmler şuan birçok uygulama için her materyalden yapılabilir. Bu uygulamalar öğelerin mikro ölçekten makro ölçeğe geçmesini ve aşındırıcı direncisağlayankaplamaların kaynağını bulabilmek için kullanılabilir. Daha yakın zamanlarda, ince filmlerin elektriksel, mekaniksel, optiksel ve termal özelliklerine dayanarak geniş bir alandakullanılabilir. İnce filmler alttaş yüzeyine çöktürülen atomlarla ve filmlerin Karakterini etkileyen deneysel şartlar geliştirilerek büyütülebilir. Alttaş sıcaklığı enerji ve haznedeki basınç gibi parametreler filmin büyümesini, çöktürme oranını ve büyüme oryantasyonunu etkileyebilir.

### 2.1. İnce Fimlerin Özellikleri

Büyük kısımdan nano yapılı ince filmleri gidildikçe, boyut önemli bir rol oynar ve fimlerin özelliği büyük bir şekilde değişir. İnce filmler iki boyuta benzerler, büyük kısımdan farklı kusurlu yapılardır ve arayüz ve yüzey etkilerinden büyük derecede etkilenir. İnce filmlerin özelliklerine bağlı bazı uygulamaları Çizelge 2.1'de verilmiştir [37].

Çizelge 2.1. İnce filmlerin özellikleri

| İnce filmlerin özellik kategorisi | Tipik uygulamalar  |
|-----------------------------------|--|
| Optiksel                          | Yansıtıcı / yansıma önleyici kaplamalar, Girişim filtreleri, dekorasyon (renk, parlaklık), hafıza diskler (CD, DVD), Dalga kılavuzları |
| Elektriksel                       | Yalıtım, İletim, Yarıiletken Cihazları, Piezoelektrik Sürücüler  |
| Manyetiksel                       | Hafıza Diskler   |
| Kimyasal                          | Difüzyon ya da alaşım Engelleri, Oksidasyon veya korozyona karşı koruma, Gaz / sıvı sensörler  |
| Mekaniksel                        | Yağ (aşınmaya dayanıklı) kaplamalar, Sertlik, Yapışma, Mikro-mekanik   |
| Termal                            | Bariyer Katmanlar, Isı Lavobolar   |

## 2.2. Metal Oksit İnce Filmler

Oksit iyonu şeklindeki ( $O^{2-}$ ) metal ve oksijen ile oluşturulan metal bileşikleri, bir metal oksit olarak adlandırılır. Onlar, oksit ardından ilk kelime parantez içinde oksidasyon numarası ile metal adı yazılan iki kelimeyle adlandırılır. Metal oksit formülü iki kelimeyle yazılmalıdır; İlk olarak ilk elementi oksidasyon numarasıyla daha sonra oksijen O sembolünü oksidasyon numarasıyla (-2). Sonunda her elementin en az atomlarını hesaplamak[40]. Metal oksitlerin bazı örnekleri, Çizelge 2.2 'de aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.2. Metal oksitler

| Oksit             | Kimyasal İsmi        |
|-------------------|----------------------|
| Na <sub>2</sub> O | Sodyum (I) oksit     |
| K <sub>2</sub> O  | Potasyum (I) oksit   |
| MgO               | Magnezyum (II) oksit |
| Mn <sub>2</sub> O | Manganez (IV) oksit  |
| CaO               | Kalsiyum (II) oksit  |
| Cu <sub>2</sub> O | Bakır (I) oksit      |
| ZnO               | Çinko (II) oksit     |
| ZnMnO             | Mangançinkooksit     |

Metal oksit ince filmleri, elektronik ve fotonik cihazlarda potansiyel uygulamaları nedeniyle birçok araştırmacıyı motive etmiştir. Metal oksit ince filmleri yaygın olarak, yarı iletken cihazlarda iletken olarak, izolatör olarak ve dielektrik olarak kullanılmıştır ve yüksek sıcaklık, süperiletkenlik ve oksitlerin hetero-epitaksiyel yapılara dayalı yeni bir mikroelettronik alanını keşfetmek için beklenmesi gereken magnetorezistans gibi yeni özelliklere göstermiştir[74]. Metal oksit ince filmlerinin özellikleri malzeme ve biriktirme sürecine özelliklerine bağlıdır.

### 2.2.1. Çinko oksit

Çinko oksit, formülü ZnO olan inorganik bileşiktir. ZnO, suda çözünmeyen, beyaz bir toz olan ve yaygın olarak kauçuk, plastik, seramik, cam, çimento, yağlayıcılar, boyalar, merhemler, yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri, pigmentler, gıda, piller, feritler, yangın geciktiriciler ve ilk yardım bantları dahil olmak üzere pek çok malzemede ve ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılır.

Çizelge 2.3. ZnO özellikleri

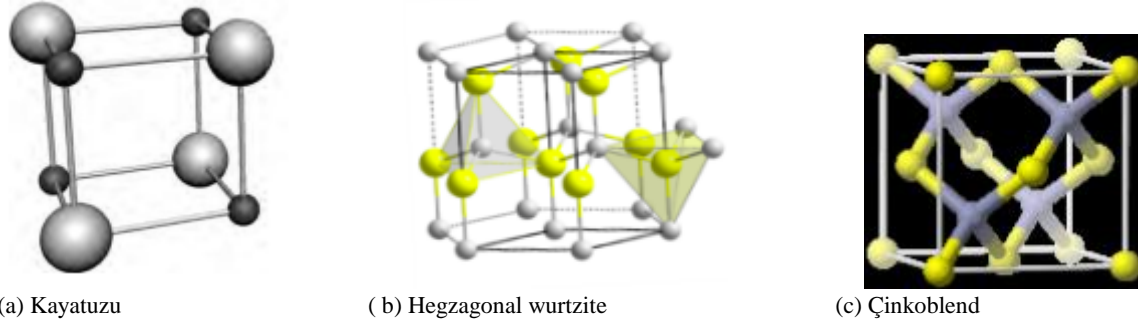
|                          |  |
|--------------------------|--|
| Kristal yapısı           | Hegzagonal wurtzite  |
| Örgü parametreleri       | $a= 3,24 \text{ \AA}, c= 5,20661 \text{ \AA}, c/a= 1,60 \text{ \AA}$ |
| Molekül ağırlığı         | Zn=65,38, O=16, ZnO=81,38  |
| Yoğunluk                 | 5,66 gr/cm <sup>3</sup>  |
| Egrime noktası           | 1975 °C  |
| Bant aralığı             | 3,37 ev  |
| Eksiton bağlama enerjisi | 60 meV   |
| Elektron mobiliti        | 200 cm <sup>2</sup> /Vs  |
| Elektron etkin kütle     | 0,24 m <sub>0</sub>  |
| Mobilite ağırlığı        | 5–50 cm <sup>2</sup> /Vs   |
| Örgü enerjisi            | 965 Kcal/mol   |
| Dielektrik sabiti        | 8,75   |
| Koku                     | kokusuz  |

### 2.2.2. ZnO Kristal yapısı

II-VI ikili bileşik yarı iletkenler, kübik çinko sülfürle ya da dört köşesinde her anyonun dört katyonla çevrildiği ya da tam tersi altıgen wurtzit yapısıyla kristalleşir. Bu dört yüzlü koordinasyon tipik sp<sup>3</sup> kovalent bağlanma olmakla birlikte, bu malzemeler, aynı zamanda önemli bir iyonik karaktere sahiptir[56].

- Kaya tuzu
- Çinkoblend
- Wurtzite

Şematik olarak Şekil 2.1. gösterilmiş olan ZnO, iyonikliği kovalent ve iyonik yarıiletken arasındaki sınırdaki bulunan bir II-VI bileşiktir. Yarıiletken ZnO tarafından paylaşılan kristal yapılar şunlardır:



Şekil 2.1. ZnO kristal yapıların sopa ve top gösterimi: (a) Kaya tuzu yapısı, (b)Altıgen wurtziteyapı(c) Çinkoblend

Normal koşullar altında, termodinamik olarak kararlı faz wurtzit yapıdadır.Çinko sülfür ZnO yapısı sadece kübik yüzeylerdeki büyümeyle stabilize edilebilir ve kaya tuzu NaCl yapısı, nispeten yüksek basınçlarda elde edilebilir.

Çinko oksit altıgen hegzagonal tipi yapısı, seçilen C eksenini, z'ye paralel olacak şekilde polar bir altıgen eksene sahiptir.x-y düzleminde olan ilk dönüşüm vektörleri a ve b, eşit uzunluktadır ve c z'ye paralelken  $120^\circ$  açığına sahiptir.Bir çinko iyonu dört oksijen iyonları ile tetrahedral çevrilidir.İlk birim hücre, ZnO bölgesinin iki formül ünitelerini içerir.İlk dönüşüm vektörlerinin değerleri, oda sıcaklığında  $a = b \approx 0,3249\text{nm}$  ve  $c \approx 0,5206\text{nm}$ 'dir.Başlangıç dönüşüm vektörlerinin değerleri,  $c/a = 8/3 = 1,6331$  ideal değerinden 1,602 civarında sapma gösterir.

### 2.2.3.Örgü parametreleri

Yarıiletkenlerin örgü parametreleri genellikle aşağıdaki faktörlere bağlıdır[56].

- Elektronlar tarafından en az işgal edilen iletim bandının deformasyon potansiyeli yoluyla hareket eden serbest elektron konsantrasyonu
- Yabancı atomların konsantrasyonu ve kusurla ve ikameli matris iyonuna göre iyonik yarı çap farkları
- Harici baskı (örneğin, alıtış ile uyarılanlar)
- Sıcaklık

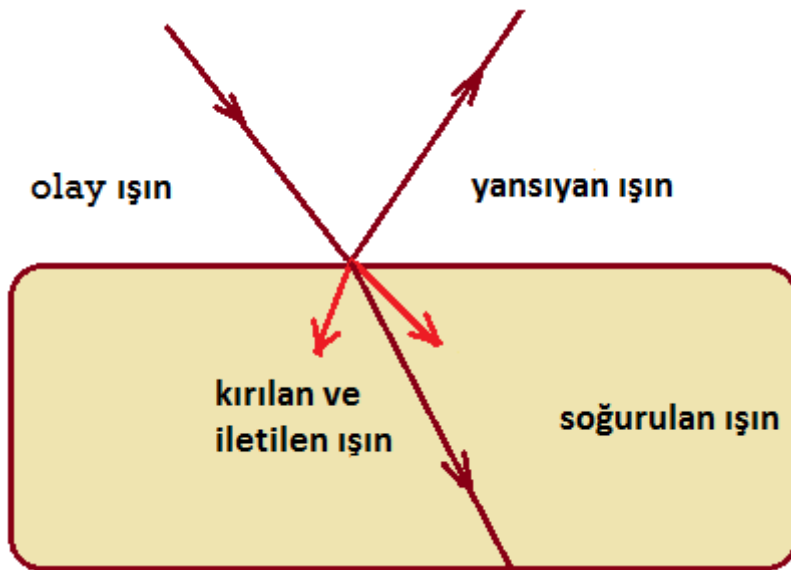
Herhangi bir kristalin örgü parametresi genellikle ve en doğru şekilde simetrik ve asimetric yansımalar için Bond yöntemi kullanılarak x-ışını kırınımıyla ölçülür.

Wurtzite ZnO için, oda sıcaklığındaki örgü sabitine birçok deneysel ölçümlerle karar verilir ve bu değerler teorik değerlerle benzerdir. Örgü sabiti çoğunlukla a parametresi için 3,2475 Å'den 3,2501 Å kadardır ve c parametresi için 5,2042 Å'den 5,2075 Å kadardır. İdeal wurtzit kristalden olan bu sapma, muhtemelen örgünün stabilite ve iyonikliğinden kaynaklanmaktadır. Kafes kaynaklanmaktadır. Serbest yük iletim bantının, minimum deformasyon potansiyeli ile orantılı ve taşıyıcı yoğunluğu ve dökme modülü ile ters orantılı olan ve örgünün genişlemesinden sorumlu baskın faktör olduğu bildirilmiştir. Çinko ters yerleşimi, oksijen boşlukları, vida dislokasyonu gibi kusur noktaları aynı zamanda örgü sabitini arttırır.

ZnO'nun politip çinko sülfürü için, hesaplanmış örgü sabiti modern tekniklere dayanılarak 4,60 ve 4,619 Å olarak öngörülür.

Kaya tuzu yapısından wurtzite olan yüksek basınç faz geçişi 4,271-4,294 Å örgü sabitini aralığından aşağıya azaltır. X-ışını kırınımı ile elde edilen deneysel değerler, çeşitli hesaplama teknikleri kullanılarak 4,058-4,316 Å aralığında tahmin edilen örgü parametreleriyle yakın işbirliği içindedir.

#### 2.2.4. ZnO'nun optiksel parametreleri

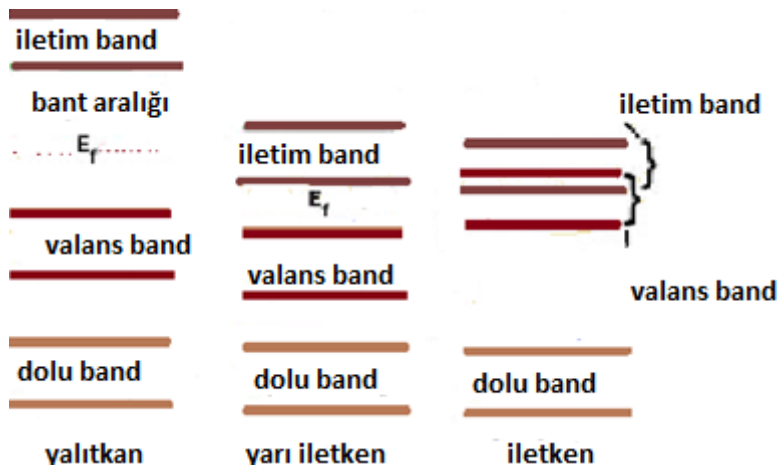


Şekil 2.2. İnce filmlerin optik fenomenleri

Şekil 2.2.'de görülebileceği gibi, ışık bir ortamdan başka bir ortama girdiğinde çeşitli olaylarmeydanagelir. Işığın bir kısmı belki ortam boyunca iletilecek, bir kısmı absorbe edilecek ve bir kısmı yüzeydeki ara yüzde yansıtılacaktır.

Dahası, ince fimlerin yüzeyine gelen ışığın şiddeti  $I_0$ ,iletilen,absorbe edilen ve yansıtılan ışının toplamına eşit olmalıdır ( $I_0=I_T+I_A+I_R$ ).Yukarıdaki denkleme alternatif bir denklem  $T+A+R=1$ 'dir. T, A, R, sırasıyla geçirgenlik ( $I_T/I_0$ ), soğurganlık( $I_A/I_0$ ), ve yansıtıcılıktır ( $I_R/I_0$ ). Bu durumda, soğurmaya ve yansıtma nispeten, materyaller ışığı daha fazla iletme yeteneğine sahip olan malzeme şeffaftır. Böylece ZnO ince filmleri gibi katı maddeler içinde meydana gelen optik olaylar, elektromanyetik radyasyon ve atomlar, iyonlar ve elektronlar arasındaki etkileşimleri içerir. Bu etkileşimlerin, elektronik kutuplaşma ve elektron enerji geçişleri çok önemlidir.

Bununla birlikte, elektronik kutuplaşmadan olan soğurma, yalnızca oluşturucu atomların gevşeme frekansının yakınlarındaki ışık frekansı için açıklanabilir. Böylece, kısa dalga boyunda ZnO filmleri gibi metalik olmayan malzemelerin ( $\lambda < 400\text{nm}$ ) için, emilim olayları malzemelerin, temel enerji boşluğu ile izah edilebilen elektron enerji bant yapısına bağlıdır; ZnO ince filmler gibi yarı iletkenler için bant yapıları önemli özelliktir.



Şekil 2.3. Malzemelerdebant aralığıenerjisi

Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, ışık fotonunun emilimi, muhtemelen bant aralığı boyunca, neredeyse dolu değerlik bandından olan bir elektronun promosyon veya uyarılmasıyla oluşur ve iletim bant içinde boş bir durum; iletim bandında bir serbest elektron ve valans

bandında bir delik oluşturulur. Ayrıca, uyarma enerjisi  $\Delta E$ , elektron geçişleri denklemine dayalı olan absorbe edilmiş fotonun frekansına bağlıdır.

$$\Delta E = hv \quad (2.1)$$

Böylece, emilim yalnızca fotonun enerjisi bant boşluğu  $E_g$ 'den büyükse olur, bu durum  $hv > E_g$  denklemiyle gösterilir. Yukarıdaki emilimin  $hv > E_g$ 'yle olduğu teoriye dayanarak tartışmamızı metalik materyallere genişlettik.

Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi, metalik malzemelerin bant boşluğu eksikliği olduğu için, her foton bir yüksek enerji boş duruma elektron uyarmak için yeterli enerjiye sahiptir. Aksine, ZnO ince filmler gibi yarı iletkenler için, dalga boyunun bir aralıkta fotonun enerjisinin  $E_g$ 'den daha büyük olduğu zaman absorpsiyon olayı gerçekleşirken, şeffaflık fenomeni fotonun dalga boyunun  $E_g$ 'den küçük değerler altında olduğunda gerçekleşir. Bu nedenle, ZnO ince filmlerin neden sadece görünür aralıkta şeffaf olmasının nedeni budur; Görünür ışık ile 700 nm ile 400 nm arasında değişen dalga boyları ile tayfin çok dar bir bölgesi içinde yer alır. Yansıtma ve iletim verileri, farklı dalga boylarındaki filmlerin emilim katsayısını hesaplamak için kullanılabilir. Emilim katsayısı [57] denklemiyle verilir:

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \frac{(1-R)^2}{T} \quad (2.2)$$

t: film kalınlığı, T:transmitans ve R:yansıtma. Ayrıca, soğurma katsayısı verileri aynı zamanda aşağıdaki gibi ifade edilen [16] ( $hv$  foton enerjisidir) bant boşluğuna ( $E_g$ ) göre başka bir denkleme dönüştürülebilir.

$$\alpha hv \approx (hv - E_g)^{1/2} \quad (2.3)$$

### 2.2.5. ZnO Uygulamaları ve Metal katkı ZnO ince filmler

ZnO, zaten toplumumuzda yaygın olarak kullanılan ve birkaçını söylemek gerekirse; boya, kozmetik, ilaç, plastik, pil, elektrikli ekipmanlar, kauçuk, sabun, tekstil, zemin dahil olmak üzere birçok sanayi üretim sürecinde önemli bir unsurdur.

ZnO nano yapısının, epitaksiyal katmanların, tek kristallerin ve nanopartiküllerin büyüme teknolojisindeki gelişmeleri sayesinde, artık ZnO cihazları giderek daha fonksiyonel ve egzotik olacağı bir döneme hareket ediyor. Epitaksiyal katmanları ve tek kristaller, optoelektronik (mavi ve ultraviyole ışık yayıcılar ve dedektörler), piezoelektrik ve spintronik cihazların geliştirilmesi için önemli olacaktır.

ZnO'nun geniş bant aralığına sahip olması, yalnızca, görünür bölge ve UV-görünür bölgesinde şeffaf olmasını sağlamaz ayrıca elektriksel iletkenliği (n-tip) sağlar. Özünde, n-iletken, geniş bant aralıklı II-VI yarıiletken ZnO, zaten yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Akustik dalga (SAW) cihazları, gaz sensörleri, mikro uyarıcılar ve iletken şeffaf katman yüzeyleri [23].

Ayrıca, ZnO'nun maliyeti düşüktür ve düz panel ekran [18] ve güneş hücreleri [16] için olan pahalı ITO'nun yerine kullanılmıştır. Saf ZnO filmlerin ek olarak, (Al, Ga, In) gibi element katkıları elektriksel iletkenliği arttıran etkili bir yoldur [17]. Bu katkılı ZnO ince filmler arasında, Al damlatılmış çinko oksit (AZO) katkılı ince filmler, organik ışık yayan diyotlar (OLED)[19] için anot olarak kullanılmıştır ve RT FM yanıtı, ZnMnO[55] için birkaç olguda rapor edilmiştir. ZnMnO ince filmler, yarıiletken cihazlar, spintronik, spin-tünel MOS diyotlar [38] ve şeffaf ferromanyetik malzemeler [54] için uygundur. Ama ZnO'nun optiksel ve elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi nedeniyle, ZnO ve ZnZrO ince filmlerde, bir TFT [20,57,76] aktif kanal tabakası olarak kullanılmaktadır.

Aynı zamanda mevcut teknolojilerde, güneş kremleri, boya ve kaplamaların gelişmesine yol açan ZnO nano parçacıklarıyla değişmiştir. Ek olarak, ZnO'nun MeV protonuna radyasyon yayılmasının zorluğu, onu uzay uygulamaları için ideal bir aday yapar.

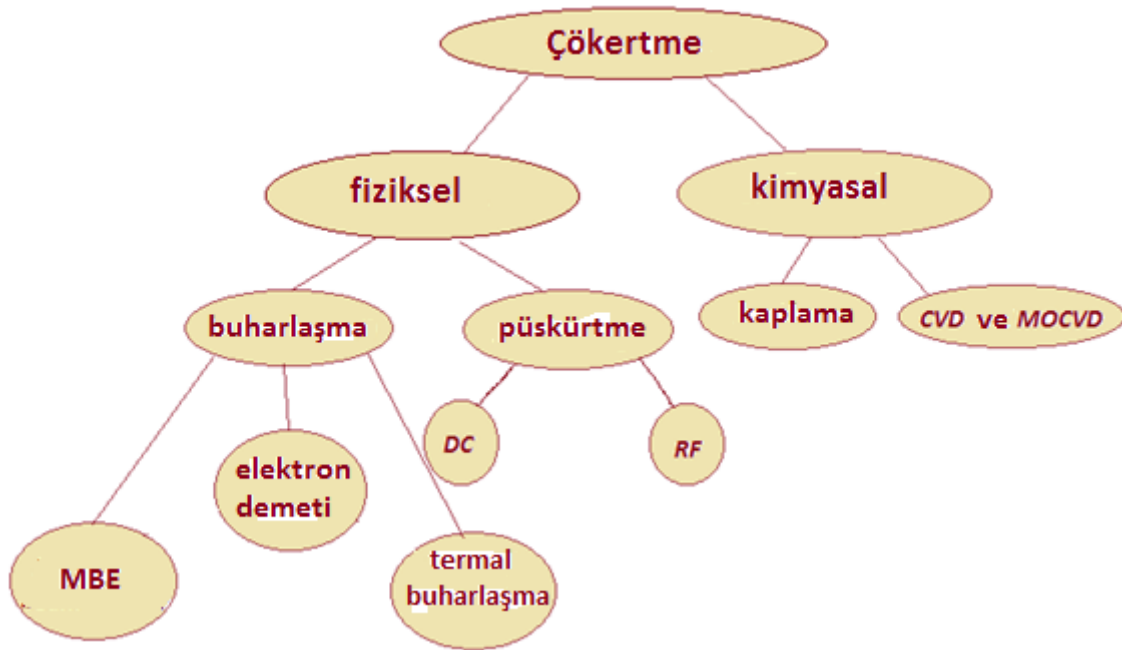
Böylece, ZnO hala araştırılmakta ve uygulanmakta olan özellikleri sayesinde, toplum ve sanayi için geniş bir uygulama tabanına sahiptir.

### 3. DENEYSEL TEKNİKLER

Çeşitli yöntemler, önemli parametrelerin ve çeşitli tekniklerin kullanımını kontrol edilerek farklı malzemelerin ince bir filmlerini çöktürmek için araştırmacılar tarafından literatürde rapor edilmiştir. Bu yöntemler başlıca üç ana kategoriye ayrılır [37].

- Fiziksel buhar çöktürme
- Kimyasal buhar çöktürme
- Kimyasal çözelti çöktürme

Yarıiletken cihazların çoğu termal buharlaştırma dayalı yetiştirilir. Şekil 3.1, ince filmlerin imalatı için yaygın olarak kullanılan bazı teknikleri gösterir.

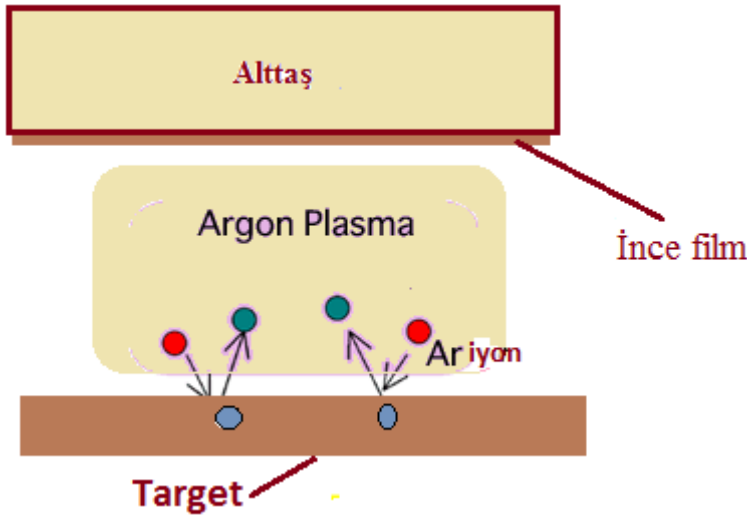


Şekil 3.1. İnce film kaplama işlemlerinin sınıflandırılması şematik gösterimi

Bu teknikler arasında, MBE ve CVD (veya MOCVD) teknikleri epitaksiyal büyüme yöntemleri olarak bilinir. Diğer yöntemler kullanılarak, ince filmler amorf veya polikristal formuna çökeltilir. Bu çalışmada, ikinci kategori yöntemler ZnO ince filmlerin metal alaşımlarının birikimi için kullanılmıştır.

### 3.1. Püskürtme Metodları

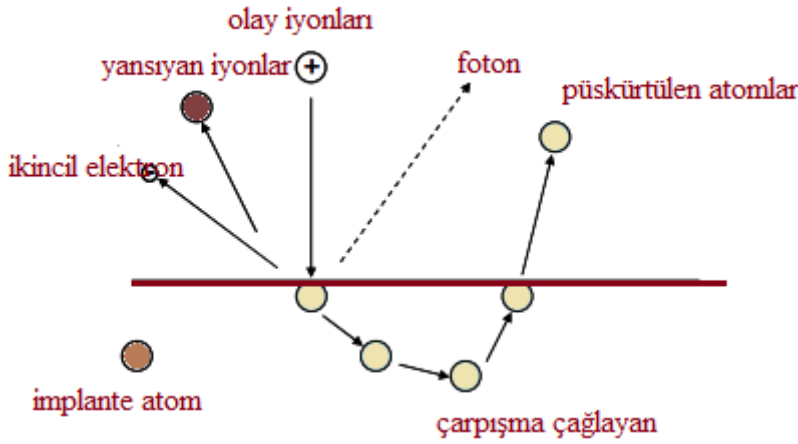
Magnetron püskürtmesi, endüstriyel açıdan önemli kaplamaların çökeltmesi için tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir [59-57]. Magnetron püskürtmesi tekniği, mikro yapıda ve bileşimdeki esnekliği yüzünden uygun bir tekniktir. Alt katman sıcaklığı, büyüme hızı, basınç, ortam gazı gibi çökeltme özelliklerinin etkileri RF magnetron püskürtmesi aşaması sırasında çok önemlidir. Püskürtme genellikle enerji yüklü parçacıkların (genellikle iyonize tesirsiz gaz (püskürtme gaz) iyonu hedef yüzeyine bombardımanı ile veya yüksek vakumlu bir ortamda, bir alt-tabaka üzerine püskürtülen atom gibi maddelerden atomun çıkarılması ve yoğunlaştırılmasıyla, atomların elde edildiği bir fiziksel buhar çöktürme (PVD) işlemidir [21,68]. Tipik bir püskürtme düzeneğinin şematik bir çizimi Şekil 3.1'de sunulmuştur [69]. Bölme duvarları anot olarak hizmet ederken, genellikle bir katı madde püskürtme hedefi negatif bir voltaj uygulayarak, katot olarak görev yapar. Ar gibi etkisiz bir gaz bölmeye sokulduktan sonra bölme vakum pompası kullanılarak boşaltılır ve plazma gazı, bir elektrik boşaltımı tarafından oluşturulur. Plazmadan olan iyonlar hedef yüzeye bombardıman eder ve momentum transferiyle titreyip söner. Püskürtme hızı, hedef yüzeye bombardıman eden etkisiz gaz iyonlarının akım yoğunluğu ile orantılıdır. Püskürtülen atomlar plazma boyunca kateder ve yoğunlaşarak filmleri oluşturduğu alt katmana ulaşır [58].



Şekil 3.2. Püskürtme sistemi

Manyetik alan, hedefe yakın tuzak ikincil elektronlar için kullanılabilir. Elektronlar, hedefe yakın nötr gazla daha iyonize çarpışmalar geçiren manyetik alan çizgileri etrafında sarmal

yolları takip eder. Gelen iyonun etkisi sırasında, Şekil 3.3 de gösterildiği gibi diğer olaylar gelişir.



Şekil 3.3. Enerjik olay iyon bombardımanı sırasında meydana gelen farklı süreçler

Örneğin, bir hedeften ikincil elektronun emisyonu bölümde açıklandığı gibi boşaltımı sürdürmek önemlidir. Her gelenden yayılan elektronların veya ikincil elektron verimi veya ikincil elektron emisyon katsayısı olarak bilinen sayısı da deşarj gerilimi belirler [70].

Bir manyetik alan tarafından daha etkili bir püskürtme koşulları elde etmek için püskürtme işlemi esnasında gaz iyonlarının iyonlaşma hızını arttırmak magnetron püskürtmesinde kullanılan bir kavramdır. Bu durumda, mıknatıslar manyetik bir alanı kullanarak hedef yüzeye yakın elektron sınırlandırmak için katot arkasına yerleştirilir. Manyetik alanın varlığında bir yüklü parçacığa etkiyen kuvvet Lorentz kuvveti [39] tarafından verilen:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (3.1)$$

Q parçacığın yüküdür, E elektrik alanıdır, v yüklü parçacığın hızıdır, B manyetik alanıdır.

DC Püskürtme (iletken hedefler): Plazmanın gaz iyonları püskürtme işlemi süresince altağa çökeltmek için materyalden oluşan hedefe doğru ivmelenir. DC püskürtme, vakum haznesine yerleştirilen anot, katot ve iki tane elektrottan oluşur. Bu belirli püskürtme tekniğinde anot (altağ) genellikle topraklanıp, elektriksel olarak dalgalanıp ya

da etkisi altındayken; negatif voltaj, katoda (hedef elektroda) uygulanır. DC püskürtme genellikle iletken materyaller için kullanılır [71,58].

RF Püskürtme(iletken olmayan hedefler):DC metodu, hedef yüzey üzerindeki yük birikimi yüzünden iletken olmayan hedefleri püskürtmek için kullanılamaz [73]. Bu zorluğun radyo frekans püskürtme kullanarak üstesinden gelinebilir [72]. Basit bir RF püskürtme aleti iletken, yarıiletken ve yalıtkan kaplamaları çöktirmek için kullanılabilir. RF reaktif püskürtme ile katman kalınlığını tahmin etmek mümkündür; gelen hedef atomların yüksek kinetik enerjileri sebebiyle iyi tutunma ve yüksek film yoğunluğuna ulaşılabilir. Ayrıca düzenli katman kalınlıkları elde edilir. RF püskürtme tekniği, dönüşümlü olarak iyonlar ve sonra yük artışından kaçınmak için elektronlar ile bombardıman edilebilir diye RF frekanslarında (13,56MHz) bir alternatif voltaj güç kaynağı kullanır. Bu yüzden yalıtkanlar RF püskürtme ile çöktülebilir [58].

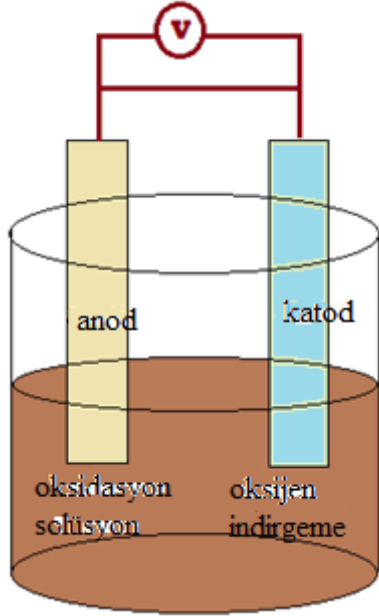


Şekil 3.4. Gazi Üniversitesi laboratuvarında püskürtme sistemi

### 3.2. Elektrodepozisyon

Elektrodepozisyon, anot materyalinin çözeltiliye doğru hareket eden ve katot yüzeyinde çökelmiş metal iyonları formundaki çözeltilde çözülmüş olduğu yer olan elektrolit bir çözeltiliye daldırılan katot kısmındaki bir çöktirme işlemidir. Bu, bir çözeltiden istenen bir materyalin katyonlarını indirgemek o materyali iletken bir alttaş yüzeyindeki ince bir film olarak kaplamak için elektrik akımı kullanılan bir süreçtir. Banyo bileşimi, Ph, sıcaklık güç kaynağının türü ve akım yoğunluğu, çöktirme sürecini ve bu sebeple de çöktirilen

materyallerin özelliklerini etkileyen anahtar değişkenlerdir [63]. Şekil 3.5 elektrodepozisyon şematik bir sistemini gösterir.



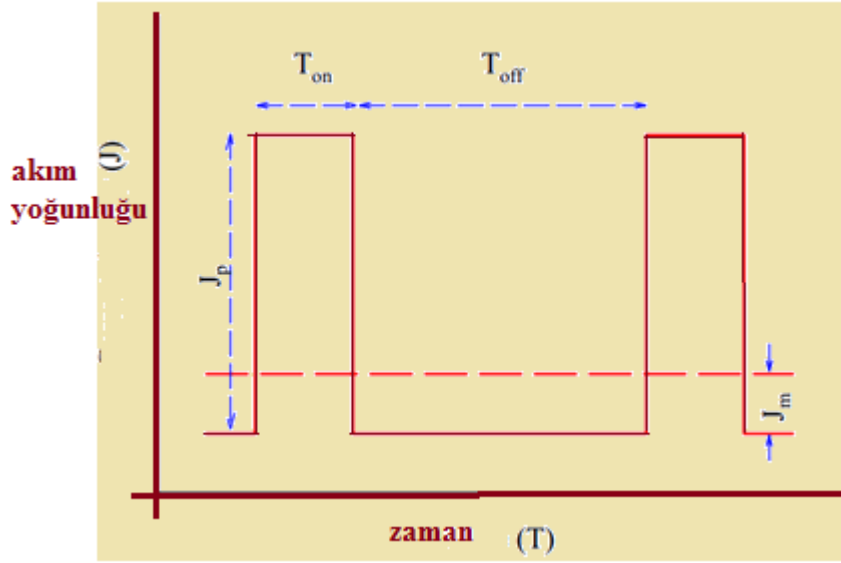
Şekil 3.5. Electrodepozisyon sistemi

**Puls Elektrodepozisyon:** Puls elektrodepozisyon (PED) elektrik akımı etkisi ile bir yüzey üzerine yoğun, düzenli ve yapışkan kaplama üretimi için yeni geliştirilmiş bir tekniktir [62]. Electrodepositionun geleneksel metodu doğru akım (DC) elektroliz yöntemi ile kaplamadır. Bu metodun değişimi, kesintili akım kullanımı ya da hatta sadece akım ya da potansiyelin değişmediği elektrodeposition titreşimi olarak akım iptalile yapılır [63]. Fakat puls frekansı, akım yoğunluğu ve titreşimin on time ile off time toplamına oranı olan görev döngüsü gibi parametreleri birbirinden bağımsız değiştirmek mümkündür. Titreşim platingin düşük elektriksel direnç, deliklerin daralması ve iyi graineddeposits gibi avantajları çoktur. Titreşim platingde kesintili bir akım ya da potansiyel kullanılır. Akım pulslar arasında 0 değerine düşebilir ya da düşmeyebilir. Pratik puls platingdeki puls tepe akımı, on time ve off time birbirinden bağımsız üç tane değişkendir. Bu değişkenler verilen elektrolitten elde edilen çökeltilerin fiziksel karakteristiklerini belirler [64].

$$(f) f = 1/(T_{on}+T_{off}) \quad (3.2)$$

$$(\theta) \theta = T_{on}/(T_{on}+T_{off}) \quad (3.3)$$

$$(J_m) J_m = J_p \times \theta \quad (3.4)$$



Şekil 3.6. Puls Elektrodepozisyon dalga formugösterenönemli puls parametreleri

Şekil 3.6 puls parametrelerini gösteren puls elektrodeposition dalga formunun şematik gösterimidir. Bu şekilde  $T_{on}$  ve  $T_{off}$  plating akımının sırayla geçtiği ve kesildiği zamanı tanımlar.  $J_p$ , puls süresi  $T_{on}$  boyunca maksimum ya da tepe akım yoğunluğudur ve  $J_m$  ortalama akım yoğunluğudur [65].



Şekil 3.7. Pulselektrodepozisyon sistemiBournemouth Üniversitesi laboratuvarında

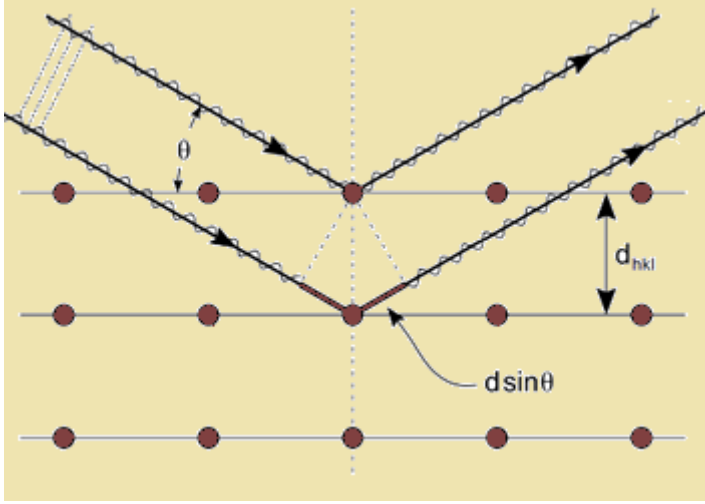
### 3.3. Karakterize Etme Teknikleri

#### 3.3.1. X-ray dağılımı



Şekil 3.8. X-ray (APD 2000, Gazi fotonik)

X-ray dağılımı, materyal karakterize etme ve ayrıca ayrıntılı yapısal açıklamalar için güçlü bir araçtır. Katıların fiziksel özellikleri (elektriksel, optik, manyetik vb) materyallerin atomik dizilimlerine bağlı olduğu için kristal yapıyı belirleme materyalin yapısal ve kimyasal karakterize edilmesinin gerekli bir kısmıdır. Bu Şekil 3.9’da görülebilir. X-ray desenleri örgü parametresi  $d$  (farklı yüzeyler arası mesafe) x-ray dalga boyu sırasında olduğu için materyallerin atomik dizilimlerini saptamada kullanılır[58]. Ayrıca X-ray dağılımı metodu kristal materyalleri nonokristal (şekilsiz) materyallerden ayırmak için kullanılabilir. Yapı tanınması, x-ray dağılım deseni ve referans örneğini içerip uluslararası tanınan veri tabanı ile karşılaştırılması ile yapılır.



Şekil 3.9. Olay x ışınları bir numunenin yüzeyine atomlarının elektronları nüfuz ederse X-ışını dalgaları dağılır ve yeni dalgalar göndererek yapıyı, belirli yönlerde birbirine müdahale eder, Bragg yasasına göre

X-ray dağılımı deseninden aşağıdaki bilgileri elde edebiliriz;

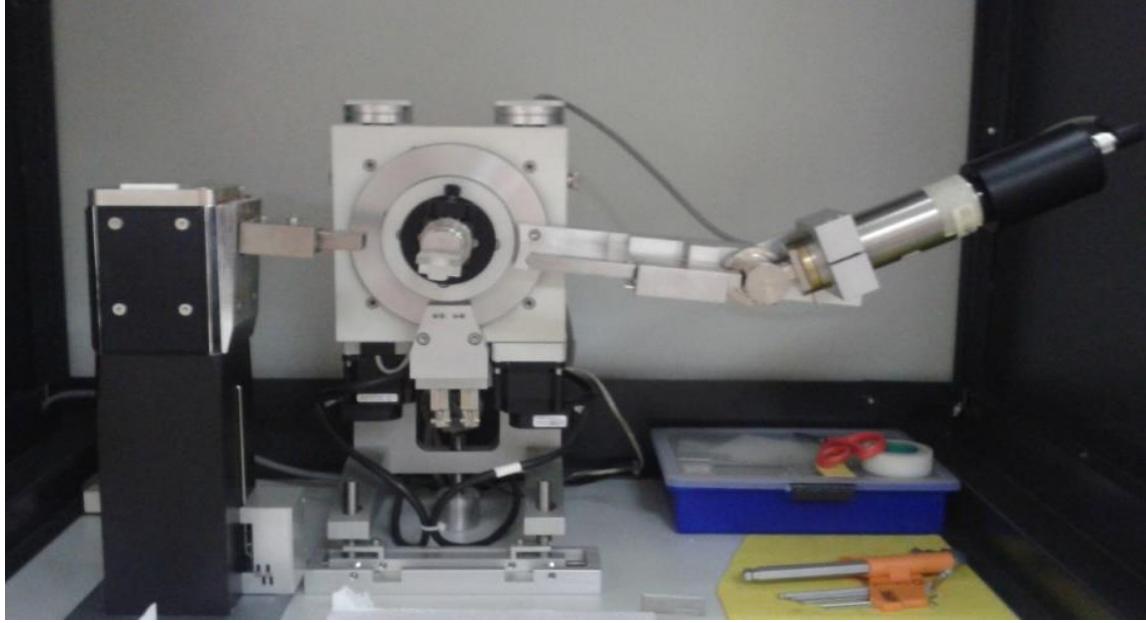
- Belli bir materyal sistemin oluşumuna karar verme
- Birim hücre yapısı, örgü parametreleri, miller indisleri
- Materyalde bulunan faz türleri
- Örnekteki kristal/amorf içerik tahmini
- Belli bir faz desenindeki tepe genişliğinden ortalama kristal boyutu değerlendirilmesi (geniş kristal boyut tepeleri sivrileştirir fakat tepe genişliği kristal boyutun azalması ile artar)
- Gerilme sonucunda d-aralığındaki değişim yüzünden yapısal bozulmanın bir analizi, termal bozulma

X-ray dağılım analizi, nano materyallerde kristal boyut tahmininde en popüler metottur. Bu nedenle şu anki çalışmalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Nanometre aralığında kristalit boyutu değerlendirilmesi dikkatli analiz becerilerini gerektirir. Bragg tepelerinin genişlemesi kristalit arıtma ve iç leke gelişimine yorulur. Genişlemeyi boyutlandırmak ve renklendirmek için Bragg tepelerinin yarım maksimumdaki (FWHM) tam genişliği dağılım açısının bir fonksiyonu olarak analiz edilir. Çökeltilerin kristalit boyutu X-ray dağılım tepe genişlemesi (XRD) ile hesaplanır. Dağılım desenleri 10/dak tarama oranında  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonu kullanarak elde edilir. Dağılım tepelerinin tam genişlik yarım maksimumu

(FWHM) Pseudo-Voigt eğri uyarlaması ile tahmin ediliyordu. Silikon ve kuvars standartları kullanımı ile tahmin edilen araçlama genişlemesinin çıkışı ile zerrecik boyutu.

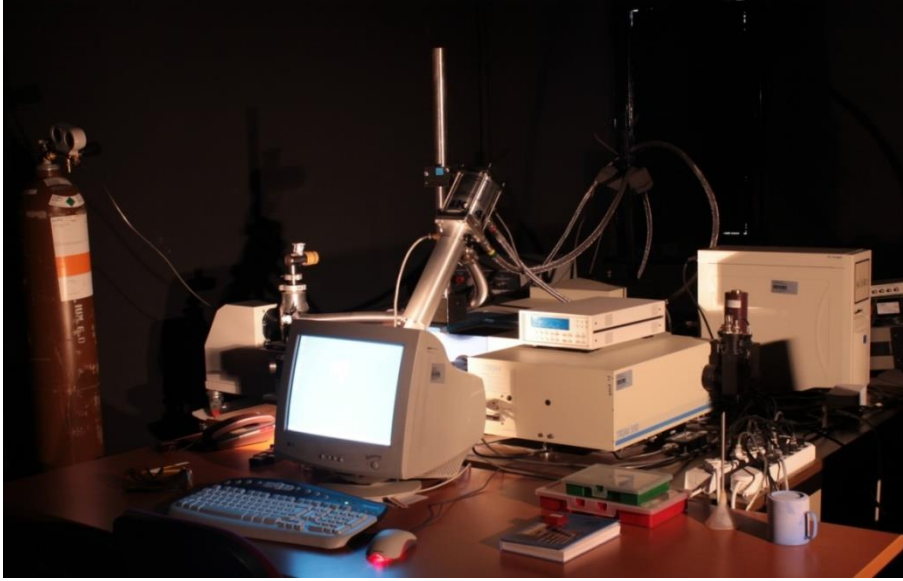
$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.5)$$

Burada  $\lambda$ , X-rayın dalga boyu,  $\beta$  FWHM radyan ve  $\theta$  tepe açısıdır.



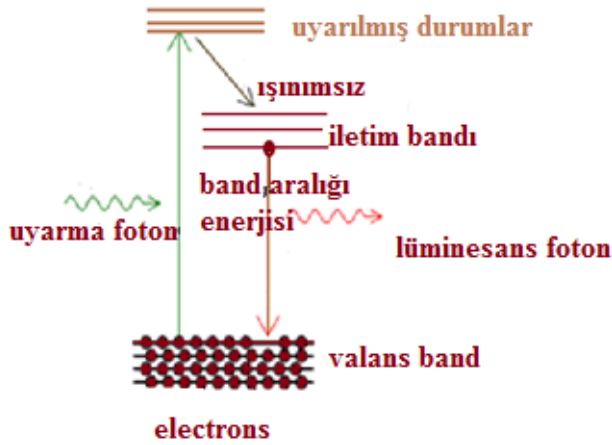
Şekil 3.10. XRD sistemi

### 3.3.2. Fotolüminesans spektroskopi



Şekil 3.11. Fotolüminesans (PL)sistemi

Şekil 3.11 fotolüminesans (PL), ışığın optiksel uyarılma altındaki bir materyalden kendiliğinden salımıdır [56]. PL, bir maddenin fotonları emme ve daha sonra fotonları tekrar saçma işlemidir. Bu, kuantum mekaniğinde yüksek bir enerji seviyesine uyarılma ve daha sonra bir foton salarak daha düşük bir enerji seviyesine düşme olarak tanımlanır Şekil 3.12. PL analizi yıkıcı değildir. Örnek, optik olarak uyarıldığı için elektriksel temaslar ve birleşmeler gereksizdir ve yüksek dirençli materyaller pratik zorluk çıkarmazlar.



Şekil 3.12. Fotonun lüminesansbant boşluk enerjisinin içinde

PL spektrumu enerji geçişini sağlar ve bu elektronik enerji seviyelerini belirlemede kullanılabilir. PL genellikle bir materyalin yüzeyinin yanında başladığı için PL analizi, yüzeylerin karakterize edilmesinde önemli bir araçtır. Normal PL için gerekli araçlar yalındır [56]:

- Optik kaynağı
- Optik güç metre ya da spektrofotometre

### 3.3.3.UV/VIS spektroskopisi



Şekil 3.13. Ultraviyole-görünür spektroskopisi (UV/ VIS) sistemi

Şekil 3.13 Mor ötesi-görünür spektroskopisi (UV/VIS), UV-visible bölgesindeki fotonların spektroskopisini içerir. Mor ötesi (UV) ve görünür radyasyon, elektromanyetik spektrumun sadece küçük bir kısmını içerir. Radyo, kızılötesi (IR), kozmik ve X-rays gibi radyasyonun diğer formlarını içerir [53] ve görünür ile mor ötesi ve kızılötesi yanı (NIR) aralıklarındaki ışığı kullanır. Bu elektromanyetik spektrum bölgesinde moleküller elektronik geçişlere maruz kalır.

Metot genellikle Beer-Lambert yasasını kullanarak çözeltilerdeki soğurgan türlerin konsantrasyonlarını belirlemek için sayısal bir yolda kullanılır.

$$A = -\log_{10} (I/I_0) = \epsilon \cdot c \cdot L \quad (3.6)$$

Burada A ölçülen soğurma,  $I_0$  verilen bir dalga boyunda geçen ışığın şiddeti, L örnek boyunca yol uzunluğu, c soğurucu türlerin konsantrasyonu ve I iletilen şiddettir. Her bir tür ve dalga boyu için  $\epsilon$ , uyarma katsayısı ya da molar soğurganlık olarak bilinen bir sabittir.

### 3.3.4.AFM (Atomik Kuvvet Mikroskopi)



Şekil 3.14. AFM sistemi (Gazi Fotonik)

Şekil 3.14 AFM tipik olarak bir örneğin yüzey topografyasını göstermede kullanılır ve bu, örneğin yüzeyinden keskin bir uç kabartarak yapılır. Uç yüzeyin üzerinden geçerken dik olarak yansır ve bu yol boyunca yüzey sapmasına neden olur [36]. Bilgisayar yazılımı, birçok paralel yollar tarayarak yüzeyin üç boyutlu bir haritasını yaratabilir. Bu işlem mikro-nano boyut ölçeğinde yapılır ve yaklaşık birkaç nanometredeki ince bir filmin yüzey pürüzlülüğünü verebilir [50,57]. Ölçek çok küçük olduğu için uç(tepe), yüzey ile direk temas halinde olmak zorunda değildir. Filmin yüzeyinden kaynaklı Van der Waals kuvvetleri katlı(cantilever) ucu saptırmak için yeterince güçlüdür. Uç sapması izotopik olarak cantileverin arka kısmında yoğunlaştırılmış bir lazer ışını ile saptanabilir.

Cantileverin sapsması bir lazer ışını kullanarak monitör edilirken AFM, piezoelektrik tüpüne bir voltaj uygulayarak örneğin hareketini kontrol eder. Kuvvet (denklem 3.7) Hooke yasası kullanılarak hesaplanır:

$$F = kx \quad (3.7)$$

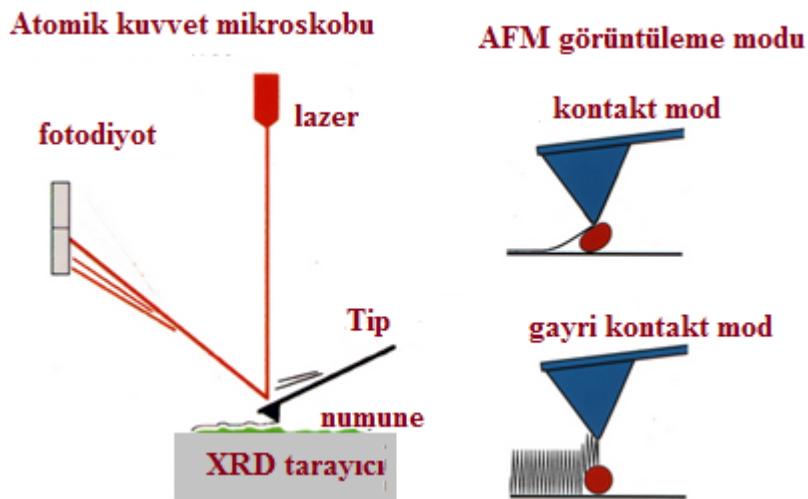
Burada F kuvvet, k ip sabiti ve x tip sapsmasıdır. Ayırım uzaklığı, tip sapsması ve örneğin yer değişiminin toplamıdır.

AFM işlemi genellikle tip hareketinin doğasına göre üç modardan biri olarak tanımlanır, Şekil 3.15.

Contact mod (<0,5 nm probe- yüzey ayırımı)

Tapping mod (0,5 nm probe- yüzey ayırımı)

Non-contact mod (0,1-10 nm probe-yüzey ayırımı )



Şekil 3.15. Görüntüleme modları AFM sisteminde[27]

### 3.3.5. SEM(Elektron Tarama Mikrokopi)

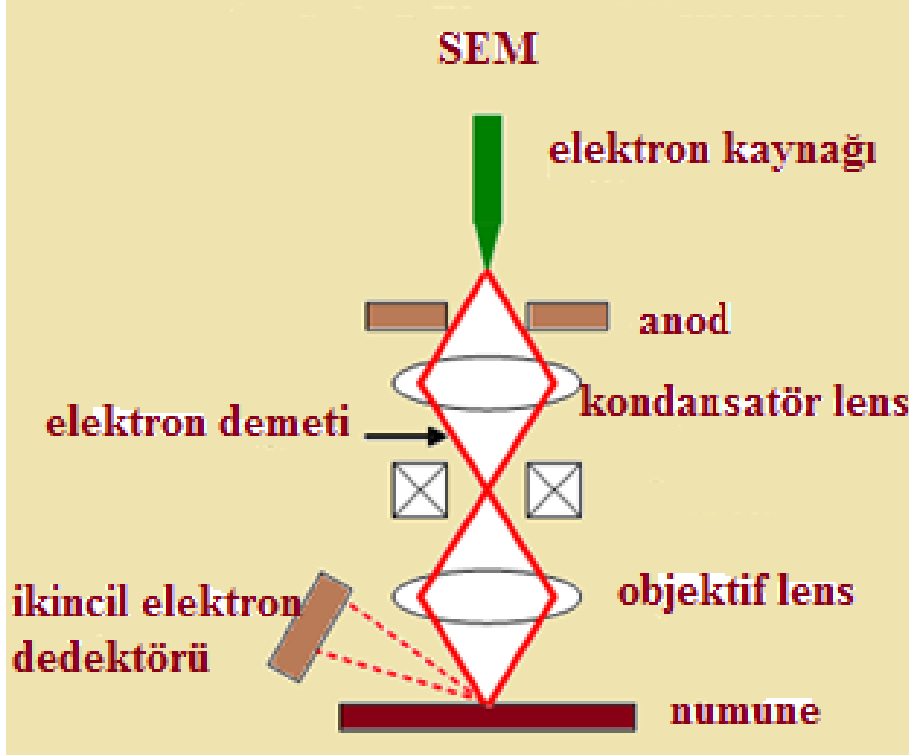
Elektron tarama mikroskobu (SEM), kimyasal bileşik karakterize etme ve mikro yapısal morfoloji analizi ve incelemesi için en çok yönlü araçlardan biridir, Şekil 3.16. SEM, elektronları yüksek enerjili bir ışın ile bir örneği tarayarak örneği görüntüler [61]. SEM,

optik mikroskobundan daha iyi bir çözünürlük sağladığı için elektron tarama mikroskobu, yüzeyi için aşırı derecede yararlı bir araçtır [60].



Şekil 3.16. SEM ve EDS sistemi (Bournemouth Üniversitesi)

Elektron tarama mikroskoplarının işlemsel ilkesi sıradan ışık mikroskobu gibidir fakat ışık elektronlar ile değişir. Elektron tarama mikroskobu iki tane temel kısma sahiptir. Elektronikler elektron ışınının örneğe kontrolü, sinyalleri tanımlama ve analiz etme, görüntü oluşturma ve mikroskobu kontrol etmek için diğer görevleri yapmada kullanılır. Elektron kümesi, elektron ışınlarını örneğe direk bir şekilde odaklayan lens gruplarını içeren elektronları oluşturur. Şekil 3.17 elektron tarama mikroskobunun şematik diyagramını gösterir.

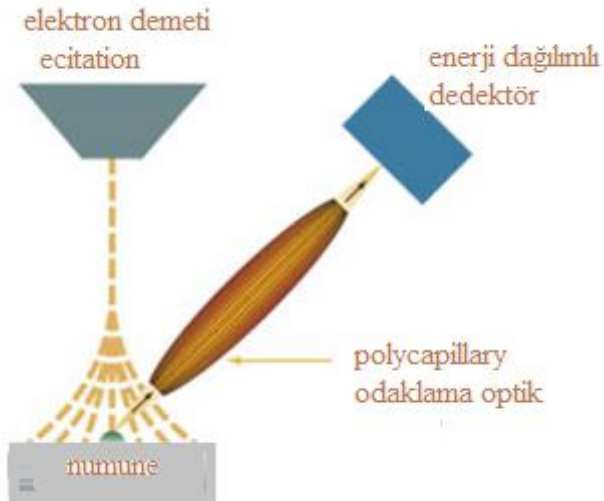


Şekil3.17. SEM sisteminin şematik diyagramı

### 3.3.6. EDS (Enerji Dağıtıcı X-Ray Spektroskopi)

EDS ya da Enerji Dağıtıcı X-Ray Spektroskopi bir örneğin kimyasal karakterize etme ya da elementsel analizi için kullanılan analitik bir tekniktir. Bir örnek ile bazı X-ray uyarma kaynağı etkileşimine dayanır. EDS analizi, örneklerin elementsel analizi için elektron uyarma mikroskobu araçlamada yaygınca kullanılmaktadır. SEM de katı bir örneğin yüzeyi elektronların yüksekçe odaklanmış ışını ile uyarılır. Bu, örnek içerisindeki elementlerden X-ışını fluorescence ye neden olur [66].

Polikapiler odaklama optiği, salınan X-ray ışınımı toplamının etkisini arttırmak için algılayıcı üzerindeki küçük elektron uyarma alanından salınan X-ray ışınımını odaklanmak için kullanılabilir. Bu, algılayıcı hassasiyetini ve elementsel ayırımını büyük oranda artırır.



Şekil 3.18. EDS sisteminin şematik diyagramı [28]

Şekil 3.18. Bu teknik arkasındaki temel prensip, farklı elementlerin eşsiz elektronik yapılarına sahip olması ve yüksek enerjili elektronlar ile bombardıman edildiklerinde karakteristik enerjilerin X-ray ışınlarını salmalarındır. Bununla birlikte örneğin elementel bileşimi tahmin edilebilir[75].

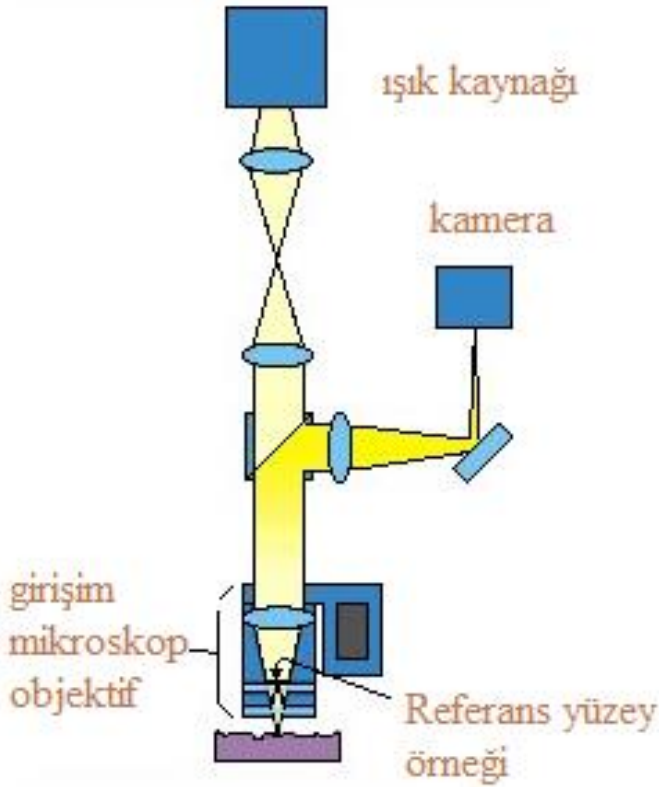
### 3.3.7. ZYGO (3-D tarama enterforemetre)

ZYGO; hızlı, temassız ve yüzey özelliğinin yüksek hassasiyetli 3D metrolojisini sunan beyaz bir girişimölçer sistemidir.



Şekil 3.19.3-D tarama enterforemetre sistemi Bournemouth Üniversitesinde

Tipik olarak bir girişimölçerde beyaz ışığın bir ışını ya da monokromatik ışık kaynağı iki tane ışına ayrılır ve sonra tekrar birleşir. Oluşan girişim olayı bir girişim eğrisi formunda kaydedilir. Girişim eğrisi, diskrit bir saçak desenidir ve dik uyarma girişimölçer ve faz-kaydırma girişimölçer gibi çeşitli faz haritalama teknikleri kullanarak analiz edilme ve veri ölçümü için bilgisayar ile yönlendirilir. Ortalama pürüzlülük, doruk koray değeri, 2D ve 3D sahte renk yükseklik haritası, eğim, histogram, taşıyıcı oranı, hacim analizi vb gibi örneğin veri analizinin sonunda uygulanan yazılıma bağlı olması mümkündür [67]. Şekil 3.20, beyaz ışık girişimölçerin uyarma girişimölçerinin tipik bir kurulumunu gösterir (WLI).



Şekil 3.20. WLI sisteminin şematik diyagramı [29]

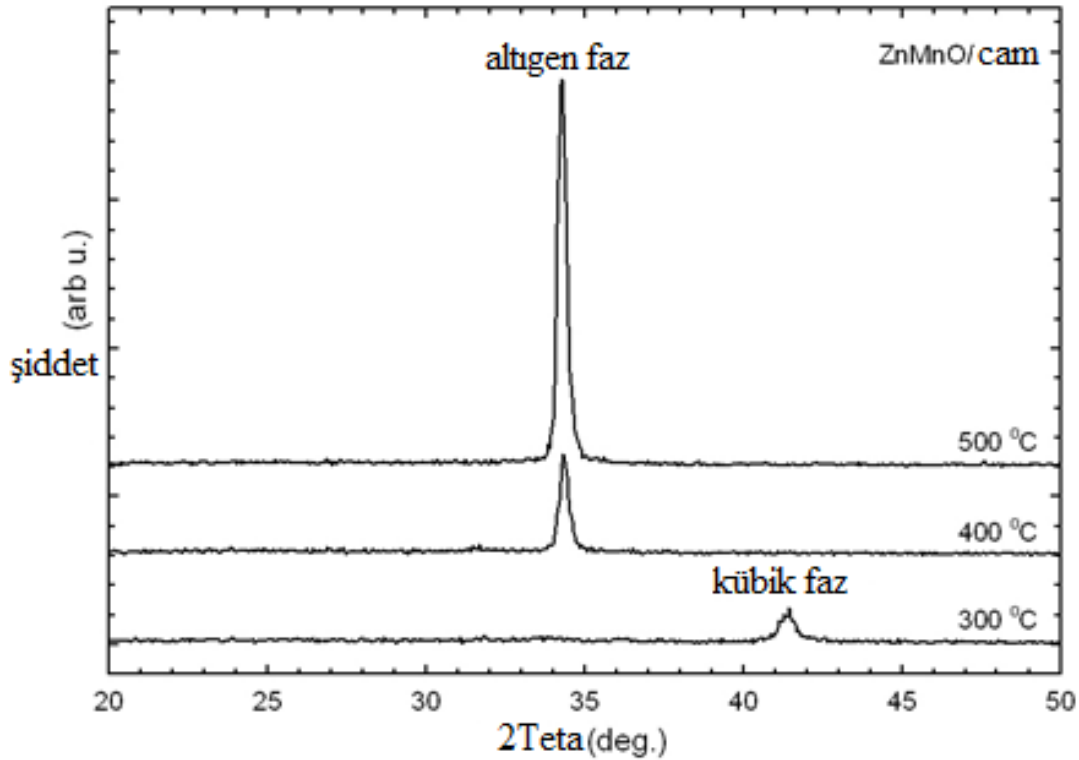


## 4. TARTIŞMA

### 4.1. Çökeltmiş ZnXO İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri

Filmlerin kristalit niteliği ve yapısı,  $\text{CuK}\alpha_1$  (1,540 Å) radyasyonu ve bir 4-kristalit Ge (220) simetrik monokromatör kullanarak X-ray kırınım ölçer ile gösterildi.

RF Magnetron Püskürtme tekniği ile çökeltmiş ZnMnO filmlerinin XRD sonuçları: ZnMnO iki yapıda kristalleşir; altıgen wurtzite ( yerel sıcaklık ve basınçta) ve kübik çinko karışımı. Altıgen yapı en kararlı olanıdır. Fakat ZnMnO ince filmleri, özellikle alaşımlama ve katkılamaya göre çökeltme metoduna ve koşullara bağlı olarak karışık fazda (kübik+ altıgen) yetişebilir. Karışık fazdan kaçınmak için büyüme sistemi ve filmler dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır.



Şekil 4.21. RF püskürtülen ZnMnO ince filmlerin farklı alt tabaka sıcaklıklarında cam üzerinde XRD piklerinin gösterisi

Şekilde açık olduğu üzere filmlerin kristal yapısı alttaş sıcaklığını arttırarak değiştirilir. 300 °C’de (210) tepe 41,417° de gözlemlenir. Bu da, filmin kübik yapıda olduğunu gösterir.

400°C film yapısının, (002) tepe 34,432° de gözlemlenildiği için altıgen yapıya değiştirdiği görülür. Çizelge 4.1. de yarım maksimum genişlik (FWHM) değerleri listelendiği üzere (002) tepe 500 °C’de daha şiddetlenir ve sivrileşir. Şiddetin artışı ve daha sivri FWHM, ZnMnO ince filmlerinin kristalleşmesinin gelişimini gösterir.

Filmlerin tanecik boyutu Scherrer’in formülü kullanılarak FWHM değerlerinden hesaplandı[41]. Tanecik boyutu 43,89’nm den 28,97’ye kadar arttı ve FWHM alttaş sıcaklığının artışı ile 0,327’den 0,506’ya arttı. Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere kübiğin  $c_{film} = b_{film} = c_{film}$  örgü parametreleri ve altıgen yapının  $c_{fil}$  (çünkü c yönlü) bulk değerleri (kübik yapı için  $c_{bulk} = 4,87100$  JCPDS kart No. 01-076-1364 ve altıgen yapı için  $c_{bulk} = 5,20661$  JCPDS kart No. 00-036-1451) ile uyumlu olduğu bulundu. Bu sonuçlar, Mn iyonlarının 300 °C alttaş sıcaklığında ZnO yapısını değiştirmesi ile Zn bölgelerinin yerine geçmeye kalkındığını gösterir. Fakat alttaş sıcaklığının artması ile Mn, filmdeki Zn bölgelerinin yerlerini değiştiren Mn ve ZnO iyonlarının yapısını etkilemedi. Ek olarak c-ekseni, 500 °C alttaş sıcaklığında güçlü bir istenen yönelimdir. Bunun anlamı 500 °C’de çökeltilen ZnMnO ince filminin en iyi kristalliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. ZnMnO ince filmlerin XRDsonuçlar farklıcamalttaş sıcaklıklarda

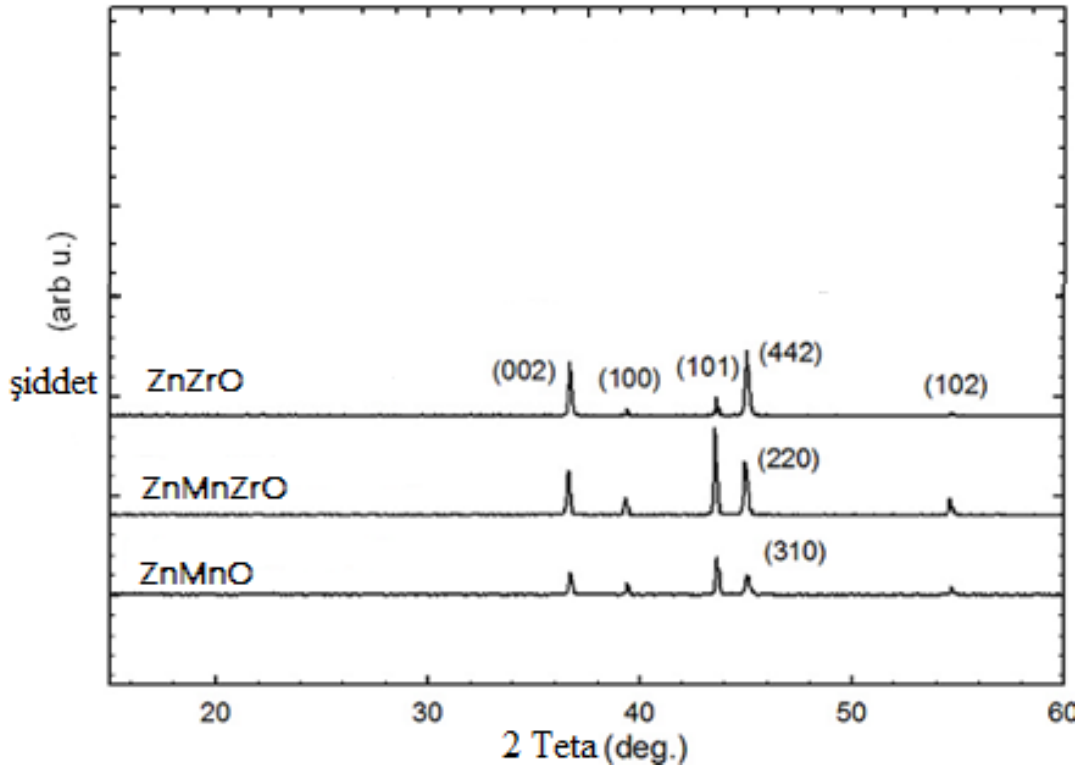
| alttaş sıcaklığı. (°C) | yapı       | (hkl) | 2θ (deg.) | d (Å)  | FWHM (deg.) | Tane Boyutu (nm) | $c_{film}$ (Å) |
|------------------------|------------|-------|-----------|--------|-------------|------------------|----------------|
| 300                    | kübik      | 210   | 41,52     | 2,1731 | 0,506       | 28,97            | 4,8594         |
| 400                    | hegzagonal | 002   | 34,33     | 2,6100 | 0,341       | 42,08            | 5,2201         |
| 500                    | hegzagonal | 002   | 34,39     | 2,056  | 0,327       | 43,89            | 5,2113         |

Oksijen boşluklarının filmlerdeki ferromanyetizma olan etkisini araştırmak için 450 °C alttaş sıcaklığında RF magnetron püskürtme tekniği kullanarak Gopalakrishnan ve diğerleri, Si alttaşlarında ZnMnO ince filmleri hazırladı. 400 °C üzerindeki alt taş sıcaklığında sonuçlarımız aynı olduğu üzere bunların X-ray dağılım araştırmaları, altıgen

wurtsizte yapısına sahip olan ve herhangi ikincil fazların oluşumundan uzak olmasına karşılık gelen (002) yönelimi boyunca filmlerin güçlüce yöneldiğini ortaya çıkardı.

Puls elektro depozisyon tekniği ile çökeltilmiş ZnXO (X=Mn, Zr, MnZr) ince filmlerinin XRD sonuçları: Şekil 4.2 de gösterildiği üzere puls kaplama filmlerinin kristal oldukları görülebilir. Bunlar polikristaldir ve sırayla 0,39  $\mu\text{m}$ , 0,44  $\mu\text{m}$ , 0,43  $\mu\text{m}$  pürüzlü (002), (100), (101) ve (102) tepe yapıları gösterirler. İnce filmlerin yapısından dolayı poli kristal ince filmleri yüksek pürüzlülük tutar, hassastır ve elektron mikroskopu ile 3-D tarama girişimölçer sonuçlarını onaylar. Altıgen(wurtzite) yapısına karşılık ZnO,  $a=2,65(\text{Å})$  ve  $c=4,93(\text{Å})$  örgü sabitli  $2\theta \approx 36,49'$  da neredeyse bütün örneklerinde bulundu (referans kodu: : 00-030-1483).

İnce filmlerin tanecik boyutu Scherrer'in formülü ile tahmin edildi [41];



Şekil 4.22. Puls metod ile kaplanmış ince filmlerin XRD sonuçları çelikaltaş üzerinde

$$D = k\lambda / B \cos \theta \quad (4.1)$$

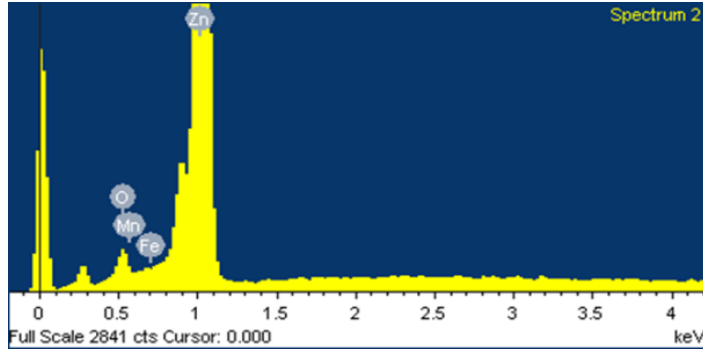
Burada D tanecik boyutu, k sabit (=0,9),  $\lambda$  X-ray ışını dalga boyu (=1.540598 Å), B çizgi genişliği (FWHM) ve  $\theta$  Bragg açısıdır. Puls kaplama filmleri için ZnMnO, ZnMnZrO ve

ZnZrO ortalama tanecik boyutu sırayla 8,79, 8,71, 7,51 nm dir ve koşul parametreleri ile fabrikasyon metoduna çok duyarlıdır. XRD ölçümünün sonucu faz mevcudu (tepe konumları), faz konsantrasyonları (tepe yükseklikleri) ve kristal boyutunu (tepe genişlikleri) gösterir. Çizelge 4.2 çökelti verisini ve ince filmlerin detayını gösterir.

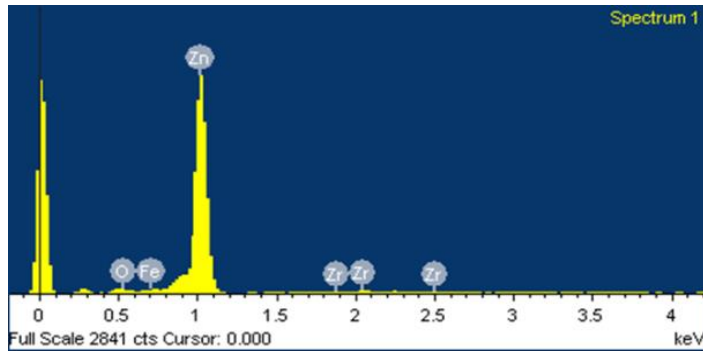
Çizelge 4.2. İnce filmlerin detayı ve biriktirme verileri

| İnce filmler | Pürüzlülük | Ortalama tane boyutu | Bant aralığı (PL) | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/l) | ZrO <sub>2</sub> (g/l) | kalınlık |
|--------------|------------|----------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|----------|
| ZnMnO        | 0,39       | 8,79                 | 3,317 eV          | 10                                   | –                      | 5 µm     |
| ZnZrMnO      | 0,44       | 8,71                 | 3,308 eV          | 10                                   | 10                     | 5 µm     |
| ZnZrO        | 0,43       | 7,51                 | 3,305eV           | –                                    | 10                     | 5 µm     |

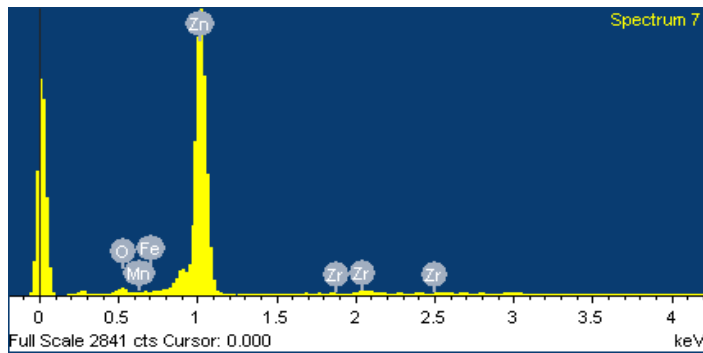
ZnXO ince filmlerinin EDS sonuçları: Şekil 4.3 çökeltideki oksijen, magnezyum, zirkonyum ve çinko elementlerinin varlığını doğrulayan EDS analizi ile elde edilen sonuçları gösterir. Görüldüğü üzere Magnezyum ile Oksijen miktarı elektrodeposited ince filmlerinde önemli derece yüksektir. Ayrıca elektrodeposition ince filmlerindeki Fe varlığı çelik alttaştan dolaydır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.23. İnce filmlerin EDS sonuçları: a) ZnMnO b) ZnZrO c) ZnZrMnO ince filmleri

Çizelge 4.3. Elementlerin konsantrasyonu

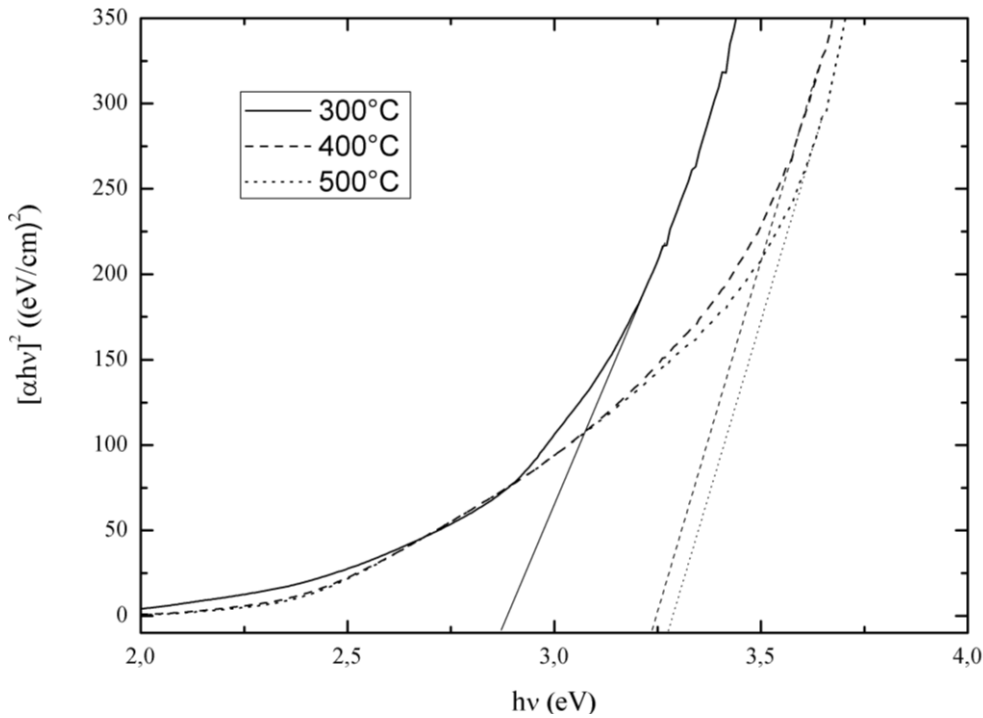
| İnce filmler | Zn(wt%) | Zr(wt%) | Mn(wt%) | O(wt%) | Fe(wt%) |
|--------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| ZnMnO        | 86,67   | –       | 0,971   | 9,93   | 2,43    |
| ZnZrO        | 85,74   | 1,17    | –       | 8,90   | 4,19    |
| ZnZrMnO      | 82,90   | 1,64    | 0,74    | 11,51  | 3,21    |

## 4.2. Çökeltilmiş ZnXO İnce Filmlerinin Optik Özellikleri

Filmlerin optik bant aralığı, bir uyarma ışık kaynağı olan 50 mW HeCd lazer ( $\lambda = 325 \text{ nm}$ ) kullanarak oda sıcaklığı PL ölçümleri (HORIBA JobinYvon) ile yürütüldü.

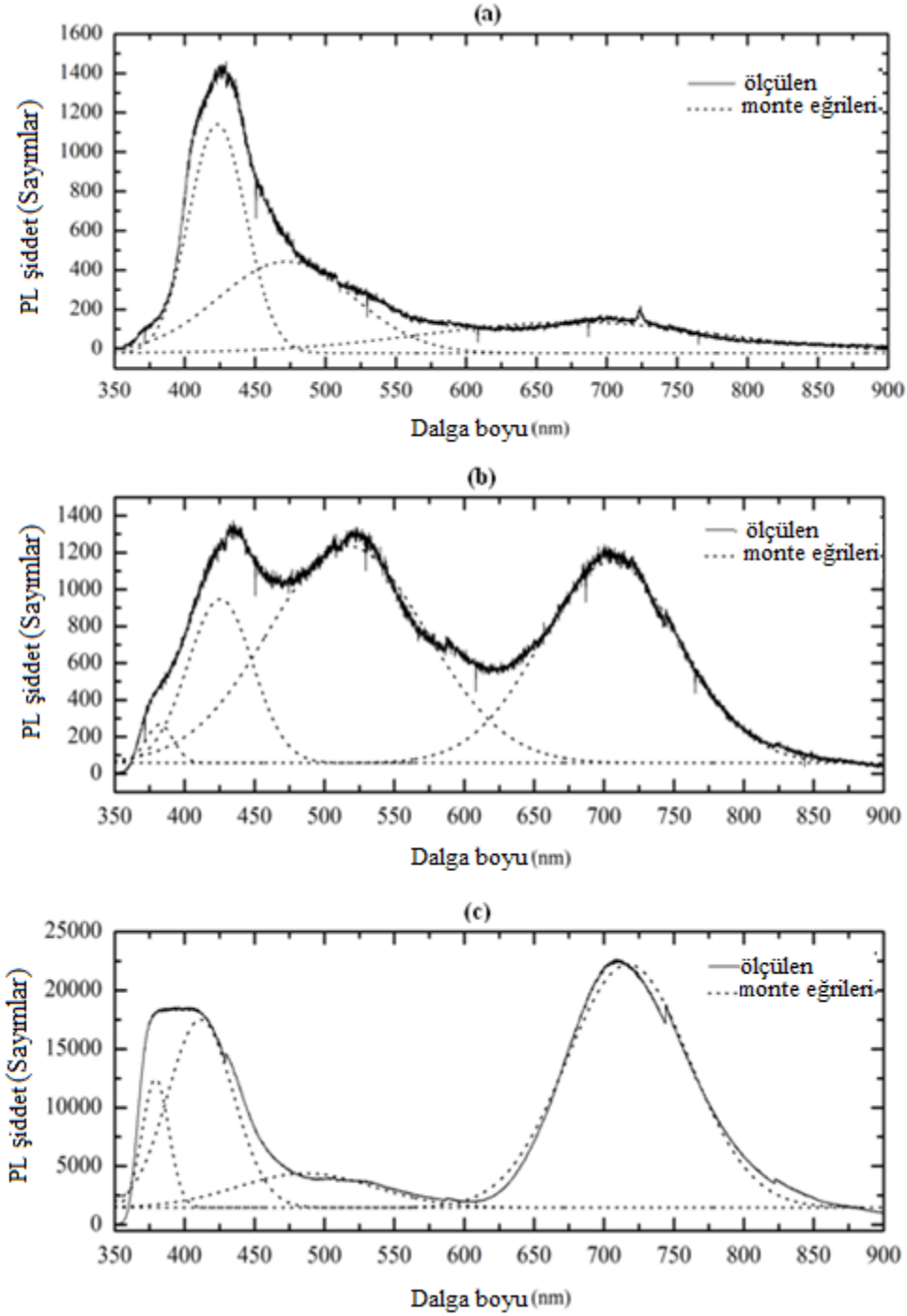
### 4.2.1. Fotolüminesans sonuçları

RF Magnetron püskürtme tekniği ile çökeltilen ZnMnO filmlerinin fotolüminesans sonuçları:



Şekil 4.24.  $(\alpha hv)^2$  karşı  $hv$ , ZnMnO ince filmlere

Filmlerin optik bant aralıkları sırayla 300 °C, 400 °C ve 500 °C alttaş sıcaklıklarında 2,88 eV, 3,24 eV ve 3,28 eV bulundu. Baghdad [45] ve arkadaşları, optik bant değerinin Burstein–Moss etkisi yüzünden arttığını not ettiler. Yadav ve arkadaşları [46] Mn doplu ZnO filmlerinin bant aralığının Zn bölgesinde Mn nin birleşimi ile hafifçe arttığını rapor ettiler. Bu çalışma ZnMnO ince filmlerinin optik bant aralıklarının kristal yapıdan etkilendiğini gösterdi. Sonuçlardan açık olduğu üzere filmlerin kübik kristal yapıları, filmlerin altıgen kristal yapısına göre daha düşük bir bant aralığı sağladı. Ek olarak filmlerin alttaş sıcaklıklarının artışı altıgen yapı için optik bant aralıklarının artışına neden oldu.

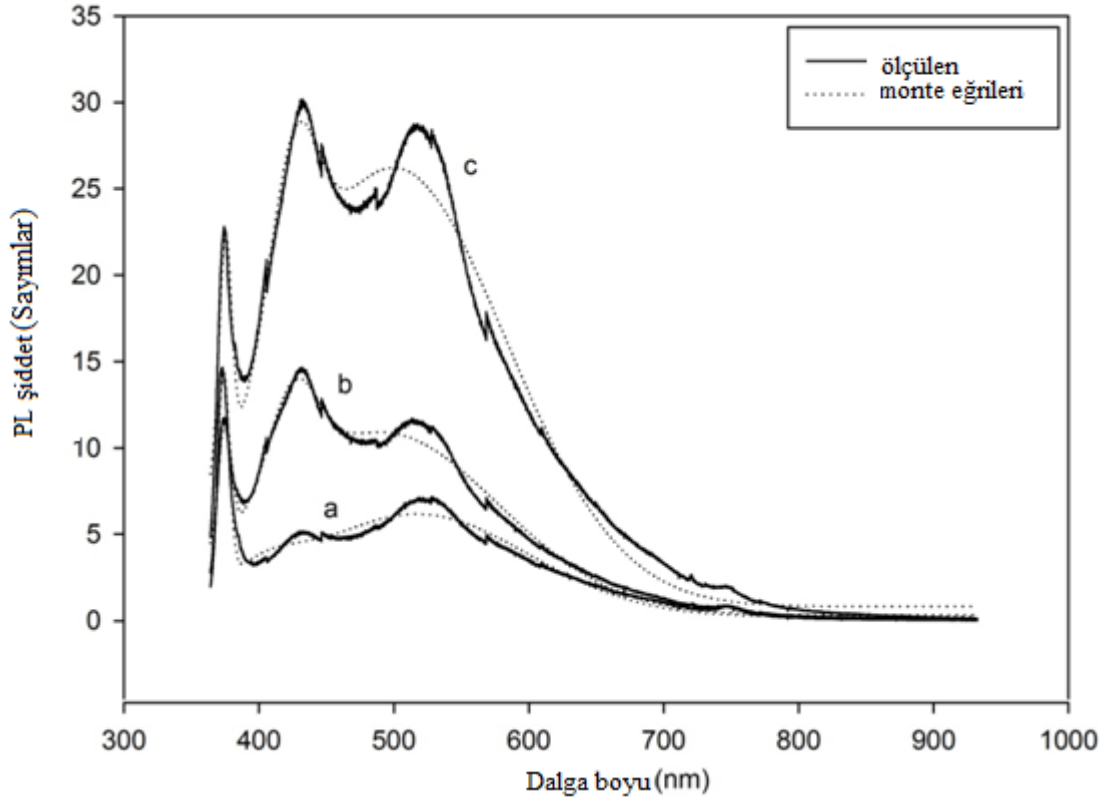


Şekil 4.25. Oda sıcaklığı PL spektrumu ve Gauss uydurma RF-püskürtülen ZnMnO ince filmler için cam yüzeylerde farklı sıcaklıklarda (a) 300 °C, (b) 400 °C ve (c) 500 °C

Çoklu-tepeleri fit etmenin Gaussian analiz metodu, film tepelerinin salımının araştırılması için kullanıldı. Bant kenarı salımı (NBE) yanında (banttan banda geçiş) tepe sırayla 2,93 eV (423 nm); 3,24 eV (382 nm); 3,27 eV (379 nm)de gözlemlendi. UV-Vis

spektrometresinden filmlerin benzer optik bant aralığının bu çalışmada sonuçlandığı bulundu. Kübik yapıda güçlü UV ve zayıf bozukluk salımı olmasına rağmen UV salımı, altıgen yapılardaki bozukluk salıma göre çok daha zayıftır. Bilindiği üzere mavi ve yeşil salım, oksijen boşluklarına ve çinko çatlaklarına dayandırılır. Kırmızı salım oksijen çatlaklarının bozukluklarına dayandırılır ( $O_i$ ) [47, 48]. Bu bilginin ışığında 500 nm civarında yeşil salımın, yapılardaki oksijen boşluklarından ötürü altıgen ZnMnO ince filmlerinde gözlemlendiği söylenebilir. Fakat yeşil salım tepelerinin şiddetinin, altta sıcaklığının artışı ile azalması önemlidir. Bunun anlamı XRD ve PL sonuçlarının ayrıca birbirini desteklediğidir. 500 °C de çökeltilen ZnMnO ince filmlerinin daha düşük altta sıcaklıklarına göre daha iyi kristalize olduğu görülür.

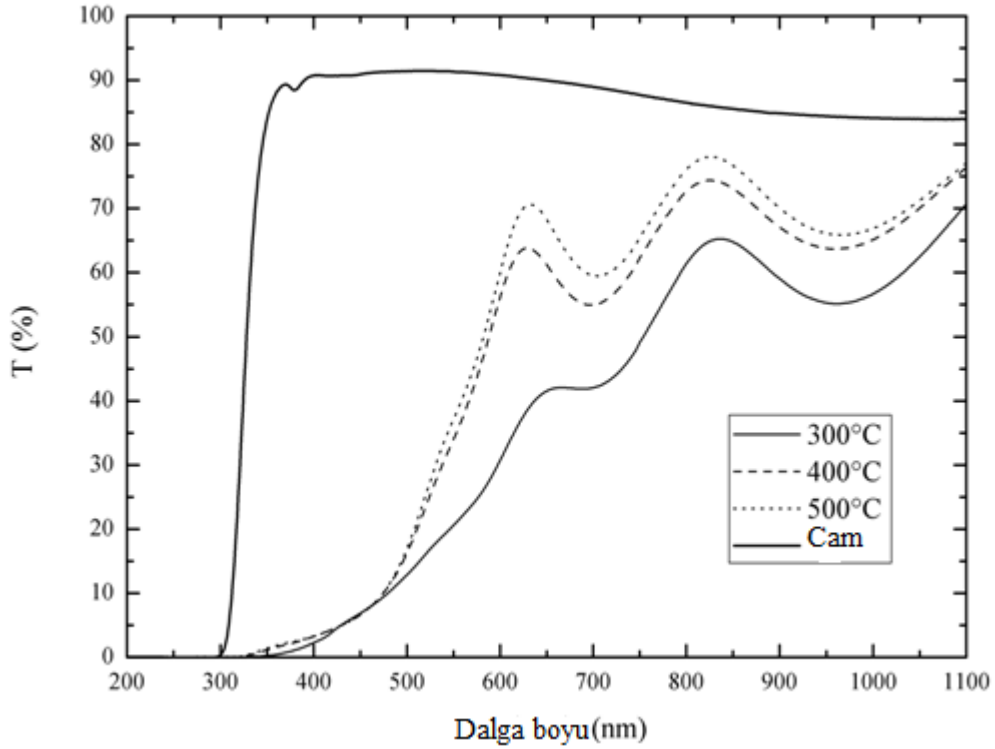
Puls Elektrodeposited ZnXO ince filmlerin Fotoluminesans sonuçları: Çelik altta üzerinde çökeltilen ZnXO ince filmlerden PL spektumu oda sıcaklığında ölçüldü. Bir ZnXO ince filmin tipik bir PL spektumu Şekil 4.6 da gösterilir ve bir Gaussian metodu ile fit edildi. Filmlerin yan kenar salımın bandındaki ilk maksimum sırayla 3,317 eV, 3,308eV, 3,305eV bant aralığı ile 373 nm(ZnMnO), 374 nm(ZnMnZrO) ve 375 nm(ZnZrO) ye yerleştirildi. İnce filmlerin bant aralığı  $E_g=hc/\lambda$  formülü ile hesaplandı. Temel olarak üç fotoluminesans salım aralıkları bu örneklerde bulundu; mor ötesi salımı 375 nm de, mor bir salım yaklaşık 400 nm de ve yeşil bir salım yaklaşık 520 nm de merkezlendi [47].



Şekil 4.26. Oda sıcaklığı PL spektrumu ve Gauss uydurma ince filmler için a) ZnMnO b) ZnMnZrO c) ZnZrO

#### 4.2.2. UV- Vis spektrometre sonucu

ZnMnO ile püskürtülmüş ince filmlerin UV-Vis spektrometre sonuçları: Optik geçirgenlik ölçümleri, RT de 200-1100nm aralığında UV-Vis spektrometre (Lambda 2S, Perkin Elmer) ile uygulandı. Filmlerin geçirgenliği altta sıcaklığına göre değişti. Bant aralığı filmlerin kenar soğurmasından tahmin edildi. Optik soğurma katsayısı  $\alpha$  [44] formülü kullanarak türetebilir.



Şekil 4.27. Cam alttaşlar üzerine RF-püskürtülen ZnMnO ince filmler için 200-1100 nm aralığında bir dalga boyunun bir fonksiyonu olarak geçirgenlik spektrumları

$$\alpha hv = A (hv - E_g)^m \quad (4.2)$$

Burada A bir sabit, h Plank sabiti, v gelen radyasyonun frekansı,  $E_g$  enerji aralığı ve m değeri direkt ve dolaylı geçişler için sırayla 1/2 ve 2 dir.  $E_g$ ,  $(\alpha hv)^m$  karşı  $hv$  grafiği çizerek elde edilebilir. Bu grafiklerin enerji eksenindeki ekstra polasyonları enerji bant aralıklarını verir.

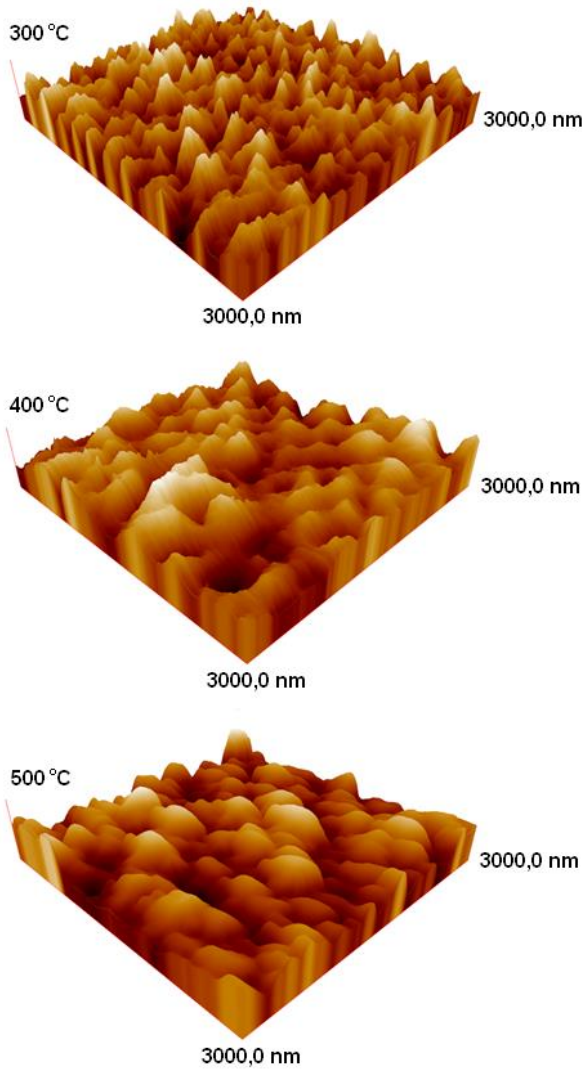
### 4.3. Çökeltilmiş ZnXO İnce Filmlerin yüzey morfolojisi

#### 4.3.1. Atomik kuvvet mikroskobu sonuçları

Filmlerin yüzey morfolojileri, dinamik mod tarayıcısı kullanılarak yüksek performanslı atomik kuvvet mikroskobu (hpAFM, NanoManyetik Araçlar) ile karakterize edildi.

RF Manyetronu püskürtmesi ile çökeltilmiş ZnMnO ince filmlerinin AFM sonuçları:Şekil 4.8. farklı sıcaklıklardaki cam alttaşları üzerine RF püskürtülmüş ZnMnO ince filmlerinin

3x3 $\mu$  lik tarama alanlı ve üç boyutlu (3D) AFM şekillerini gösterir. Filmlerin yüzey pürüzlülüklerinin ortalama karekök değerleri, nano ölçüdeki filmlerin yüzey homojenliğini anlamak için ölçüldü. Çeşitli alttaş sıcaklıklarında çökeltilen filmlerin farklı pürüzlülük sıcaklıklarına sahip olduğu bulundu. Sırasıyla 300°C, 400°C ve 500°C alt katman sıcaklıklarındaki örneklerin yüzey pürüzlülükleri için 1.09 nm, 1.61 nm ve 4.66 nm nin ortalama karekök değerleri saptandı. Ortalama karekök değerlerinin artışı Şekil 4.8’de görüldüğü üzere tanecik boyutunun artışı ile ilişkilendirilir.



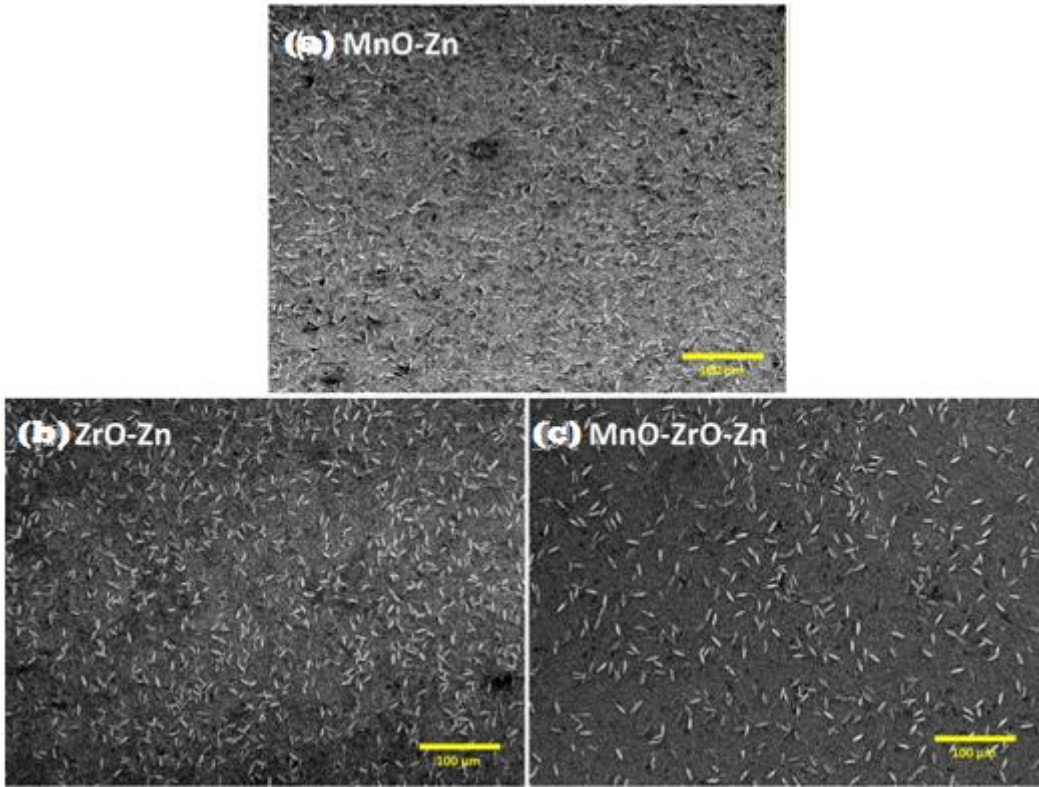
Şekil 4.28. ZnMnO ince filmlerin 3D AFM görüntüleri

Faz dönüşümünün AFM görüntülerinden gözlemleri, XRD sonuçları ile gözlenen eğilim ile uyumlu diğer bir önemli sonuçtur. ZnMnO ince filmlerinin yüzey yapısının 300 derece yüzey sıcaklıklarındaki piramitsi şekilli kristalitler olduğu görüldü. Piramitsi şekle sahip kristal, kübik kristalitler ve prizma şekilli kristalitlerin altıgen olanlarının tipik bir

formudur. Daha yüksek alttaş sıcaklıklarında kristalitlerin şekli piramit geometrisinde daha iyi tanımlıdır. Ayrıca yüzey morfolojisi nano ölçüde çok fazla düzenlidir. AFM sonuçları, ZnMnO ince filmlerinin yüzey morfolojisinin alttaş sıcaklığından fazlaca etkilendiğini gösterir.

#### 4.3.2. Taramalı elektron mikroskopik sonuçları

ZnXO ince filmlerin SEM sonuçları:

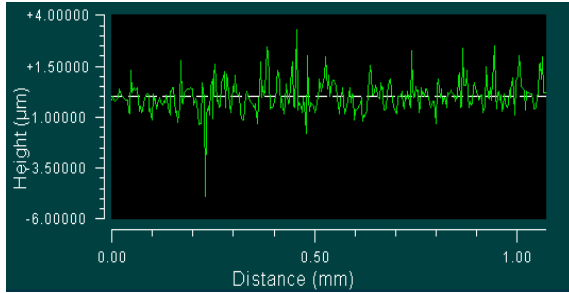


Şekil 4.29. Elektrodepozisyon ince filmlerin SEM görüntüleri (a-c)

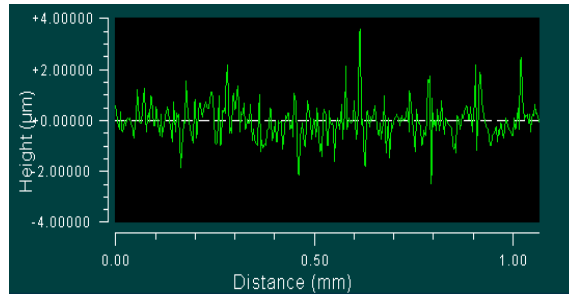
Üç elektrodeposition filmlerin yüzey morfolojisi SEM görüntüsü kullanarak çalışıldı. Şekil 4.9, filmlerin yüksek poroziteye ve Şekil 4.30 daki 3-D girişimölçer (ZYGO) ile belirlenen  $R_a$ : 0.39 µm (a),  $R_a$ : 0.43 µm (b),  $R_a$ : 0.44 µm (c) ortalama pürüzlülüğe sahip olduğunu gösterir.

#### 4.3.3. 3-D tarayıcı interferometre sonuçları

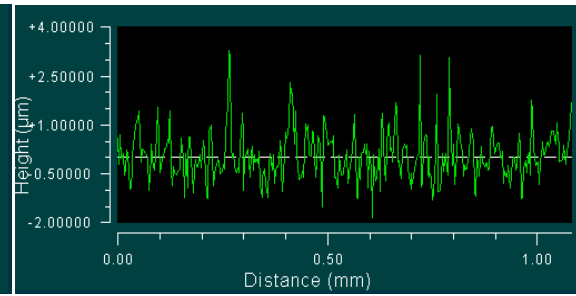
ZnXO ince filmlerin 3-D tarayıcı interferometre (ZYGO) sonuçları:



Elektrodepozisyon ZnMnO ince filmlerin Ra:0.39 µm



Elektrodepozisyon ZnZrO ince filmlerin Ra: 0.43 µm






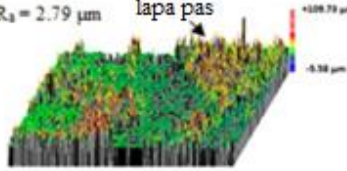


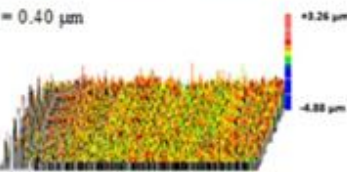




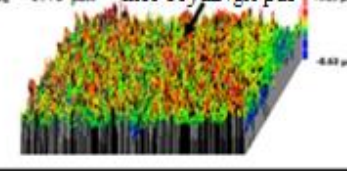
Elektrodepozisyon ZnMnZrO ince filmlerin Ra: 0.44 µm

Şekil 4.30. ZnXO ince filmlerin pürüzlülüğü 3-D tarama enterforemetre ile

Şekil 4.11, ön yüzü ve çelik alttaşa çökeltmiş ZnMnO, ZnZrO ve ZnZrMnO kaplamalarının 3-D yüzey görüntülerini gösterir. Sonrasındaki aşındırma testi gözlemleri, elektrodepozitlerin yüzey morfolojisinin çözelti bileşimi türüne bağlı olarak yoğun bir kırmızı-kahverengi pastan (Zn-Mn) ince beyaz/gri kararsız bir pasa değişkenlik gösterdiğini açıklar. Bu mikrografikler, Zr ve Mn nin küçük bir miktarının Zn matrislerindeki birleşiminin önemli derecede Zn-Mn ve Zn-Zr-Mn alaşımlarının korozyon morfolojisini değiştirdiğine işaret eder. 3D tarama girişimölçer tekniği, ortalama yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) ve tepe yüzeyi yüksekliğini (PSH) iki ölçüm parametresi olarak kullanarak Zn-Mn ve Zn-Zr-Mn alaşımların korozyon miktarını değerlendirmek için uygulandı. Sonuçlar derince analiz edildi ve en iyi korozyon dirençli kaplamayı tanımak için karşılaştırıldı.

Zn-Mn örneğinin ön ve sonrası Korozyon gözlemlerinin karşılaştırılması pas gelişiminin 2,94 µm den 109,73 µm ye gelişiminden sonra tepe yüzey yüksekliğini (PSH) ortaya çıkardı. Benzer şekilde ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) 0,57 µm'den 2,79 µm'ye değişti. Zn-Zr örneğine benzer şekilde tepe yüzey yüksekliği (PSH) pas gelişiminden sonra 3,26 µm den 17,54 µm'ye ve ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) 0,4 µm'den 1,75

$\mu\text{m}'$ ye değişti. Ayrıca Zn–Zr–Mn örneği için tepe yüzey yüksekliği (PSH)  $4,31 \mu\text{m}'$ den  $9,29 \mu\text{m}'$ ye ve ortalama yüzey pürüzlülüğü  $0,64 \mu\text{m}'$ den  $1,45 \mu\text{m}'$ ye değişti. Bütün örnekler için ön ve sonrası korozyon sonuçları her bir örnek için PSH ve  $R_a$  nın NaCl çözeltisi ile işlenmesinden sonra pasın gelişiminden dolayı arttığını gösterir. Fakat PSH ve  $R_a$  daki % en fazla artış Zn–Mn için bulunurken en azı Zn–Mn–Zr için bulundu.

| numune   | analiz tipi      | Ön korozyon testi   | sonrası korozyon testi   |
|----------|------------------|---|--|
| Zn-Mn    | Ön yüz görüntüsü |                                |                               |
|          | 3D yüzey tarama  | $R_a = 0.57 \mu\text{m}$<br>  | $R_a = 2.79 \mu\text{m}$<br>  |
| Zn-Zr    | Ön yüz görüntüsü |                              |                             |
|          | 3D yüzey tarama  | $R_a = 0.40 \mu\text{m}$<br> | $R_a = 1.75 \mu\text{m}$<br> |
| Zn-Zr-Mn | Ön yüz görüntüsü |                              |                             |
|          | 3D yüzey tarama  | $R_a = 0.64 \mu\text{m}$<br> | $R_a = 1.45 \mu\text{m}$<br> |

Şekil 4.31. Elektrodpozisyon ince filmlerin korozyon testi sonuçları

## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak farklı alttaş sıcaklıklarındaki ZnMnO ince filmleri, RF magnetron püskürtmesi ile başarılı bir şekilde cam alttaşlarında çökeltmiştir. Elde edilen filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri araştırıldı. Kübik evreden altıgen evreye yapısal dönüşüm sadece yapısal değil aynı zamanda morfolojik ve optiksel sonuçlarla incelendi. Bu sonuçlar RF-püskürtmeli ZnMnO ince filmin yapısal dönüşüm için olan kritik sıcaklığın 300°C ile 400 °C arasında olduğunu gösterdi. 500°C alt katman sıcaklığında hazırlanmış film en iyi kristallik ve alt katmana dik olan c eksenine doğrultusunda (002 ) çok iyi bir şekilde yönlendirilmeye sahiptir. Filmlerin yüzeyi son derecede düz ve nano ölçekte değişmezdir. Filmin optiksel enerji bant aralığı kristal yapısı tarafından etkilendiği bulunmuştur. Filmin niteliği birikme aşaması sırasında alttaş sıcaklığından geniş ölçüde etkilenmiştir. Dahası ZnMnO ince filmleri kimyasal olarak aktif olan RF magnetron püskürtme birikme aşamasında çok iyi bir şekilde saf olmayan filmlerin oluşumuyla sonuçlanan yüksek saflıkta ZnO tozuyla birlikte üretilebilir. Buna karşılık vakum aşaması masraflı bir aşamadır ve bazı soyma aşamaları zordur.

Atım elektrikli biriktirmesi ince film üretimlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılır ve sonuçta tabakanın kalınlığı, tanecik büyüklüğü, pürüz ve yoğunluktaki hataların değişmezliğini kontrol etmenin zor olduğunu gösterir. Farklı nano parçacıklardan içeren ZnXO ince filmleri çelik katmanda atım elektrikli biriktirmesi yöntemiyle 30 C 'da film banyosu sıcaklığında biriktirilmiştir. Yapısal sonuçlar ZnXO yüksek derecede pürüzlü çoklu kristaldir. Aşınma testleri Mn ve Zr'nin ve ikisinin birleştirilmiş (Zn-Zr-Mn) 'nin ayrı ayrı Zr matrisine eklenmesine kıyasla daha yararlı eklerdir. Mn ve Zn kombinasyonu, galvenizelenmiş kaplama direncini atmosferik aşınmaya önemli derecede değiştirir.

Sonuç olarak, ZnXO ince filmleri kimyasal ve fiziksel yöntemlerle başarılı bir şekilde üretilebilir. İki metodun yapısal ve morfolojiksel özellikleri araştırılır. İki metottaki filmin yapısı; kalınlık, pürüzlülük ve kaplama hızı düşünülerek farklı uygulamaları yapılır.



## KAYNAKLAR

1. Panda,S.K., Jacob,C.(2012). Preparation of transparent ZnO thin films and their application in UVsensor devices. *Solid State Electronics*,73,44-50.
2. Yanagitani, T.,Kiuchi, M., 563-8577.Matsukawa, M., Watanabe, Y. (2007).Shear mode electromechanicalcoupling coefficient  $k_{15}$  and crystallites alignment of (112 $\bar{0}$ ) textured ZnO films.*Journal Of Applied Physics*,102, 024110.
3. Suche, M.,Christoulakis,S., Moschovis,K., Katsarakis, N., Kiriakidis, G.(2006).ZnO transparent thin films for gassensor applications.*Thin Solid Films*,515, 551–554.
4. Znaidi,L., Soler Illia,G.J.A.A.,Benyahia,S., Sanchez,C., Kanaev, A.V. (2003).Oriented ZnO thin films synthesis by sol–gel process for laser application. *Thin Solid Films*,428, 257–262.
5. Zhou, L., Yang, R., Yu, M., Bai, F., Wang, C.L.Z.L.(2008).Cellular Level Biocompatibility and Biosafety of ZnO Nanowires. *The journal of Physical chemistry*,112, 20114–20117.
6. Chen,B.J.,Sun,X.W.,Xu, C.X.(2004).Fabrication of zinc oxide nanostructures on gold-coated silicon substrate by thermal chemical reactions vapor transport deposition in air.*Ceramics International*,30, 1725–1729.
7. Peng, Z., Dai, G., Chen, P., Zhang, Q., Wan, W., Zou, B.(2010).Synthesis, characterizationand optical properties of star-like ZnOnanostructures. *Materials Letters*,64, 898–900.
8. Bai, H., He, S., Liu, G., Cao, Q., Zhu, D., Chen, Y., Yan, S., Mei, L.(2012).Photoluminescence property of ferromagnetic ZnMnO thin films. *Physica B*.407, 2126-2130.
9. Savchuk,A.I., Perrone, A., Lorusso, A., Stolyarchuk,I.D. Savchuk,O.A.,Shporta,O.A. (2014).ZnMnO diluted magnetic semiconductor nanoparticles: Synthesis bylaser ablation in liquids, optical and magneto-optical properties. *Applied Surface Science*,302, 205–208.
10. Pradhan,A. K.,Zhang, K., Mohanty,S., Dadson,J. B., Hunter, D., Zhang, J., and Sellmyer,D. J.,Roy,U. N., Cui,Y., Burger,A., Mathews,S., Joseph,B., Sekhar, B. R.,RoulB. K.(2005). High-temperature ferromagnetism in pulsed-laser deposited epitaxial. ZnMnO thin films: Effects of substrate temperature.*APPLIED PHYSICS LETTERS*,86, 152511.
11. Ying-bin, L., Zhi-Hai,L., Wen-Qin, Z., Zhong Lin, L., Jian-ping, X.,Jian-Ti, J., Xing-Chong, L., Jian-Feng, W., Li-Ya, L., Feng-ming, Z., You-Wei, D., Zhi-Goa, H., Jian-Guo, Z. (2007). Room-Temperature Ferromagnetic ZnMnO Thin Films Synthesized by Plasma EnhancedChemical Vapour Deposition Method. *CHIN.PHYS.LETT*,Vol 24,No72085.

12. Ogata, K.i., Kawanishi, T., Maejima, K., Sakural, K., Fujita S., Fujita, S. (2001).Improvements of ZnO Qualities Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy Using a Molecular Beam Epitaxy Grown ZnO Layer as a Substrate.*Jpn. J. Appl. Phys*, Vol. 40 , pp. L 657–L 659.
13. Iligan, S., Caglar, Y., Caglar. M. (2008).Preparation and characterization of ZnO thin filmsdeposited by sol-gel spin coating method.*Journal of optoelectronics and advanced materials*, Vol. 10, 2578 – 2583.
14. Ayouchi,R., Martin,F., Leinen,D., Ramos-Barrado,J.R.(2003) .Growth of pure ZnO thin films prepared by chemical spray pyrolysis on silicon. *Journal of Crystal Growth* ,247 497–504.
15. Craciun,V., Elders,J., Gardeniers,J. G. E., Boyd.Ian W.,(1994). Characteristics of high quality ZnO thin films deposited by pulsed laser deposition. *Appl. Phys. Lett.* 65 (23), 2963- 2965.
16. Khan, Z.R., Khan, M.S., Zulfequar, M., Khan. M.S. (2011). Optical and Structural Properties of ZnO ThinFilms Fabricated by Sol-Gel Method.*Materials Sciences and Applications*, 2, 340-345.
17. Nunes, P., Fortunato, E., Tonello, P., Braz Fernandes, F., Vilarinho, P., Martins, R. (2002). Effect of different dopant elements on the properties of ZnO thin films.*Surface Engineering Surface Instrumentation and Vaccum Technology.* 64, 281–285
18. Henr, M., Harrison, P.M., Wendland, J.(2007)Laser Direct Write of Active Thin-Films on Glass for Industrial Flat Panel Display Manufacture *JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 2, No. 1,49 -56
19. Kim, H., Horwitz,1, J.S.,Kim,W.H., Makinen, A.J.,Kafafi,Z.H.,Chrisey,D.B. (2002).Doped ZnO thin films as anode materials for organic light-emitting diodes.*Thin Solid Films*, 420 –421, 539–543
20. Chung,J.H.,Lee,J.Y. Kim,H.S.,Jang,N.W. Kim.J.H. (2008). Effect of thickness of ZnO active layer on ZnO-TFT's characteristics.*Thin Solid Films*, 516, 5597–5601.
21. Internet:Com/421 Currant Road.Fall River, MA 02720.*Micro Magnetics*. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.micromagnetics.com%2F&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi:29.06.2015.
22. Dang, W.L.,Fu,Y.Q.,Luo,J.K., Flewitt,A.J. Milne,W.I. (2007). Deposition and characterization of sputtered ZnO films. *Superlattices and Microstructures* 42, 89–93
23. Schmidt,H., Diaconu, M., Hochmuth,H., Lorenz,M., Setzer,A., squinazi, P., Pöpl,A., Spemann,D., Nielsen,K.-W. Gross, R.,Wagner, G., Grundmann,M. (2006). Weak ferromagnetism in textured Zn<sub>1-x</sub>(TM)<sub>x</sub>O thin films. *Superlattices and Microstructures.* 39, 334–339

24. Imai, Y., Watanabe, A., Mater. J. (2004). Comparison of electronic structures of doped ZnO by various impurity elements calculated by a first-principle pseudopotential method. *Sci. Mater. Electron.* 15, 743–749.
25. Fukumura, T., Jin, Z., Ohtomo, A., Koinuma, H., Kawasaki, M., (1999). An oxide-diluted magnetic semiconductor: Mn-doped ZnO. *Appl. Phys. Lett.* 75, 3366–3368.
26. Liu, C., Yun, F., Xiao, B., Cho, S. J., Moon, Y. T., Morkoc, H. (2005). Structural analysis of ferromagnetic Mn-doped ZnO thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering. *J. Appl. Phys.* 97, 126107.
27. Internet: Research on Biological Atomic Force Microscopy. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.physics.ucsb.edu%2F%7Ehhansma%2Fbiomolecules.htm&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
28. Internet: Better analysis counts. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ffos.com%2Ftechnologies%2Fxf%2Fenergy-dispersive-x-ray-fluorescence-ed-xf%2F&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
29. Internet: Anderson Materials Evaluation, Inc. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.andersonmaterials.com%2Fzygo.html&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
30. Pearton S.J., Abernathy C.R., Norton D.P., Hebard A.F., Park Y.D., Boatner L.A., J.D. (2003). Advances in wide bandgap materials for semiconductor spintronics. *Materials Science and Engineering*. R 40, 137–168.
31. Xu, X.H., Blythe, H.J., Ziese, M., Behan, A. J., Nea, J. R., Mokhtari, A., Ibrahim, R.M., A Mfox. A., Gehring, G. A., (2006). Carrier-induced ferromagnetism in n-type ZnMnAlO and ZnCoAlO thin films at room temperature. *New Journal of Physics* 8, 135.
32. Gao Li, Zhang JianMin. (2009). Effects of doping concentration on properties of Mn-doped ZnO thin films. *Chinese Physics B*. 4536, 05.
33. Lin, H. J., Lin. D.Y., Wu, J. S., Chou, W. C., YANG, C. S., Wang, J. S., LO, W. H. (2008). Optical characterization of ZnMnO thin films on c-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of the Korean Physical Society, Vol. 53, No. 1, pp. 98\_101.*
34. Lung-Chien Chen, Ching-Ho Tien, and Ya-Ying Hsu. (2010). Optoelectronic Properties of the p-MnZnO/n-Si Structure Photodiodes in a Strong Magnetic Field. *Japanese Journal of Applied Physics* 49, 063002.
35. Chair. MO Prof. Maurizio Casarin (2008-2010). Nanostructured Materials Based on ZnO for Catalytic, Optical and Magnetic Applications. Doktora tezi (33,41).
36. Michael Depaz, (2007). Processing and characterization of zinc oxide thin films. Master tezi. (15,19,24)

37. Negendra pratap singh,(2008).Preparation and characterization of ZnO nano-structured thin films,Master tezi (2,6,9,35-41).
38. Sejoon Lee, Yoon Shon, Tae Won Kang,1 Deuk Young Kim, Eun Kyu Kim.Fabrication and characterization of Mn-doped ZnO nanocrystals into a SiO<sub>2</sub>layer for the application of spin-tunneling devices.*The Electrochemical Society*133-791.
39. Doctor rerum naturalium.(2008).An Investigation of Target Poisoning during Reactive Magnetron Sputtering. Doktora tezi (41-45)
40. Internet:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fchemistry.tutorvista.com%2Finorganic-chemistry%2Fmetal-oxide.html&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi:29.06.2015.
41. GopalakrishnanN.,BalakrishnanL.,SrimathyB.,M.Senthil,Kumar,BalasubramanianT., (2010) Phys. Status Solidi A 207, 2180.
42. BaghdadR., KharroubiB., AbdicheA., BousmahaM., BezzerroukM.A., ZeinertA., El MarssiM. ,ZellamaK.,(2012).*Superlattices and Microstructures*, 52, 711-721.
43. Harish Kumar Yadav, K. Sreenivas,Vinay Gupta,(2008).*Journal of Applied Physics*, 99, 083507.
44. Hui-Ying Shiu, Chung-Min Tsai, Szu-Ying Chen, and Tri-Rung Yew,(2011).Solution-processed All-oxide Nanostructures for Heterojunction Solar Cells.*Journal of Materials Chemistry*.101, Sec. 2.30013.
45. Viriya Vithayaveroj (2004).Atomic Force Microscopy for Sorption Studies.Doktora tezi (19-24).
46. Parisa Pashaei, Nihan Akin, U. Ceren Baskose, M. Kemal Ozturk, Mehmet Cakmak ,Suleyman Ozcelik.(2015) Influence of substrate temperature on structural and optical properties of RF sputtered ZnMnO thin films.*semiconductor springer journal*.49, 6.
47. M. Sahal, B. Hartiti, A. Ridah, M. Mollar, B. Marı(2008). Structural, electrical and optical properties of ZnO thin films deposited by sol-gel method.*Microelectronics Journal* 39,1425– 1428
48. Abdel-Sattar Gadallah, M. M. El-Nahass(2013). Structural, Optical Constants and Photoluminescence of ZnO Thin Films Grown by Sol-Gel Spin Coating *Advances in Condensed Matter Physics*.234546, 11 pages.
49. Nantu, Karak, Pijus Kanti Samanta, Tapas Kumar Kundu(2013). Green photoluminescence from highly oriented ZnO thin film for photovoltaic application.*Elsevier,Optik*124, 6227–6230.
50. HomyonferM. , HodesG., AlpersonB., TenneR., RosenbergY.,Sapir,S. R. Cohen (1997). Intercalation of Inorganic Fullerene-like Structures Yields Photosensitive Films and New Tips for Scanning Probe Microscopy.*J. Am. Chem. Soc.* 119, 2693-2698.

51. Balasubramanian A., Srikumar D. S., Raja G., Saravanan G. and Mohan S. (2009). Effect of pulse parameter on pulsed electrodeposition of copper on stainless steel. *Surface Engineering* Vol 25 No 5(389,392)
52. Jiménez-García F.N., Espinosa-Arbeláez D.G., Vargas-Hernández C., del Real, M.E. Rodríguez-García. (2011). Characterization of nanostructures of ZnO and ZnMnO films deposited by successive ionic layer adsorption and reaction method. *Thin Solid Films* 519, 7638–7643.
53. Internet: Von Jurgen Beck, Phys. Z. (1939). 40, 474. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fxrav.tamu.edu%2Fpdf%2Fnotes%2Fintro2xrd.pdf&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
54. Gao Li, Zhang Jian-Min (2009). Effects of doping concentration on properties of Mn-doped ZnO thin films. *Chinese Physics B*, 1674-1056, 18(10)/4536, 05.
55. Lukasiwicz M.I., Dluzewski P., Wójcik-Głodowska A., Jakiela R., Witkowski B.S., Lusakowska E., Lisowski W., Guzewicz E., Kopalko K., Krawczyk M., Godlewski M., Wolska A., Paszkowicz W., Sobczak J.W., Klepka M. T., Wachnicki L., Jablonski A.. PACS numbers: 81.15.Gh, 68.55.Ln, 75.50.Pp (1,46).
56. Saroj Kumar Patra. A novel chemical approach to fabricate ZnO nanostructures. Master thezi (1-6, 21-30, 35).
57. Yu-Hsiu, in. (2009). Structure and properties of transparent conductive ZnO films grown by pulsed laser deposition (PLD). Master thesis (23-30).
58. San Luis Obispo, (2012). Deposition, characterization, and fabrication of a zinc oxide piezoelectric thin film microspeaker using DC reactive sputtering. Master thezi (35, 36).
59. P.J. Kelly, R.D. Arnell (2000). Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications *Pergamon Vacuum*. 56, 159, 172
60. Amit Singh. Characterization Techniques. Doctoral thesis (44, 49).
61. Internet: pdf. AN INTRODUCTION TO electron microscopy. Son erişim tarihi: 03.03.2015
62. Helen H. Lou, Yinlun Huang (2006). Electroplating. *Encyclopedia of Chemical Processing*. DOI: 10.1081/E-ECHP-120007747
63. Suprabha Charjren Lakra (2013). Synthesis and characterization of Pulsed-Electrodeposited Cr and Cr-ZrO<sub>2</sub> Coating, Master thesis (19, 20).
64. Kh. M. S. Youssef, a C. C. Koch, a and P. S. Fedkiw (2004). Influence of Additives and Pulse Electrodeposition Parameters on Production of Nanocrystalline Zinc from Zinc Chloride Electrolytes. *Journal of The Electrochemical Society*, 151, 2, C103-C111
65. Youssef, Khaled Mohamed Saber Abdel-Hamid (2003). Synthesis, Structure,

and Properties of Nanocrystalline Zinc by Pulsed-Current Electrodeposition. Doktora tezi (61,62)

66. Internet: XOS. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fxsos.com%2F&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
67. Thian S C H, Feng W, Wong Y S, Fuh J Y H, Loh H T, Tee K H, Tang Y and Lu L (2006) Dimensional measurement of 3D microstructure based on white light interferometer. *Journal of Physics*, 48, 1435–101.
68. W.D. Sproul, D.J. Christie, D.C. Carter (2005). Control of reactive sputtering processes. *Thin Solid Films*, 49, 11 – 17.
69. Internet: Magnetron Sputtering Technology . [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.directvacuum.com%2FPDF%2Fwhat\\_is\\_sputtering.pdf&date=2015-06-29](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.directvacuum.com%2FPDF%2Fwhat_is_sputtering.pdf&date=2015-06-29) Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
70. Eth Zurich – First, Flavio Mornaghini Cesare Borgia Karthik Kumar Matteo Seita (2007). PVD Magnetron Sputter System, *Operation Manual* (14,15).
71. Safi I. (2000). Recent aspects concerning DC reactive magnetron sputtering of thin films: a review. *Surface and Coatings Technology* .127, 203, 219.
72. Internet: William Andrew. Hand book of sputter deposition technology. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elsevier.com%2Fabout%2Fcompany-information%2Fpolicies%2Fcopyright%2Fpermissions&date=2015-06-29> Son Erişim Tarihi: 29.06.2015.
73. Justin Kirschbrow (2007). RF/DC Magnetron Sputtering (1-4).
74. A. Ohtomo, M. Kawasaki, Y. Sakurai, Y. Yoshida, H. Koinuma, Z.K. Tang, G.K.L. Wong, Y. Segawa, P. Yu (1998). Room temperature ultraviolet laser emission from ZnO nanocrystal thin films grown by laser MBE. *Materials Science and Engineering*, B54, 24, 28.
75. Anna Maren Andersen Fyhn (2012). Electrodeposition of Metal Oxides for Solar Cell Applications. Master thesis (13,16).
76. Shu-Ching-Lin. Investigation on the ZnO Thin Film for Optoelectronic Device Application, Postgraduate Thesis (3,4).
77. Zhang Huaifu, Liu Hanfa, Zhou Aiping, Yuan Changkun (2009). Influence of the distance between target and substrate on the properties of transparent conducting Al–Zr co-doped zinc oxide thin films, *Journal of Semiconductors*, Vol. 30, No. 11, 113002(1-4).
78. Chien-Yie Tsay, Kai-Shiung Fan (2008). Optimization of Zr-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Method. *Materials Transactions*, Vol. 49, No. 8. 1900 to 1904
79. Hsien-Chin Chiu, Hsiang-Chun Wang, Yi-Cheng Luo, Fan-Hsiu Huang, Hsuan-Ling Kao, Kuang-Po Hsueh (2014). Band offsets and electrical stability characterization of

Zr-doped ZnO thin-film transistors with a Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gate insulator. *Microelectronic Engineering*, 118,20-24.

80. Chien-Yie Tsay, Kai-Shiung (2008). Fan Optimization of Zr-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Method. *Materials Transactions*, Vol. 49, No. 8. 1900 to 1904.
81. S. K. Srivastava, P. Lejay, B. Barbara, O. Boisron, S. Pailhe's, G. Bouzerar (2011). Absence of ferromagnetism In Mn-doped in tetragonal zirconia. *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 110, 043929.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : PASHAEI, Parisa  
 Uyuğu : IRAN  
 Doğum tarihi ve yeri : 08.11.1978, Tabriz  
 Medeni hali : Bekâr  
 Telefon : 05369788335  
 e-mail : parisa.pashaie@yahoo.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi       | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|---------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi   | Devam Ediyor     |
| Lisans        | Tabriz Üniversitesi | 2005             |
| Lise          | Tohid Lisesi        | 2000             |

### İş Deneyimi

| Yıl  | Yer                     | Görev                 |
|------|-------------------------|-----------------------|
| 2007 | İRAN Enstitüsü Standart | Kalite Kontrol Müdürü |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Pashaei P., Akin N., Baskose U.C., Ozturk M.K., Cakmak M., Ozcelik S., (2015) Influence of substrate temperature on structural and optical properties of RF-sputtered ZnMnO thin films. *Springer Journal* 799\_803.

Hacettepe YMF poster (2014).

Poster sertifika, Odtü Üniversitesi, nanotr11, (2015).

### Hobiler

Yüzme, Gitar, Bisiklet





*GAZİ GELECEKTİR..*