

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**İLETKEN  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  İNCE FİLMLEİNİN RADYASYON  
KARŞISINDA OPTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Doğın AKCAN**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**HAZİRAN 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**İLETKEN  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  İNCE FİMLERİNİN RADYASYON  
KARŞISINDA OPTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Doğan AKCAN  
(301091042)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN**

**HAZİRAN 2013**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301091042 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Doğan AKCAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İLETKEN  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  İNCE FİLMLERİNİN RADYASYON KARŞISINDA OPTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Nilgün KARATEPE YAVUZ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **03 Mayıs 2013**  
**Savunma Tarihi :** **03 Haziran 2013**



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca üzerimde büyük emekleri olan ve sabrını benden hiç esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Nilgün BAYDAĞAN'a; hiç bir karşılık beklemeden bana yol gösteren hocam sayın Doç. Dr. Lütfi ARDA'ya sonsuz minnetlerimi sunmak isterim.

Bana hayatımı şekillendirmemde en büyük desteği veren ve benden hiç vazgeçmeyen, benim için benden daha çok titizlik gösteren aileme; eşim Hatice MERAY AKCAN'a, annem Emine Handan AKCAN'a, babam Abdullah AKCAN'a ve kardeşim Nihan AKCAN TELLİ'ye en içten şükranlarımı belirtmek isterim.

Ne zaman sıkışsam bana hep yardım eden sayın Gülşen KÖSOĞLU'na, sayın Sadullah ÖZTÜRK'e ve sayın Necmettin KILINÇ'a; benden tatlı muhabbetini esirgemeyen tüm sevgili dostlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Doğan AKCAN

Fizikçi





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ .....	xv
ÖZET .....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÇİNKO OKSİTİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Kristal Yapısı.....	3
2.2 Elektriksel Özellikleri .....	4
2.3 Optik Özellikleri .....	5
2.4 ZnO'nun Katkılanması.....	5
<b>3. MADDENİN RADYASYONLA ETKİLEŞMESİ.....</b>	<b>9</b>
3.1 Işımanın Soğurulması .....	9
3.2 Fotoelektrik Olay .....	10
3.3 Compton Saçılması .....	10
3.4 Çift Oluşumu .....	12
<b>4. İNCE FİMLERİN ÜRETİMİ, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>13</b>
4.1 İnce film kaplama yöntemleri.....	13
4.2 Sol – Jel metodu .....	13
4.3 Elektriksel ölçümler .....	19
4.4 Optik ölçümler .....	22
4.4.1 Doğrudan bant geçişi .....	22
4.4.2 Dolaylı bant geçişi.....	24
4.4.3 Optik ölçümlerin Yapılışı.....	25
<b>5. İNCE FİMLERİN ÜRETİMİ, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>27</b>
5.1 $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_x$ Toz Örneklerin Hazırlanması .....	27
5.2 Sol – Jel Daldırarak Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan İnce Filmlerin Üretimi .....	28
5.2.1 Çözeltilerin hazırlanması .....	28
5.2.2 Kaplama yapılacak altlığın temizliği.....	30
5.2.3 $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ ince filmlerin kaplanması .....	30
5.3 İnce Filmlerin Karakterizasyonu .....	31
5.3.1 Ayrımsal ısıtıl analiz ve ısıtıl ağırlıkça analiz.....	31
5.3.2 X ışını kırınımı analizi.....	32
5.3.3 Taramalı elektron mikroskopu analizi .....	33
5.3.4 Optik özelliklerin belirlenmesi .....	33
5.3.5 Sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerin belirlenmesi.....	34
5.3.6 İnce filmlerin ışınlama işlemleri.....	35
5.3.6.1 Cs-137 izotopu .....	35
5.3.6.2 Işınlama düzeneği .....	36
<b>6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>39</b>
6.1 İnce Filmlerin Karakterizasyon Sonuçları.....	39
6.1.1 XRD analiz sonuçları.....	39

6.1.2 SEM analiz sonuçları .....	40
6.2 İnce Filmlerin Optik Ölçümlerinin Sonuçları.....	44
6.3 İnce Filmlerin Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Ölçümlerinin Sonuçları .....	48
6.4 İnce Filmlerin Işınlanması ve Işınlama Sonrası Optik Özelliklerin Belirlenmesi .....	50
6.4.1 İnce filmlerin ışınlama sonrası optik geçirgenliğinin belirlenmesi .....	50
6.4.2 İnce filmlerin ışınlama sonrası optik yansıtıcılığının belirlenmesi.....	53
6.4.3 Deney sonuçlarının karşılaştırmalı incelenmesi .....	56
6.4.3.1 Işınlama işleminden sonra optik geçirgenlikte oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak değerlendirilmesi.....	56
6.4.3.2 Işınlama işleminden sonra optik yansıtıcılıkta oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak değerlendirilmesi .....	57
6.4.3.3 Işınlama işleminden sonra optik bant aralığında oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi .....	58
<b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>71</b>

## KISALTMALAR

<b>CVD</b>	: Kimyasal buhar biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
<b>DTA</b>	: Ayrımsal ısı analiz (Differential Thermal Analysis)
<b>EDS</b>	: Energy Dispersive X-ray
<b>IDT</b>	: İnterdijital transdüser
<b>LED</b>	: Işık yayan diyot (Light Emitting Diode)
<b>LPE</b>	: Sıvı hal epitaksi (Liquid-phase Epitaxy)
<b>MOD</b>	: Metal – organik biriktirme (Metal – Organic Deposition)
<b>MOCVD</b>	: Metal – organik kimyasal buhar biriktirme (Metal – Organic Chemical Vapour Deposition)
<b>NIR</b>	: Yakın kızıl ötesi
<b>PLD</b>	: Darbeli lazer biriktirme (Pulsed Laser Deposition)
<b>PECVD</b>	: Plazma destekli Kimyasal buhar biriktirme (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
<b>SzSJ</b>	: Susuz sol – jel
<b>TGA</b>	: Isıl ağırlıkça analiz (Thermogravimetric Analysis)
<b>UV</b>	: Mor ötesi
<b>Vis</b>	: Görünür bölge
<b>XRD</b>	: X ışını kırınımı (X – Ray Diffraction)



## SEMBOL LİSTESİ

<b>a</b>	: Örgü Parametresi
<b>A</b>	: İnce film kaplamanın kesit alanı
<b>A<sub>0</sub></b>	: Orantı sabiti
<b>c</b>	: Örgü Parametresi
<b>d</b>	: IDT kaplamanın parmaklar arasında kalan genişliği
<b>E</b>	: Gelen foton enerjisi
<b>E'</b>	: Saçılan foton enerjisi
<b>E<sub>a</sub></b>	: Aktivasyon enerjisi
<b>E<sub>B</sub></b>	: Bağlanma enerjisi
<b>E<sub>d</sub></b>	: Değerlik bandındaki enerji seviyesi
<b>E<sub>e</sub></b>	: Fotoelektronun enerjisi
<b>E<sub>g</sub></b>	: Optik bant aralığı
<b>E<sub>i</sub></b>	: İlk enerji seviyesi
<b>E<sub>s</sub></b>	: Son durumdaki enerji seviyesi
<b>E<sub>f</sub></b>	: Yayınlanan fononun enerjisi
<b>E<sub>γ</sub></b>	: Soğurulan gama ışınının enerjisi
<b>e<sup>-</sup></b>	: Elektron
<b>e<sup>+</sup></b>	: Pozitron
<b>h</b>	: İnce film kaplama kalınlığı
<b>h</b>	: Planck sabiti
<b>hν</b>	: Gelen fotonun enerjisi
<b>hν<sub>s</sub></b>	: dolaylı bant geçişinde fonon soğurulması durumunda gelen fotonun enerjisi
<b>hν<sub>y</sub></b>	: dolaylı bant geçişinde fonon yayımlanması durumunda gelen fotonun enerjisi
<b>ħ</b>	: Planck sabitinin 2π'ye bölümü sonucu elde edilen sabit
<b>k</b>	: Boltzmann sabiti
<b>→ k</b>	: örgü vektörü
<b>ℓ</b>	: İnce film kaplamanın uzunluğu
<b>m<sub>e</sub><sup>*</sup></b>	: Elektronun durağan kütlesi
<b>m<sub>h</sub><sup>*</sup></b>	: Boşluğun durağan kütlesi
<b>n</b>	: taşıyıcı sayısı
<b>R</b>	: Kaplamanın direnci
<b>T</b>	: Mutlak sıcaklığı
<b>α</b>	: Soğurma katsayısı
<b>ρ</b>	: Kaplamanın öz direnci
<b>σ</b>	: İnce film kaplamanın iletkenliği
<b>σ<sub>0</sub></b>	: Orantı sabiti
<b>μ</b>	: Doğrusal soğurma katsayısı
<b>θ</b>	: Fotonun saçılma açısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 4.1</b> : İnce film kaplama metotları.....	14
<b>Çizelge 5.1</b> : ZnMgAl ince film kaplanmasında kullanılan çözücüler ve bileşenler. .....	28
<b>Çizelge 5.2</b> : Radyasyon işlemlerinde kullanılan Cs-137 izotopunun özellikleri. ....	36
<b>Çizelge 6.1</b> : $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ filmlerin (002) düzlemi doğrultusundaki FWHM değerleri.....	40
<b>Çizelge 6.2</b> : $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ filmlerin ortalama kristalit büyüklükleri.....	40
<b>Çizelge 6.3</b> : İnce filmlerin aktivasyon enerjileri.....	50





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : ZnO'nun değişik kristal yapıları (a) Kaya tuzu (b) wurtzite (c) çinko blendi. .....	3
Şekil 2.2 : Ga ve N katkılı ZnO kristal yapısı. ....	7
Şekil 3.1 : Fotoelektrik olayın şematik gösterimi. ....	10
Şekil 3.2 : Compton saçılmasının şematik gösterimi. ....	11
Şekil 3.3 : Çift oluşumunun şematik gösterimi. ....	12
Şekil 4.1 : Sol – jel tepkimeleriyle oluşturulabilecek yapılar. ....	16
Şekil 4.2 : Çinko Acetat bileşiğinin metanol içerisinde iyonlaşma tepkimesi. ....	18
Şekil 4.3 : Kompleks bileşiklerin oluşumu. ....	18
Şekil 4.4 : Daldırarak kaplama sürecinin adımları. ....	19
Şekil 4.5 : 8 parmaklı IDT yapısı'nın şematik gösterimi. ....	20
Şekil 5.1 : Örnek ZnMgAl Çözeltisi. ....	29
Şekil 5.2 : ZnMgAl kaplama sürecinin şematik gösterimi. ....	29
Şekil 5.3 : Daldırarak kaplama cihazı. ....	30
Şekil 5.4 : ZnMgAl çökeltisinin DTA – TGA grafiği. ....	32
Şekil 5.5 : Optik ölçümler için kullanılan UV-Vis-NIR spektrofotometre. ....	33
Şekil 5.6 : IDT yapısının kaplanması amacıyla kullanılan termal evaporatör (a) ve maske (b). ....	34
Şekil 5.7 : IDT yapısının kaplanması için maske üzerinde ince film kaplı camların yerleşimi (a) IDT kaplamasının tamamlanmış hali (b). ....	35
Şekil 5.8 : Isıya bağlı elektrik ölçümlerin belirlenmesi için kullanılan sıcaklık kontrol ünitesi ve elektrometre (a) ve örneklerin yerleştirildiği hazne (b). ....	35
Şekil 5.9 : Işınlama işlemlerinde kullanılan Cs-137 izotopu. ....	36
Şekil 5.10 : Deneyde zırh ünitesi olarak kullanılan kurşun bariyerler gama ışın kaynağı ile birlikte. ....	37
Şekil 5.11 : Cam üzerine kaplanmış ince filmlerin ışınlama işlemi için Cs-137 çevresinde yerleşimi. ....	37
Şekil 6.1 : ZnMgAl toz numunelerin XRD grafiği. ....	39
Şekil 6.2 : $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ konsantrasyonundaki ince filmin yüzey morfolojisi. ....	41
Şekil 6.3 : $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ konsantrasyonundaki ince filmin çarpraz yüzey görüntüsü. ....	41
Şekil 6.4 : $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ konsantrasyonundaki ince filmin yüzey morfolojisi. ....	38
Şekil 6.5 : $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ince filmin EDS spektrumu. ....	43
Şekil 6.6 : İnce film kaplanmamış cam altlığın, katkısız ZnO'nun ve $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ ince filmkaplanmış camların geçirgenlik grafiği. ....	45
Şekil 6.7 : İnce film kaplanmamış cam altlığın, katkısız ZnO'nun ve $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ ince filmkaplanmış camların yansıtıcılık grafiği. ....	46
Şekil 6.8 : ZnO ve $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ ince filmlerin bant aralığı grafiği. ....	47
Şekil 6.9 : $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği. .....	48
Şekil 6.10 : $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği. .....	48
Şekil 6.11 : $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği. .....	49
Şekil 6.12 : $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği. .....	49

<b>Şekil 6.13</b> : $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği. .....	50
<b>Şekil 6.14</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.....	51
<b>Şekil 6.15</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.....	51
<b>Şekil 6.16</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.....	52
<b>Şekil 6.17</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.....	52
<b>Şekil 6.18</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.....	53
<b>Şekil 6.19</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik yansıtıcılığı.....	54
<b>Şekil 6.20</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik yansıtıcılığı.....	54
<b>Şekil 6.21</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik yansıtıcılığı.....	55
<b>Şekil 6.22</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik yansıtıcılığı.....	55
<b>Şekil 6.23</b> : Işınlanmamış $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$ molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik yansıtıcılığı.....	56
<b>Şekil 6.24</b> : Üretilen ince filmlerin ışınlama işleminden sonra, ışınlanmamış öreneğe göre bağlı olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler.....	57
<b>Şekil 6.25</b> : Üretilen ince filmlerin ışınlama işleminden sonra, ışınlanmamış öreneğe göre bağlı olarak optik yansıtıcılığında oluşan değişimler.....	57
<b>Şekil 6.26</b> : 0.2 Gy Doz absorblayan $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ filmlerin optik bant aralıkları. .....	58
<b>Şekil 6.27</b> : 0.4 Gy Doz absorblayan $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ filmlerin optik bant aralıkları. .....	59
<b>Şekil 6.28</b> : Artan soğurulan doz miktarıyla bant aralığının değişimi.....	59

## İLETKEN $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ İNCE FİLMLERİNİN RADYASYON KARŞISINDA OPTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

### ÖZET

ZnO radyasyona karşı oldukça direnç gösteren bir malzeme olduğundan, uzay teknolojisindeki malzemeler arasında ilgi çekmektedir. Bu nedenle, elektrikçe iletken  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin optik özellikleri üzerinde gama radyasyonunun etkileri incelenmiştir. Bu amaçla,  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmler Cs-137 isotopu karşısında radyasyona maruz bırakılmıştır.

Çinko oksite (ZnO) olan ilgi birçok teknolojik uygulamalarda (geçirgen iletken elektrot, görüntüleme cihazları, ışık yayan diyotlar (LED), gaz sensörleri, güneş pilleri, lazer sistemleri) kullanılması sebebiyle hergeçen gün artarak devam etmektedir. ZnO'ya Mg katkılayarak bu uygulamalarda kaydadeğer bir gelişme gözlemlenmiştir.  $Mg^{+2}$ 'nin 0.58 Å olan iyonik çapı,  $Zn^{+2}$  (0.60 Å)'ninkine oldukça yakın olduğundan, Mg katkısı örgü parametrelerinde kayda değer bir değişikliğe neden olmadığı ve bant aralığının genişlediği gözlemlenmiştir. ZnO'ya Al(n-tipi katkı) katkılayarak yüksek elektriksel iletkenlik, yakın kızılötesi (infrared) ve görünür bölgede yüksek şeffaflık elde edilmektedir. Bu sebeple çalışmada ZnO yarıiletken Mg ve Al ile katkılanarak ZnMgAlO tipi üçlü geniş bant, şeffaf ve iletken ince filmler sol-jel yöntemi ile geliştirilmiştir. Bu tezin temel hedefi  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin en uygun üretim parametrelerini saptamak, büyütme mekanizmasını anlamak, elektriksel, optiksel ve radyasyona duyarlılığını araştırmaktır.

Altlık olarak kullanılan camlar için farklı temizleme koşulları uygulanarak en uygun temizleme koşulu tespit edilmiş ve yüzeyleri mikroskop kullanılarak incelenmiştir.  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  tipi üçlü ince filmler, farklı Al katkı oranlarında Sol-jel yöntemi ile daldırarak kaplama (dip-coating) tekniği kullanılarak cam altlık üzerine kaplanmıştır. ZnMgAlO ince filmlerin karakterizasyonu Ayrımsal Isıl Analiz – Isıl Ağırlıkça Analiz, SEM, EDS ve XRD ile yapıldı. Cam altlık üzerine büyütülen  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmler yoğun ve homojen bir yapıya sahip oldukları ve poli-kristal filmler oldukları SEM görüntülerinden gözlemlendi.

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin elektriksel ölçümler için kontak alınabilmesi için film üzerine fiziksel buharlaştırma yöntemi ile inter dijital transdüser yapısında kaplamalar yapılarak kontaklar alındı. Elde edilen numunelerin Dc elektriksel özellikleri 300-500K sıcaklık aralığında ve oksijen atmosferinde gözlemlendi. Akım-voltage (I-V) değerleri Keithley 6517A Electrometer/High Resistancemetre'yle ölçüldü.

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin optik özellikleri UV-Vis-NIR spektrometreyle 190 – 1100 nm arasında ölçülerek yarıiletken band genişliği belirlenmiştir. Band genişliğinin Al katkı oranı artarken arttığı gözlemlenmiştir.



## INVESTIGATION OF OPTICAL BEHAVIOURS OF CONDUCTIVE $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ THIN FILMS AGAINST TO RADIATION

### SUMMARY

Since ZnO is a resistive material against radiation, it attracts attention among other materials used in space applications. For this reason, behaviours of electrical conductive  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  thin films' against to radiation are investigated. For this purpose  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  irradiated by Cs-137 isotope

Zinc oxide (ZnO) attracting an increasing intense attraction due to its technological applications such as transparent conductive electrodes, displaying devices, LED's, gas sensors, solar cells, laser systems etc. Doping Magnesium (Mg) to ZnO caused a remarkable advance. Since ionic radius of 0.58 Å of  $Mg^{+2}$  is very close to that of  $Zn^{+2}$  (0.60 Å), effect Mg doping on lattice parameters is very limited and Mg doping increases band gap of ZnO structure. By doping Al (*n*-type dopant) in ZnO, high electrical conductivity and high transparency in infrared and visible region is obtained. For this reason, in this study, ZnO semiconductor is doped with Al and Mg and a triple wide band gap transparent conductive  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  thin films produced by sol-gel method. The purpose of this thesis is to find optimum production parameters, to understand deposition mechanism and to find electrical, optical properties and behaviours of these properties after irradiated by radiation.

Microscope glass slides used as substrate cleaned under different conditions and optimum cleaning conditions are decided using scanning electron microscope (SEM) and microscope. ZnMgAl co-doped films with different Al concentrations coated on glass slides by employing sol-gel dip coating method. Characterization of ZnMgAlO thin films are made using differential thermal analysis (DTA) / thermogravimetric analysis (TGA), SEM and X-Ray diffractometer (XRD). It's observed that ZnMgAlO films deposited on glass slides has a dense and homogenous structured polycrystalline films by investigating SEM micrographs.

Electrical measurements of  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  films performed by coating interdigital transducer structure by physical vapour deposition to made electrical contacts. Dc properties of samples obtained observed in a temperature range of 300 – 500K and in oxygen atmosphere. Current/Voltage (I-V) measurements performed by using Keithley 6517A Electrometer/High Resistance meter.

Optical properties of  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  thin films obtained by using PG Instruments UV-Vis-NIR spectrophotometer in 190 – 1100 nm range and optical band gap is obtained. It's observed that band gap of structure is increased with increasing Al doping concentration.



## 1. GİRİŞ

Uzay teknolojisinde son 50 yılda gelinen nokta göz önüne alındığında, geliştirilen uzay malzemelerinin optik özelliklerinin radyasyona direncine ilişkin üretilecek kaplamalar önem taşımaktadır. Dolayısıyla, geliştirilecek kaplamalar ve bunların kimyasal konsantrasyonlarında dikkatli bir seçim yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Elektronik parçalar ve bunları içeren korunaklar, soğurulan dozun artışıyla hayli risk altında olan kısımları oluşturmaktadır (Willis, 2008). ZnO radyasyona karşı oldukça direnç gösteren bir malzeme olduğundan, ZnO yapılar uzay teknolojisinde kullanılan malzemeler arasında ilgi çekmektedir (Lashkarov, 2011; Look, 2001a). Bu nedenle, elektrikçe iletken  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin optik özellikleri üzerinde gama radyasyonunun etkilerinin incelenebilmesi için, Cs-137 isotopu karşısında radyasyona maruz bırakılmıştır.

Son zamanlarda, çinko oksit (ZnO) malzemeler yaklaşık 3.3 eV geniş bant aralığından dolayı giderek artan bir şekilde dikkatleri üzerine toplamaktadır. ZnO'nun bazı özellikleri, bir diğer geniş bant aralıklı yarıiletken olan ve yeşil, mavi-UV ve beyaz ışık veren cihazlarda kullanılan Galyum Nitrit (GaN;  $E_g = \sim 3.4$  eV) ile örtüşmektedir. Ne var ki ZnO'nun GaN göre yüksek kalitede tek kristallerinin bulunabilirliği ve geniş eksiton bağlanma enerjisi gibi (yaklaşık 60 meV) üstünlükleri vardır. Ayrıca ZnO kristallerinin büyütülmesinin kolaylığı ilerleyen dönemlerde ZnO tabanlı cihazların üretimlerinin ucuzlamasını sağlayacaktır.

Yüksek kalitedeki ZnO ince filmler, 600°C gibi görece düşük sıcaklıklarda üretilebilir. Ayrıca ZnO'nun bahsedilen özelliklerine ek olarak diğer geniş bant malzemelere göre yüksek enerjili radyasyonuna karşı kararlılığı ve ıslak aşındırmaya olan yatkınlığı gibi tercih nedeni olacak başka özellikleri de vardır (Look, 2001). Çeşitli çalışmalar ZnO'nun yüksek enerjili ışımaya karşı kararlı olduğunu göstermiştir. (Look ve diğ., 1999a, Polyakov ve diğ., 2003, Kucheyev ve diğ., 2003) bu da ZnO'yu uzay araştırmaları için uygun kılar. Bunun yanında ZnO bütün asitler ve alkalilerle kolayca aşındırılabilmesi küçük boyutlu cihazların üretiminde kullanılmasını mümkün kılar.

ZnO, geçirgen ince film transistörler gibi başka uygulamalar da kendine yer bulabilmiştir. Katkılama seviyesinin kontrol edilmesiyle elektriksel özellikleri

yalıtkandan *n*-tipi yarıiletkeneye kadar optik geçirgenliği korunarak ayarlanabilir ve bu da onu düz ekranlarda güneş panellerinde geçirgen elektrot olarak faydalı kılar.

Ne var ki ZnO'nun optoelektronikte kendine daha fazla yer bulabilmesi için önündeki en büyük engel, *p*-tipi katkılamının zorluğudur. Grup V elementlerinin katkılanmasıyla gerçekleştirilen büyük çabalara rağmen henüz güvenilir ve tekrarlanabilir *p*-tipi iletkenlik henüz başaramamıştır. *p*-tipi ZnO'nun eldesi zor olsa da *n*-tipi ZnO'yu diğer *p*-tipi malzemelerle kullanarak oluşturulan heteroyapılar üzerine araştırmalar devam etmektedir. Silisyum (Si), Nikel Oksit (NiO), GaN, Alüminyum Galyum Nitrit (AlGaN), Silisyum Karbür (SiC), Çinko Tellürit (ZnTe), Bakır Oksit (CuO), Kadmiyum Tellürit (CdTe) gibi malzemeler bu çalışmalarda kullanılmaktadır. GaN'in *p*-tip malzeme olarak kullanıldığı çalışmalar yürütülerek *p*-tip ZnO'ya gerek duymayan cihazlar üretilmişse de bu cihazların verimleri sınırlı kalmıştır.



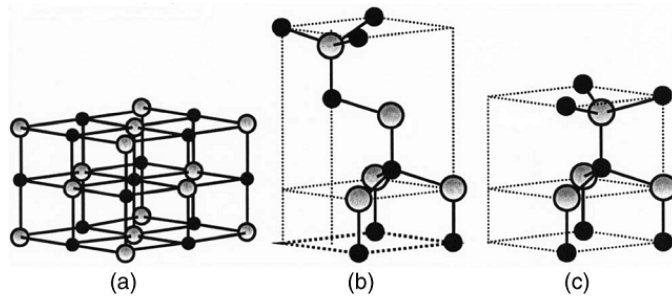
## 2. ÇİNKO OKSİTİN ÖZELLİKLERİ

### 2.1 Kristal Yapısı

Çoğu II-VI grubu ikili bileşik yarıiletkenler her anyonun bir dörtyüzlünün köşelerinde olacak şekilde yerleşmiş kübik çinko blendi veya wurtzite yapısında kristallenir. Bu dörtyüzlü yerleşim tipik  $sp^3$  kovalent bağlanmasıdır ancak özünde bu malzemelerin ayrıca iyonik karakteri de vardır (Özgür ve diğ., 2005). ZnO iyonikliği kovalent ve iyonik yarıiletken sınırında bulunan bir II-VI bileşiği yarıiletkendir. ZnO'nun kristal yapısı wurtzite (B4), çinko blendi (B3) veya kaya tuzu (B1) yapısındadır. Oda koşullarında kararlı olan yapı wurtzite yapısıdır. Çinko blendi yapısı sadece kübik kristal yapı altlıklar üzerinde büyütüldüğünde kendini gösterir ve kaya tuzu yapısında kristaller için yüksek basınç uygulanmalıdır.

Wurtzite yapısının birim hücresi parametreleri  $a$  ve  $c$  olan altıgen yapıdadır ve  $c/a$  oranı  $(8/3)^{1/2}$ 'dir. Wurtzite yapının örgü parametreleri  $a = 3.2475$  ila  $3.2501$  Å,  $c = 5.2042$  ila  $5.2075$  Å'dür. Wurtzite yapıdaki ZnO, dış basıncın altında kaya tuzu yapısında dönüştürülebilir. Bu dönüşümün nedeni, örgü boyutlarındaki düşüşün iyonlar arası Coulomb etkileşimini iyonikliğin kovalent yapıya baskın gelecek şekilde kuvvetlenmesidir.

Çinko blendi ZnO yapısı yarıkararlı bir haldir ve ancak ZnS, GaAs/ZnS ve Pt/Ti/SiO<sub>2</sub> gibi kübik yapıdaki altlıklar üzerinde büyütüldüğünde kararlı olabilir (Almamun Ashrafi ve diğ., 2000; Sung-Kyu ve diğ., 2003). ZnO ile yüksek uyumsuzluğa sahip altlıklarda wurtzite yapıyla birlikte bir miktar çinko blendi yapısında da ZnO oluşmaktadır.



**Şekil 2.1:** ZnO'nun değişik kristal yapıları (a) Kaya tuzu (b) wurtzite (c) çinko blendi (Özgür ve diğ., 2005).

## 2.2 Elektriksel Özellikleri

Geniş bant aralığına sahip olan ZnO'nun bu özelliği, ona yüksek kırılma gerilimi, yüksek elektrik alanlara dayanıklılık, düşük gürültü üretimi ve yüksek sıcaklıkta yüksek güçte kullanım gibi avantajlar sağlar. Yarıiletkenlerde elektron taşınımı yüksek ve alçak elektrik alanlar için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Düşük elektrik alanlarda elektronların uygulanan elektrik alandan kazandığı enerji elektronların ısı enerjilerinden düşüktür, bu nedenle elektronların enerji dağılımı düşük alanlardan etkilenmez. Elektron mobilitesinin ölçütü olan saçılma oranı elektron dağılım fonksiyonuna bağlı olduğundan elektron mobilitesi uygulanan alandan bağımsızdır ve malzeme Ohm kanununa uyar. Elektrik alan şiddeti, elektronların uygulanan dış alandan kazandığı enerjinin ısı enerjisiyle oranla ihmal edilemeyeceği kadar yüksek bir değere ulaştığında, elektron dağılım fonksiyonu denge durumuna göre kayda değer şekilde değişir. Bu elektronlar, örgü sıcaklığından daha büyük elektron sıcaklığıyla tanımlanan "sıcak elektronlar" olurlar. Bunun yanında üretilen cihazların boyutları mikron seviyesinin altına indikçe, örgü noktaları civarında, çok kısa bir zaman dilimi içerisinde çok az enerji kaybaldığı veya hiç enerji kaybı olmayan geçiş taşınımı oluşur.

Düşük elektrik alanlarında ZnO'da elektron taşınımını etkileyen elektron saçılım kaynakları şunlardır:

- i) İyonize olmuş safsızlık saçılımı, örgü kusurlarından veya yapılan katkılama oluşturdğu yük merkezlerinin sebep olduğu uzun erimli Coulomb potansiyelinden dolayı serbest yüklerin sapmasıyla oluşur.
- ii) Kutupsal boyuna fonon saçılımı, polar yarıiletkenin bağlarının iyonik yapısından dolayı oluşan örgü titreşiminden kaynaklı elektrik polarizasyonun oluşturduğu elektrik alanla, hareket halindeki yükün etkileşimi ile oluşur.
- iii) Deformasyon potansiyeli kaynaklı akustik fonon saçılımı, akustik fononların sebep olduğu gerilmenin oluşturduğu bant sınırlarındaki enerji değişikliğinden kaynaklanır.
- iv) Piezoelektrik saçılma, dönüşüm simetrisi olmayan bir kristaldeki fononların sebep olduğu gerilmenin oluşturduğu elektrik alanlardan kaynaklanır.
- v) Eğer bir yarıiletkende örgü yerleşim bozukluğu ve yerel kusurlar çoksa, yerleşim bozukluğu saçılımı ve kusur saçılımı olası saçılma nedenlerindedir. Yerleşim bozukluğu saçılımı, bir  $n$ -tip yarı iletkende iletim bandından elektronları tutan alıcı merkezlerin yerleşim bozukluğu hattında bulunmasıyla ortaya çıkar. Yerleşim

bozukluğu çizgisi negatif yüklenir ve çevresinde bir uzay yükü bölgesi oluşur. Bu da yerleşim bozukluğu hattı boyunca hareket eden elektronları saçarak mobilitiyi düşürür.

Katkısız, wurtzite yapısındaki ZnO'da, kendinden veya dış kaynaklı kusurların bulunmasından dolayı *n*-tip bir yarıiletkenidir. Bu kusurlar, oksijen atomunun bulunması gereken yerde çinko atomunun bulunması, çinko arayer atomları ve örgüde oksijen eksikliği olarak sayılabilecek malzemenin kendinden kaynaklanan kusurlardır (Look ve diğ, 1999b).

### 2.3 Optik Özellikleri

Bir geniş bant yarı iletkeni olan ZnO'nun ince filmleri, bu özelliğiyle görünür bölgede oldukça geçirgen özelliktedir. Kalınlığa ve üretim yöntemlerine göre farklılık göstermekle birlikte ince filmlerin görünür bölgede ortalama geçirgenliği %80 – 90 seviyesindedir (Sengupta ve diğ, 2012; Peng ve diğ, 2009; Xue ve diğ, 2006). Bununla birlikte soğurma sınırı geniş bant aralığı sayesinde elektromanyetik spektrumun UV bölgesindedir. Soğurma sınırı bant aralığını düzenlemek için yapılan katkılama ile düzenlenebilir. Eğer yapılan katkılama bant aralığını genişletecek nitelikte ise soğurma sınırı UV bölgenin daha küçük dalga boylu kısmında olur. Fakat, bant aralığını daraltacak bir katkılama yapılırsa soğurma sınırı bu sefer daha küçük dalga boylarına doğru kayar. Soğurma sınırında bu kaydırma işlemi eğer daha küçük dalga boylarına doğru oluyorsa buna "maviye kayma", eğer daha büyük dalga boylarına doğru oluyorsa buna "kırmızıya kayma" denir.

### 2.4 ZnO'nun Katkılanması

Fiziksel özelliklerinden dolayı ZnO'nun vaat ettiği potansiyele ulaşılabilmesi için yüksek kalitede *n*-tipi ve *p*-tipi ZnO üretimi şarttır. Ne var ki çift kutuplu taşıyıcı katkılama (hem *n*-tipi, hem de *p*- tipi) zorluklar, GaN ve ZnS, ZnSe ve ZnTe gibi diğer II - VI geniş bant yarıiletkenlerinde de görülen ciddi bir engeldir (Neumark ve diğ, 1989; Chadi, 1994; Zhang ve diğ, 2000; Minami ve diğ, 1985; Zhang ve diğ, 1998; Laks ve diğ, 1993). Geniş bant yarıiletkenlerde tek kutuplu katkılama büyük bir sorun teşkil etmez, GaN, ZnO, ZnSe ve ZnS yarıiletkenlerde *n*-tipi tek kutuplu katkılama kolayca yapılabilir. Bu malzemelerde *p*-tipi katkılama oldukça zordur. Diğer taraftan ZnTe'de ise durum bunun tam tersidir; *p*-tipi katkılama kolayca yapılabilirken, *n*-tipi katkılama yapmak oldukça zordur.

Wurtzite yapısındaki ZnO, kristal örgüsündeki oksijen eksiklikleri ve çinko arayer atomları nedeniyle kendinden *n*-tip yarıiletkenidir. Ancak örgüdeki elektron verici unsurun çinko arayer atomları mı yoksa oksijen eksikliği mi olduğu konusu tartışmalıdır. Bunun yanında, ZnO içine kolayca difüze olabilen hidrojenin de amaçlanmadan ZnO yapısına katkılanarak iletkenliği arttırdığı yönünde fikir beyan eden çalışmalar da vardır. (Van de Walle, 2000).

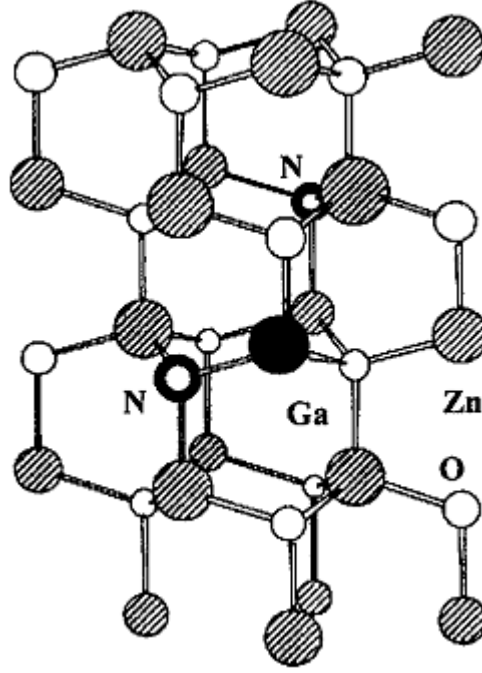
ZnO'da *n*-tipi katkılama, çinkonun grup III elementleri olan Ga, Al ve In ile yer değiştirmesiyle ya da oksijenin grup VII elementlerinden Cl ve I ile yer değiştirmesiyle yapılmaktadır (Kato ve diğ, 2002). Ga, Al ve In ile katkılama birçok grup tarafından başarıyla gerçekleştirilmiş ve yüksek kalitede ve yüksek iletkenlikte *n*-tipi ZnO filmler elde edilmiştir (Seung ve diğ, 1997; Ataev ve diğ, 1995; Assunção ve diğ, 2003; Liu ve diğ, 2003; Meng ve diğ, 2001; Ko ve diğ, 2000; Tadatsugu ve diğ 1984).

ZnO'yu *p*-tipi katkılamanın zorluğunun nedenleri çeşitlidir. Katkıların etkisi yapının kendisinden kaynaklı çinko arayer atomları veya oksijen eksikliği tarafından veya dış kaynaklı amaçlanmayan hidrojen katkılamaları tarafından kompanze edilebilir (Park ve diğ, 2002).

ZnO için bilinen alıcı katkılar Li, Na ve K gibi grup I elementleri, Cu, Ag, Zn eksikliği ve N, P ve As gibi grup V elementleridir (Schirmer ve Zwingel, 1970; Schirmer, 1968; Kanai, 1991a; Kanai, 1991b). Ne var ki bunlar derin seviye alıcı olduklarından *p*-tipi iletkenliğe fazla katkı yapmazlar. *p*-tipi ZnO'ya ulaşmak için en güçlü adayların sığ seviye alıcı olarak üretimindeki zorluklara rağmen grup V elementleri olduğu düşünülmektedir (Park ve diğ, 2002).

ZnO'nun *p*-tipi katkılanması, çinkonun grup I elementleriyle (Li, Na veya K) değiştirilmesiyle veya oksijenin grup V elementleriyle (N, P veya As) yer değiştirmesiyle mümkün görünmektedir. Grup I elementlerinin daha iyi sığ seviye alıcı olması beklenirken, küçük atomik çapları nedeniyle arayer bölgelerine yerleşmeye meyilli olmalarından dolayı daha ziyade verici olarak davranmaktadırlar (Van de Walle ve diğ, 1993; Laks ve diğ, 1991; García ve diğ, 1995). Dahası Na ve K'nın bağ uzunluklarının fazla oluşu örgü üzerinde bir gerginlik oluşturduğundan yerel bir yerleşim bozukluğu yaratmakta ve bu eksiklik katkıların etkilerini kompanze etmektedir. Benzer bir davranış N haricindeki grup V elementlerinde de görülmektedir. Hem P, hem de As çok büyük bağ uzunluklarına sahiptir ve örgü üzerinde gerginlik yaratmaktansa örgüde bulunmaları gereken konumdan ayrılmaya meyillidirler. Bu konumdan ayrılışlar verici gibi davranır ve vericilerin etkilerini

istenmeyen bir şekilde kompanse eder. Bu nedenle grup V katkılamalarında *p*-tipi katkılamanın en büyük adayı N'dir: en küçük iyonizasyon enerjisine sahiptir, örgüdeki konumdan ayrılmaz (Park ve diğ, 2002). Ancak N'nin ZnO içerisindeki çözünürlüğü oldukça düşüktür. Bu zorluğu çözmek için alıcıların ve vericilerin beraber katkılanarak çözünürlüğün artırılması hedeflenmiş ve grup III elementlerinin N ile birlikte katkılanması yönünde çalışmalar yapılmıştır (Yamamoto ve diğ, 1999; Tsukazaki ve diğ, 2002; Nakahara ve diğ, 2001).



**Şekil 2.2:** Ga ve N katkılı ZnO kristal yapısı (Özgür ve diğ, 2005).

Modern optoelektronik cihazların tasarımında *p*-tipi katkılamanın yanında bir diğer önemli adım da bant aralığının ayarlanmasıdır. Bu süreç de  $Mg_xZn_{1-x}O$  ve  $Cd_xZn_{1-x}O$  alaşımlarıyla bant aralığının geniş bir aralıkta düzenlenmesiyle başarılmıştır (Ohtomo ve diğ, 1998; Choopun ve diğ, 2002; Gruber ve diğ, 2003).

$Mg_xZn_{1-x}O$  alaşımı, 7.7 eV bant aralığına sahip MgO ZnO'nun bant aralığını genişlettiği için, ZnO/(Mg,Zn)O süperörgü yapılarında bariyer tabakalarının oluşumu için uygun bir malzeme olarak görülmektedir.  $Mg^{+2}$  iyonik çapı (0.58 Å),  $Zn^{+2}$  iyonik çapına oldukça yakındır (0.60Å), bu sayede kristal örgüsünde belirgin bir gerginlik yaratmaz ancak Mg katkılamasının wurtzite yapısının *c* parametrisini azaltırken, *a* parametresini arttırdığı görülmüştür (Heiba ve Arda, 2009).  $Mg_xZn_{1-x}O$  üzerine yapılan çalışmalarda iletim bandından değerlik bandına geçişlerin artan Mg içeriğiyle birlikte maviye kaydığı tespit edilmiştir. (Choopun ve diğ, 2002). Ancak, Mg konsantrasyonu ile optik bant aralığı artarken iletkenlikte de bir azalma gözlenmektedir. ZnO içerisine katılan Mg, derin seviye verici olarak davranmakta ve

elektrik bariyerleri arttırarak yük taşıyıcıların saçılımını arttırmaktadır (Kılınç ve diğ, 2010).

Geniş bant aralıklı yapıların güneş pillerinde kullanılması soğurma miktarını azaltacağından daha yüksek açık devre gerilimi sağlayabilir ve enerji dönüşüm verimini arttırabilir (Prathap ve diğ, 2011). Ancak  $Mg_xZn_{1-x}O$  filmlerin direnci oldukça yüksektir ve bu nedenle ZnO filmler için yapılan katkılamada yüksek geçirgenlik – yüksek direnç / düşük geçirgenlik – düşük direnç ikilemiyle karşı karşıya kalınmaktadır (Yang ve diğ, 2011). Bu nedenle son dönemde Mg ve Al birlikte katkılanarak iki etkinin de gözlemeyi amaçlayan çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Diğer taraftan bant aralığının daraltılması için ise CdO'nun 2.3 eV bant aralığından dolayı  $Cd_xZn_{1-x}O$  iyi bir aday gibi görünmektedir.

### 3. MADDENİN RADYASYON İLE ETKİLEŞMESİ

#### 3.1 Gama Işınımının Soğurulması

X ya da gama ışınımı cismin üzerine düştüğü zaman bir kısmı cisimden geçer, diğer bir kısmı da çeşitli yönlere saçılır. Bu olaydaki bilgiler etkileşmenin tayini için önemlidir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Gama ya da X ışını malzemedan geçerken şiddetinin bir kısmını kabeder. Bu olay ışının malzeme içererisinde soğurulmasıdır. Kaybedilen gama ışınımın miktarı radyasyonun şiddetine, malzemenin yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır. Bu gama ve X ışınlarının endüstriyel radyografide de kullanılan özelliğidir. İncelenmekte olan malzemenin kalınlığından veya yabancı bir malzemenin varlığından kaynaklı hata, şiddet üzerinde farklı bir etkinin oluşmasına neden olacak ve bu da durum hakkında bilgi verecektir.

Kalınlığı "x" olan bir malzemenin üzerine düşen paralel bir elektromanyetik ışımının şiddeti üzerindeki etkisi

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.1)$$

denklemleri ile verilir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Bu denklemde

I : Malzemenin içinden geçen elektromanyetik ışımının şiddetini

$I_0$  : Malzeme üzerinde düşen geçen elektromanyetik ışımının şiddetini

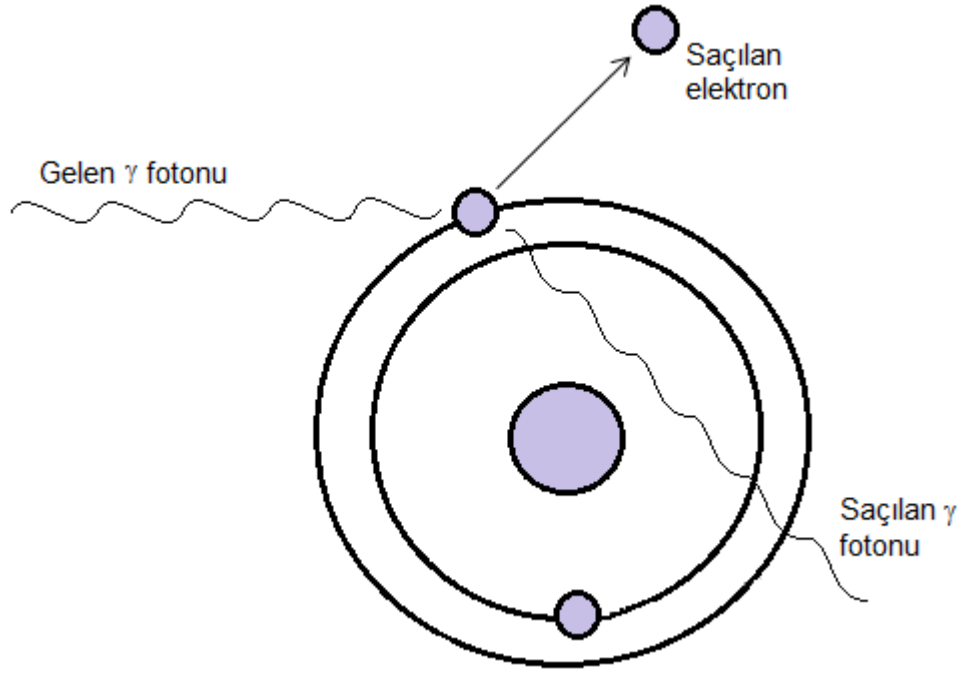
$\mu$  : doğrusal soğurma katsayısını temsil eder.

Soğurulan ışımının madde üzerine etkisi önemlidir. Gama ışınımının madde ile etkileşimi üç türdür:

- i) Fotoelektrik olay
- ii) Compton saçılması
- iii) Çift oluşumu







**Şekil 3.2 :** Compton saçılmasının şematik gösterimi.

Çarpışmada momentum ve enerji korunur, gelen foton enerjisinin bir kısmı elektrona aktarılır ve foton geliş yolundan sapar. Gelen foton enerjisi ile saçılan fotonun enerjisi arasında

$$E' = \frac{0.51}{1 - \cos \theta - \frac{0.51}{E}} \quad (3.27)$$

bağıntısı vardır (Bilge ve Tuğrul, 1990). Bu denklemde

$E'$  : saçılan foton enerjisini

$E$  : gelen foton enerjisini

$\theta$  : fotonun saçılma açısını temsil etmektedir.

Eğer saçılma açısı çok küçükse “ $\cos \theta$ ” ifadesi 1'e çok yakın olacaktır ve saçılan foton enerjisi yaklaşık olarak birbirlerine eşit olur. Bu da gelen fotonun enerjisindeki değişiminin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu anlamına gelir. Diğer taraftan saçılma büyük olduğunda ( $\sim 90^\circ$ ) saçılma enerjisi denklemi

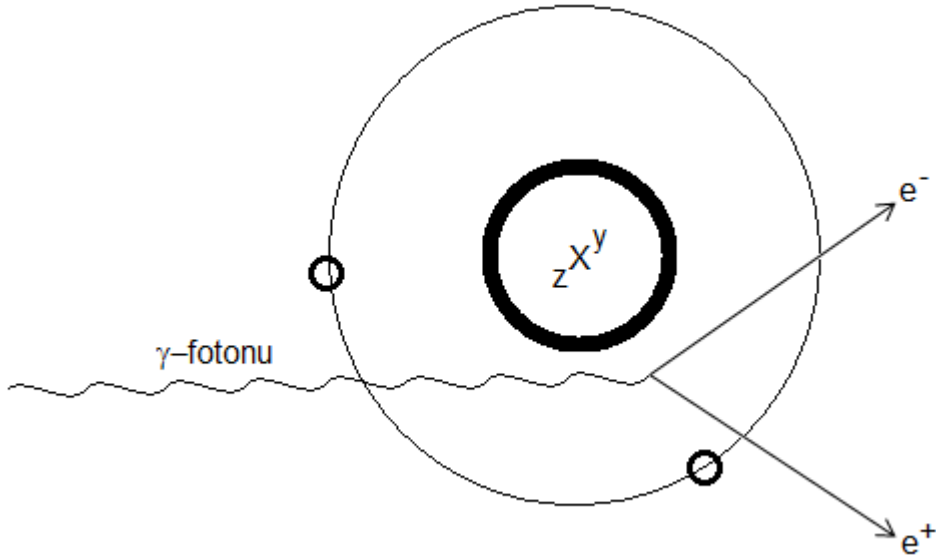
$$E' = \frac{0.51E}{E - 0.51} \quad (3.27)$$

halini alır. Bu denkleme göre saçılan fotonun enerjisi 0.51 MeV'den daha büyük olamaz (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Compton saçılması foton ile elektron arasında olduğundan oluşumu atomun elektronlarının sayısına, yani atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton ortamdaki kaçamaz ve daha düşük enerjili olduğundan ortamda fotoelektrik etkileşime yapmaya başlar.

### 3.4 Çift Oluşumu

Enerjisi 1.02 MeV'tan fazla olan gama fotonu atom çekirdeğinin yanından geçerse, foton kuvvetli elektrik alanında yok edilir, elektron ve pozitron çifti oluşur (Şekil 3.3) (Bilge ve Tuğrul, 1990).



**Şekil 3.3:** Çift oluşumunun şematik gösterimi.

Elektron ve pozitronun toplam kütlelerinin eş değer enerjisi 1.02 MeV olduğundan, parçacık çiftini oluşturmak için gerekli minimum enerji 1.02 MeV olması gerekir. Gama enerjisi bu değer üstünde olduğu zaman bu enerji genellikle elektronun ve pozitronun kinetik enerjisi olarak görülür, az bir kısmı da atom çekirdeğine aktarılır. Gama fotonunun enerjisinin artmasıyla fotoelektrik etki ve Compton saçılması gibi olayların olma olasılığı azalır, çift oluşumu olasılığı artar. Tıpkı fotoelektrik olayda olduğu gibi çift oluşumu sonucunda da gelen foton soğurulur. Oluşan elektron ve pozitronlar bir birlerini yok ederler ve anihilasyon ışınları verirler (Bilge ve Tuğrul, 1990).

## **4. İNCE FİMLERİN ÜRETİMİ, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİ**

### **4.1 İnce Film Kaplama Yöntemleri**

İnce film hazırlamak için değişik metodlar kullanılmaktadır. Bu metodlar genel olarak hazırlama üslubuna göre iki gruba ayrılır: fiziksel metodlar ve kimyasal metodlar. Bu metodlardan bazıları Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Film hazırlama teknikleri, filmin kristal yapısının oluşturulduğu konuma göre ikiye ayrılır: yerinde (in-situ) ve ortam dışı (ex-situ). Ortam dışı tekniklerde ilk önce film üretilir (altlık üzerine film kaplanır) daha sonra ısı işlem yapılarak istenilen faz ve yönlenmede ince filmler elde edilir. Yerinde tekniklerde ise ince film doğrudan haznesinden (vakum ortamından) çıkarıldığında istenilen fazda ve yönlenmede filmler elde edilir. Filmlerin özelliklerini belirleyen diğer bir parametre de ortama verilen gazdır.

### **4.2 Sol – Jel Metodu**

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısında, bilimin ilerlemesiyle karmaşık uygulamaların ortaya çıkışı, alternatif sentetik yöntemlerin ortaya çıkmasında muazzam bir ilgiye yol açmıştır. Stokiyometri ve katkılamanın istenilen parçacığın büyüklüğünün ve düzeninin ve kristal yapısının kontrolü birçok durumda hayati önem taşır. Kararlı ve yarı kararlı polimorfların üretimine olanak tanıyan, zorlu kimyasal süreçler gerektirmeyen yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında CVD, iyon takası, hidrotermal sentez ve sol – jel sayılabilir (Lind ve diğ, 2010). Bu yöntemlerin uygun ortak yönleri kayda değer derecede düşük tepkime sıcaklıklarıdır. Bu sıvı veya gaz bazında tepkimelerle mümkün olmaktadır ki böylece geleneksel katı hal yaklaşımlara göre daha yüksek difüzyon hızları sağlar.

Sol – jel yöntemleri birçok malzeme için çözelti tabanlı bir yaklaşım sunduğundan oldukça caziptir (Roy ve diğ, 1987; Rao, 1993). Tepkime ürünleri, çeşitli tepkime değişkenlerinin kontrolü ile yönlendirilebilir. Sol – jel yönteminin bir diğer avantajı da üretilebilecek malzemelerin şekillerinin çeşitliliğidir: ince taneli tozlar, fiberler, ince filmler, zerojeller, arojeller, sütunlar vb. (Roy ve diğ, 1987)

**Çizelge 4.1 : İnce film kaplama metotları.**

Fiziksel Metotlar	Kimyasal Metotlar
<ul style="list-style-type: none"><li>• Saçtıtararak (Sputter) Kaplama</li><li>• ŞManyetik Saçtırma (Radyo Frekans ve Doğru Akım)</li><li>• Şiyon Hüzmesi ile Saçtırma (Radyo Frekans ve Doğru Akım)</li><li>• Darbeli Lazer Biriktirme (PLD)</li><li>• Elektron Işınıyla Buharlaştırma</li><li>• Flaş Buharlastırma</li><li>• Plazma Sprey</li><li>• Moleküler Işın Buharlastırma</li><li>• Laser Ablasyon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition, CVD)</li><li>• ŞMetal – Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (Metal – Organic Chemical Vapour Deposition, MOCVD)</li><li>• ŞPlazma destekli Kimyasal Buhar kaplama (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition, PECVD)</li><li>• Sol – Jel</li><li>• Hidrotermal Sentez</li><li>• Metal – Organik Biriktirme (Metal – Organic Deposition, MOD)</li><li>• Elektrobiriktirme</li><li>• Aerosol/Spray püskürtme</li><li>• Sıvı hal Epitaksi (Liquid phase epitaxy, LPE)</li></ul>

Sol –jel yöntemi kendi içinde sulu sol – jel ve susuz sol – jel yöntemi (SzSJ) olarak ayrılabilir (Roy ve diğ, 1987; Hench ve West, 1990; Vioux, 1997). Sulu sol – jel yöntemi organik çözücü içerisindeki metal alkoksit ve küçük bir miktar suya dayanır. Bu süreçte metal – oksijen bağının kırılması sınırlayıcı adımdır ve farklı metaller için çok farklı tepkime kinetiği vardır. Bu yöntem  $\text{SiO}_2$  gibi birçok malzemeye uygulanmıştır (Xu ve Anderson, 1997).

Sulu sol – jel süreçlerinin sınırlılığı, birbirinden farklı hidroliz süreçlerine sahip karışık metal oksitlerin üretiminde ortaya çıkar (Isobe ve diğ, 1994). Böyle durumlarda hidroliz hızı yüksek metali yavaşlatmak için çözeltiliye çeşitli ajanlar katılır. Bu süreçler homojenliğin düşük seviyede sonuçlanmasına neden olabilir. Uygun alternatif ise metal halidlerin oksijen kaynağı olarak ikincil veya üçüncül eterlerle tepkimeye girdiği SzSJ yöntemidir. Metal halidlere alternatif olarak tepkimelerde başlangıç malzemesi olarak doğrudan metal alkoksitler de kullanılabilir ve eter eliminasyonu ile de ilerlenebilir. Sulu sol – jel yöntemi ile karşılaştırıldığında SzSJ tepkimeleri farklı bir mekanizmada yürür ve metal iyonlarının niteliğine kayda değer derecede daha az bağlıdır.

Sulu sol – jel süreci kısaca ön malzeme çözeltilisinin su tarafından başlatılan inorganik polimerizasyon tepkimeleri ile inorganik katıya dönüşmesi olarak tanımlanabilir (Niederberger ve Pinna, 2009). Genel olarak ön malzeme veya

başlangıç bileşiği ya inorganik (karbon içermeyen) metal tuzudur (klorit, nitrat, sülfat, vb.) veya alkoksit gibi metal organik bileşiktir. Metal alkoksitler en çok kullanılan ön malzemelerdir çünkü suyla kolayca tepkimeye girerler ve bir çok metal için bulunabilirler (Bibby ve Dale, 1985).

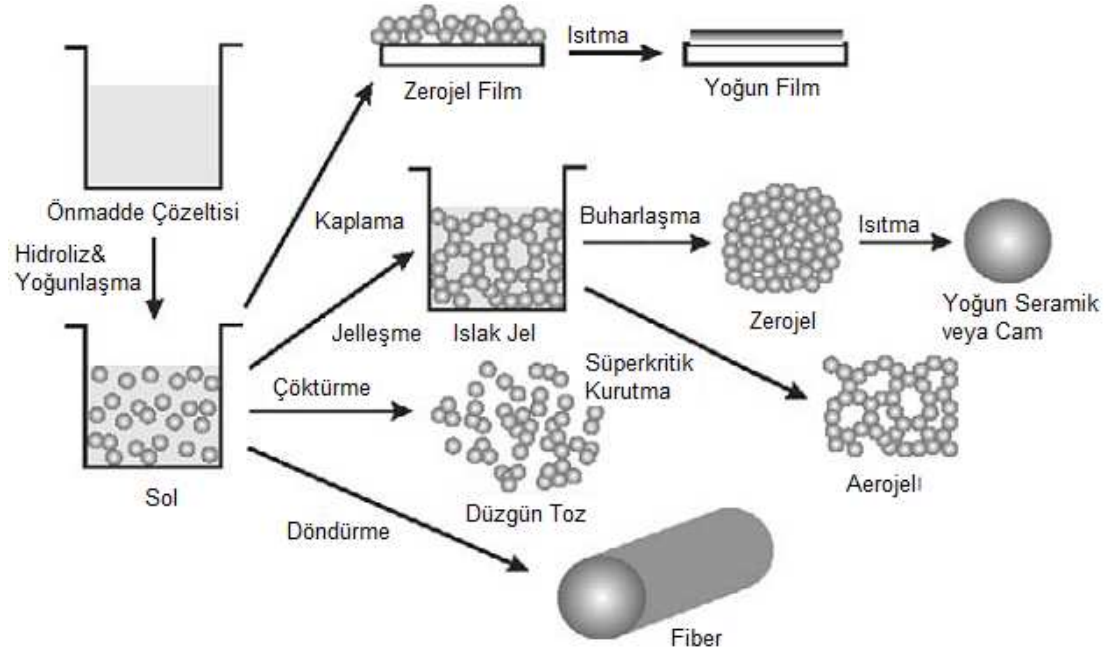
Genel olarak sol – jel süreci aşağıdaki adımlardan oluşur (Mehrotra ve Singh, 1997):

- i) Metal organik ön maddenin suyla karışabilen bir organik çözücünde çözüldükten sonra homojen bir çözeltinin eldesi veya inorganik metal tuzlarının suda çözünmesi
- ii) Uygun miyarla işlem görerek (genel olarak herhangi bir asit/baz içeren veya içermeyen su) homojen çözeltinin sole dönüşümü
- iii) Bekletme
- iv) Şekil verme
- v) Isıl işlem / tavlama

Sol – jel tepkimesinin ilk adımı hidroliz ve yoğunlaşma tepkimeleri yoluyla inorganik polimerlerin oluşumudur. Hidroliz koloidal parçacıkların sıvı içinde asılı olduğu bir sol oluşturur ve daha ileri hidrolizde sıvı fazı çevreleyen rijit ve gözenekli inorganik ağların birleşimi olan jeli oluşturur. Bu dönüşüm sol – jel geçişi olarak adlandırılır. Jelleri kurutmak için iki yol vardır: kritik üstü şartlarda gözeneklerdeki sıvının uzaklaştırılması ve ağın çökmemesi ve aerojel oluşumu veya oda koşullarında kurutma, gözeneklerin çökmesi ve zerojel oluşumu. Sol – jel sürecinin en dikkat çekici özelliklerinden biri malzemenin istenilen her forma sokulabilmesidir (Şekil 4.1).

SzSJ sürecinde ön maddelerin dönüşümü suyun olmadığı organik çözücülerde gerçekleşir. Sulu sol – jel süreciyle karşılaştırıldığında potansiyel ön maddeler çok daha fazladır ve inorganik metal tuzlarına ve metal alkoksitlere ek olarak metal asetatları ve metal asetilasetonatları da içerir.

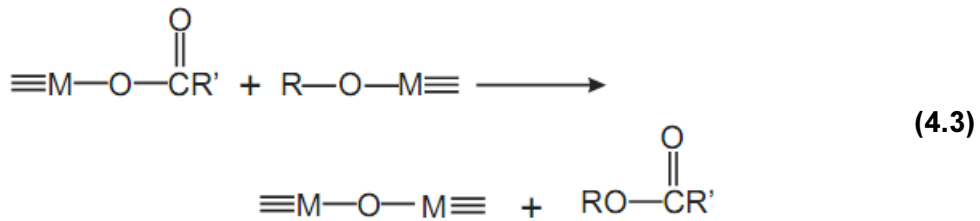
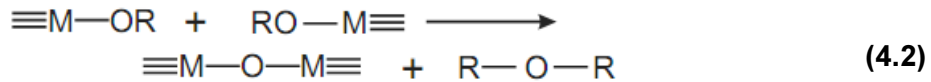
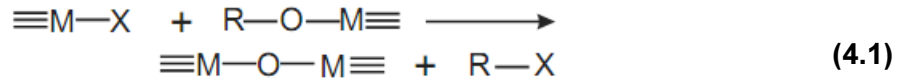
Sulu sol – jel sistemlerinde metal alkoksitler en sıklıkla kullanılan ön maddelerdir. Oksitik ağın kimyasal dönüşümü hidroliz ve yoğunlaşma tepkimelerini içerir. Sulu sol – jel sürecinde oksit bileşiğinin oluşumu için gerekli oksijen su molekülleri tarafından sağlanır. Yapı itibarıyla suyun bulunmadığı susuz sistemlerde ise oksijen çözücü tarafından (eter, alkol, keton veya aldehit) veya önmaddenin organik bileşeninden (alkoksit veya asetilasetonat) tarafından sağlanır (Inoue ve diğ, 1993).

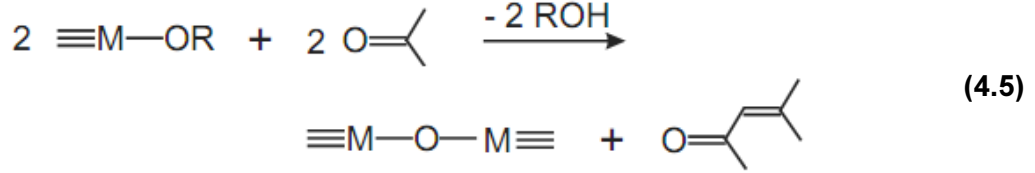
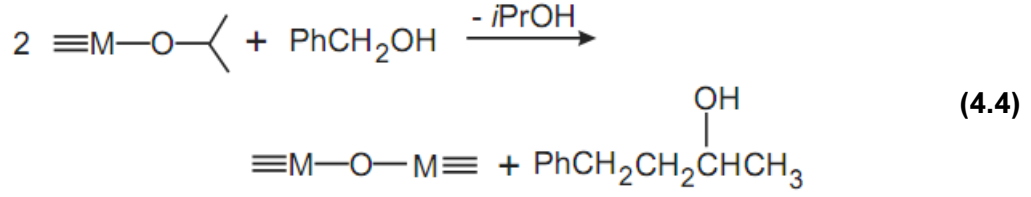


**Şekil 4.1:** Sol – jel tepkimeleriyle oluşturulabilecek yapılar (Niederberger ve Pinna, 2009).

SzSJ tepkimeleri beş grupta toplanabilir (Niederberger ve Pinna, 2009):

- i) Alkil – halit eliminasyonu (Eşitlik 4.1)
- ii) Eter eliminasyonu (Eşitlik 4.2)
- iii) Karboksilat gruplarının yoğunlaştırılması (ester ve amit eliminasyonu) (Eşitlik 4.3)
- iv) Benzylic alkollerin ve alkoksit moleküllerinin C – C çiftlenimi (Eşitlik 4.4)
- v) Aldol/ketamin yoğunlaştırılması (Eşitlik 4.5)



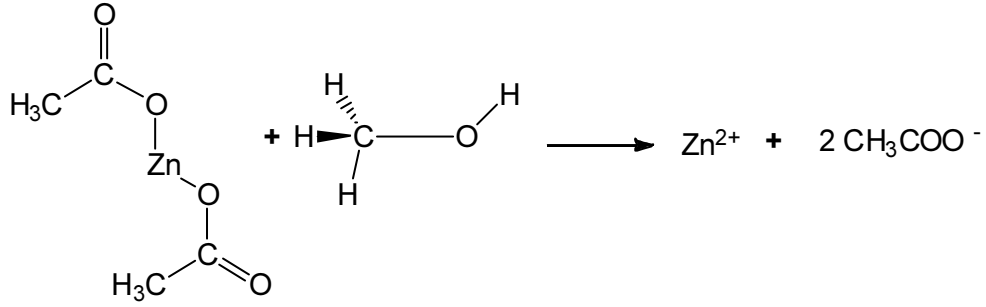


SzSJ süreci kabaca yüzey aktif madde kontrollü ve çözücü kontrollü olarak ayrılabilir. Yüzey aktif madde kontrollü sentez süreçleri ön maddelerin bir dengeleyici ligand yardımıyla 250 – 350 °C sıcaklık aralığında oksitik bileşiklere dönüşümünü içerir (de Mello Donega ve diğ, 2005).

Yüzey aktif kontrollü senteze alternatif ise parçacık büyümesine kontrol ajanı olarak davranan ve yüzey aktif maddelerin bulunmadığı ortamda yüksek saflıkta malzeme üretimi sağlayan yaygın organik çözücülerle kontrollü sentezdir (Park ve diğ, 2007). Yüzey aktif maddelerin kullanıldığı metal oksit sentezleri ile karşılaştırıldığında çözücü kontrollü yaklaşımlar daha basittir, çünkü başlangıçtaki tepkime karışımı sadece metal oksit ön maddeleri ve çözücünden oluşur. Tepkimeye giren maddelerin az sayıda oluşu çözeltinin son karakterizasyonunu ve buna bağlı olarak tepkime mekanizmalarının belirlenmesini kolaylaştırır. Ayrıca sentez sıcaklığı daha düşüktür.

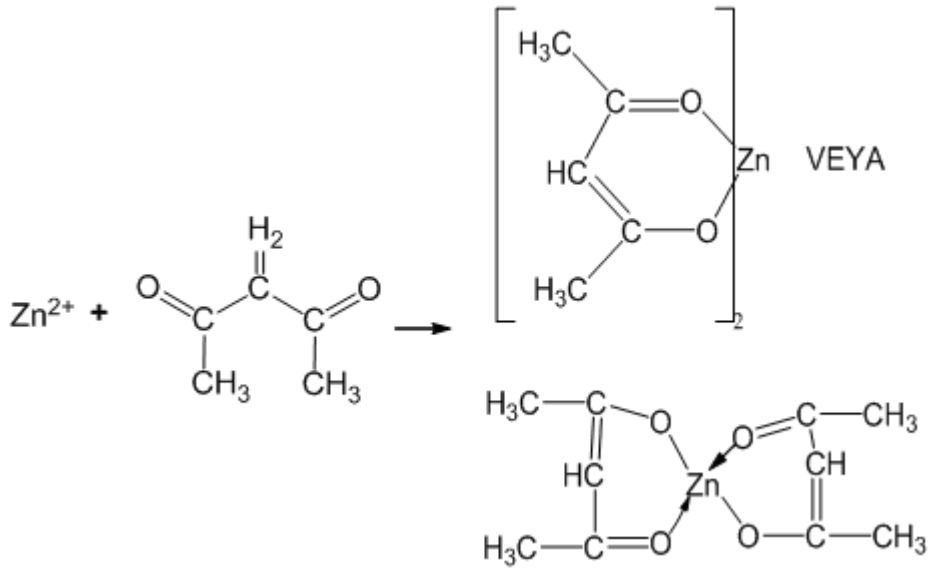
Her iki yaklaşıma karşılaştırmalı olarak bakıldığında yüzey aktif madde kullanılarak yapılan sentezlerde metal oksit nanoparçacıkların büyümesinde çok etkin bir kontrol sağlanmaktadır ve bu da mükemmele yakın bir boyut eşitliği sağlar (Park ve diğ, 2007). Yüzey aktif maddelerin nanoparçacık yüzeylerini denetleyebilme becerileri bazen belirli kristal yüzeylerin seçilimiyle birleştirilerek şekil kontrolü, düşük topaklanma eğilimi, organik çözücüde düzgün dağılım ve yüzey özelliklerinin şekillendirilmesi gibi avantajlar sağlayabilir. Ancak parçacık yüzeylerince absorblanabilecek yüzey aktif maddelerden kaynaklanabilecek olumsuz durumlar nanoparçacıkların zehirliliklerinin kestirilemeyecek oluşu, parçacık yüzeyine ulaşımın zorlaşmasıdır; bu gaz algılama ve katalizde ciddi bir sorundur (Nel ve diğ, 2006). Çözücü kontrollü yaklaşımlar bazı topaklanmalarla sonuçlansa da sonradan yapılabilecek uygulamalarla bu durum düzeltilebilir.

Susuz sol –jel yöntemi ile yüzey aktif madde kullanılarak üretilen çinko oksit için kullanılan Çinko Asetat (ZnAc) bileşiğinin metanol içerisinde iyonlaşma tepkimesi Şekil 3.2’de arz edilmektedir.



**Şekil 4.2:** Çinko Asetat bileşiğinin metanol içerisinde iyonlaşma tepkimesi.

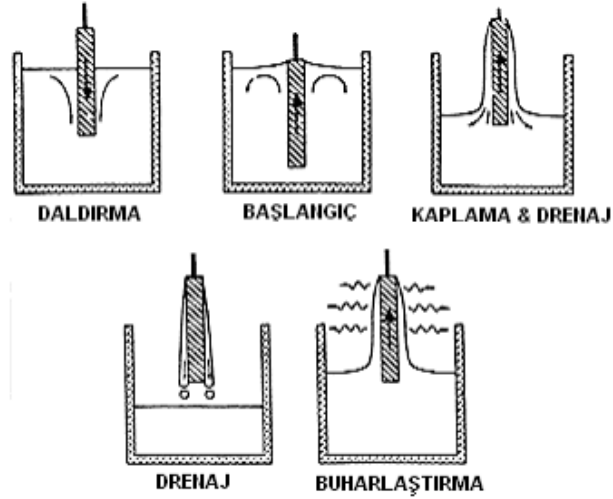
Şekil 4.2’deki tepkimeye göre metanol içerisinde çözünen ZnAc,  $\text{Zn}^{+2}$  ve  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  olarak iyonlarına ayrışır. Daha sonra çözeltiliye yüzey aktif madde görevi görece kilyon maddesi olarak Asetil Aseton (AcAc) katıldığında  $\text{Zn}^{+2}$  iyonları AcAc ile kompleks yapı oluştururlar. Ön ısıl işlem yapılarak  $\text{Zn}^{+2}$  iyonları bu yapıdan oksijeni alır ve yapının diğer bileşenleri yanar (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3:** Kompleks bileşiklerin oluşumu.

Daldırarak kaplama (Dip Coating), kaplanmak istenen altlığın, hazırlanan çözelti içerisinde daldırılarak, çözeltinin altlık yüzeyine tutunması, daha sonra çözeltinin ön ısıl işlemden geçirilerek çözücünün buharlaşması sürecidir (Şekil 4.4). Bu süreç sonrasında altlığın üzerindeki kaplama tavlansak kristal yapısının oluşması sağlanır.





**Şekil 4.4:** Daldırarak kaplama sürecinin adımları (Bilgen, 2008).

Daldırarak kaplama sürecinde etkili olan faktörler ile yapılan kaplama arasındaki denlem

$$h = c \sqrt{\frac{\eta U}{\rho g}} \quad (4.6)$$

olarak arz edilmektedir. Bu eşitlikte

h: kaplama kalınlığını

c: orantı sabitini

$\eta$ : çözeltilerin vizkozitesini

U: geri çekme hızını

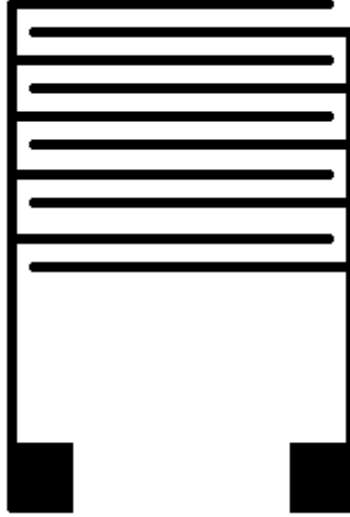
$\rho$ : çözeltilerin yoğunluğunu

g: yer çekimi ivmesini

ifade etmektedir.

### 4.3 Elektriksel Ölçümler

Elektriksel ölçümler alınırken ince film üzerine fiziksel buharlaştırma yöntemi ile inter dijital transdüser (IDT) yapısında altın kaplama yapılmıştır. Yapı 8 parmaklı olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.5). Üzerine kaplama yapılmış olan ince filmler ısıtıcı bir örnek tutucuya tutturularak, IDT yapısından gümüş pastayla kontakt alınmış ve çeşitli sıcaklıklarda uygulanan gerilime karşılık akım değerleri okumuştur.



**Şekil 4.5:** 8 parmaklı IDT yapısı'nın şematik gösterimi.

Bir malzeminin direnci Ohm yasası uyarınca

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (4.7)$$

ifadesiyle verilir. Burada

R: Kaplamanın direncini

$\rho$ : Kaplamanın öz direncini

$\ell$ : Kaplamanın uzunluğunu

A: Kaplamanın kesit alanını

ifade eder. Buradan öz direnç değeri çekilirse:

$$\rho = \frac{RA}{\ell} \quad (4.8)$$

olarak verilir. Kaplamanın kesit alanı

$$A = dh \quad (4.9)$$

olarak ifade edilebilir. Bu eşitlikte

d: IDT kaplamanın parmaklar arasında kalan genişliğini

h: Kaplama kalınlığını

temsil etmektedir. Eşitlik öz direnç denkleminde yerinde konursa, denklem

$$\rho = \frac{Rdh}{\ell} \quad (4.10)$$

halini alır. Bir maddenin iletkenliği, özdirencin çarpmaya göre tersidir. Buna göre ince film kaplamanın iletkenliği ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{\ell}{Rdh} \quad (4.11)$$

denklemi ile verilir. Bu denklemdeki direnç değeri, çizilecek olan Akım-Gerilim grafiğinin eğiminden bulunur. Ayrıca ölçümlerde kullanılan IDT yapısının 8 parmaklı olduğu düşünülürse, bu yapı birbirine paralel bağlı 8 adet direnç gibi düşünülebilir. Bu hususlar da denklemde dikkate alınırsa iletkenlik denklemi

$$\sigma = \frac{\ell}{8Rdh} \quad (4.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Her sıcaklıkta malzemenin direnci yarı iletken özelliklerine göre değişeceğinden, buradaki iletkenlik değeri, her sıcaklık için ayrı ayrı tespit edilen direnç değerlerine göre yeniden hesaplanır.

Sıcaklıkla iletkenlik arasında

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_a}{kT}} \quad (4.13)$$

ilişkisi vardır. Bu eşitlikte

$\sigma_0$ : Orantı sabitini

$E_a$ : Aktivasyon enerjisi

k: Boltzmann sabitini

T: Mutlak sıcaklığı

temsil etmektedir. Bu denklemde eşitliğin iki tarafının da doğal logaritması alınırsa denklem

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_a}{kT} \quad (4.14)$$

halini alır. Burada logaritmik ifadeler eşitliğin bir tarafında toplanırsa

$$\ln \sigma - \ln \sigma_0 = -\frac{E_a}{kT} \quad (4.15)$$

denklemini elde edilebilir. Bu denklemde Boltzmann sabitinin yanında orantı sabitinin doğal logaritmasının bir sabit sayı olduğu düşünülürse iletkenliğin aktivasyon enerjisinin ve sıcaklığın fonksiyonu olduğu görülebilir. Buna göre Boltzmann sabitinin birimlerini aktivasyon enerjisinin birimlerine göre uyarlayarak, iletkenliğe karşı sıcaklığın tersinin grafiği çizilirse, bu grafiğin eğimi aktivasyon enerjisi ile orantılı olacaktır.

#### 4.4 Optik Ölçümler

Optik soğurma, bir malzeme üzerine düşen ışığın, malzemedeki yüklerle olan etkileşimi sonucu maruz kaldığı enerji kaybıdır. Bu özelliğiyle soğurma yarıiletken kristallerin bant aralıklarının belirlenmesi için kullanılabilir etkin bir yöntemdir. Bu yöntemde göre gelen ışığın dalga boyu eğer yarıiletken malzemenin değerlik bandındaki elektronun iletkenlik bandına geçmesine yetecek enerji olan bant aralığı ( $E_g$ ) kadar bir enerjiye sahipse bu ışık malzeme tarafından tam olarak soğurur. Soğurma olayıyla yarıiletken malzemedeki değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına geçerler. Bu geçiş süreci iki şekilde gerçekleşebilir: doğrudan bant geçişi ve dolaylı bant geçişi.

##### 4.4.1 Doğrudan bant geçişi

Yarı iletkenlerde doğrudan bant geçişi, yarı iletkenin değerlik bandının en üst seviyesi ile iletim bandının en alt seviyesinin aynı  $\vec{k}$  vektörü değerinde olmasıyla gerçekleşebilir. Buna göre elektron, gelen fotonun enerjisini  $\vec{k}$  vektöründe bir değişiklik olmadan soğurarak değerlik bandından iletim bandına geçer.

Buna göre son durumdaki enerji miktarı için

$$E_s = h\nu - E_d \quad (4.16)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada

$E_s$ : Son durumdaki enerji seviyesini

$h\nu$ : Gelen fotonun enerjisini

$E_d$ : Değerlik bandındaki enerji seviyesini

belirtmektedir. Son enerji seviyesi ile iletim bandı arasındaki enerji farkı

$$E_s - E_i = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*} \quad (4.17)$$

denklemleri ile, elektronun üst enerji seviyesine çıkmasıyla geride kalan boşluğun enerji seviyesi ise

$$E_d = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h^*} \quad (4.18)$$

denklemleriyle verilir. Bu denklemlerde

$E_i$ : İlk enerji seviyesini

$E_d$ : Değerlik enerji seviyesini

$m_e^*$ : Elektronun durağan kütlelerini

$m_h^*$ : Boşluğun durağan kütlelerini

$\hbar$ : Planck sabitinin  $2\pi$ 'ye bölümü sonucu elde edilen sabiti

temsil etmektedir. Bu denklemler, son durum enerji denklemine yazılırsa

$$h\nu - E_d = \frac{\hbar^2 k^2}{2} \left( \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (4.19)$$

Denklemleri elde edilir. Doğrudan bant geçişi ile Bant aralığı ( $\alpha$ ) arasında

$$\alpha h\nu = A_0 (h\nu - E_g)^n \quad (4.20)$$

bağıntısı vardır. Bu denklemlerde  $n$  izinli geçişler için  $1/2$ , yasaklı geçişler için  $3/2$  değerini alır.  $A_0$  sabiti ise

$$A_0 = \frac{q^2 \left( 2 \frac{m_e^* m_h^*}{m_e^* + m_h^*} \right)^{\frac{3}{2}}}{nch^2 m_e^*} \quad (4.21)$$

denklemleri ile ifade edilir.

#### 4.4.2 Dolaylı bant geçişi

Yarı iletkenlerde dolaylı bant geçişi, yarı iletkenin değerlik bandının en üst seviyesi ile iletim bandının en alt seviyesinin aynı  $\vec{k}$  vektörü değerine karşılık gelmemesiyle gerçekleşir. Buna göre enerji korunur ancak momentumun da korunabilmesi için ortama bir fonon salınması veya ortamdaki bir fonon soğurulması gerekir.

Dolaylı geçişler ortama fonon yayılımı durumunda

$$h\nu_y = E_s - E_d + E_f \quad (4.22)$$

denklemleriyle, fonon soğurulması durumunda ise

$$h\nu_s = E_s - E_d - E_f \quad (4.23)$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada “ $E_f$ ” yayımlanan fononun enerjisini belirtir. Ortamdan fonon soğurulduğu durumda soğurma katsayısı

$$\alpha(h\nu) = \frac{A_0 (h\nu - E_g + E_f)^n}{\frac{E_f}{e^{kT} - 1}} \quad (4.24)$$

denklemleriyle verilir. Eğer soğurma sonucunda ortama fonon yayılıyorsa soğurma katsayısı

$$\alpha(h\nu) = \frac{A_0 (h\nu - E_g - E_f)^n}{\frac{-E_f}{1 - e^{-kT}}} \quad (4.25)$$

denklemleriyle ifade edilir. Hem soğurmanın, hem de yayılımın geçerli olduğu durumlarda soğurma katsayısı için

$$\alpha(h\nu) \approx \frac{A_0 (h\nu - E_g + E_f)^n}{\frac{E_f}{e^{kT} - 1}} + \frac{A_0 (h\nu - E_g - E_f)^n}{\frac{-E_f}{1 - e^{-kT}}} \quad (4.26)$$

yaklaşık yapılabılır.

#### 4.4.3 Optik ölçümlerin yapılışı

Cam üzerine kaplanan ince filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri, UV – görünür – yakın kızıl ötesi spektrofotometresi kullanılarak, 1100 – 190 nm dalga boyu aralığında, 0.1 nm hassasiyetle ve yavaş tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Optik ölçümlerde kaplamaların optik geçirgenliğinin tespitinin yanı sıra bant aralığının tayini de hedeflenmiştir.

Bir malzemenin üzerine düşen ışığın şiddeti ile geçirdiği ışık şiddeti arasında

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (4.27)$$

bağıntısı bulunmaktadır. Burada

$I_0$ : Malzemenin üzerine düşen ışığın şiddetini

$I$ : Malzemenin geçirdiği ışığın şiddetini

$\alpha$ : Optik soğurma katsayısını

$t$ : Kaplamanın kalınlığını

ifade etmektedir. Denklemden üstel ifade yalnız bırakılırsa

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha t} \quad (4.28)$$

elde edilir. Eşitliğin iki tarafının da doğal logaritması alınır

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\alpha t \quad (4.29)$$

olur. Eşitliğin iki tarafı da eksi ile çarpılırsa eşitlik

$$\ln \frac{I_0}{I} = \alpha t \quad (4.30)$$

halini alır. Burada soğurma katsayısı yalnız bırakılırsa soğurma katsayısı

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \frac{I_0}{I} \quad (4.31)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Gelen ışık şiddeti ile geçen ışık şiddeti arasında

$$I = \frac{I_0}{100} T \quad (4.32)$$

eşitliği yazılabilir. Burada “T” optik geçirim yüzdesidir. Bu eşitlik soğurma katsayısını veren denklemde yerine konursa

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \frac{100}{T} \quad (4.33)$$

denklemini elde edilir.

Soğurma katsayısı ile bant aralığı arasında

$$\alpha_{hv} = A_0 (hv - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (4.34)$$

İlişkisi vardır. Burada

$E_g$ : Bant aralığını

$h$ : Planck sabitini

$v$ : ışığın frekansını

$A_0$ : orantı sabitini

temsil etmektedir. Bu eşitliğe göre soğurma katsayısı bant aralığının bir fonksiyonudur. Soğurma katsayısı ile gelen ışık enerjisi çarpımının karesine karşılık gelen ışık enerjisinin grafiği çizildiğinde, grafiğin lineer kısmının eğimi bant aralığını verecektir.



## 5. İNCE FİMLERİN ÜRETİMİ, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Mg ve Al katkılanmış ZnO ince filmler, sol – jel daldırarak kaplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Kaplamalarda ISOLAB marka lameller altlık olarak kullanılmıştır. Kaplama süreci sırasıyla çözeltilerin hazırlanması, kaplama yapılacak altlıkların temizliği, altlıkların ince film kaplanması ve fırınlama adımlarından oluşmaktadır. Ayrıca XRD analizlerinin yapılabilmesi için toz örnekler de hazırlanmıştır. Son olarak da Gama ışınımının etkilerinin incelenebilmesi için kaplanmış cam örnekler Cs-137 isotopu ile radyoaktif ışımaya maruz bırakılmıştır. Yapılan katkılamanın ZnO filmelerin optik, elektriksel özelliklerine etkileri incelenmiştir.

### 5.1 Zn<sub>0.95-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O Toz örneklerin hazırlanması

ZnO, Zn<sub>0.95</sub>Mg<sub>0.05</sub>O, Zn<sub>0.94</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.01</sub>O, Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O, Zn<sub>0.92</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.03</sub>O, Zn<sub>0.91</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.04</sub>O ve Zn<sub>0.90</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.05</sub>O toz örnekler çinko asetat dihidrat (ZnAc, (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Zn.2H<sub>2</sub>O) magnezyum asetilasetonat dihidrat (MgAcAc, [CH<sub>3</sub>COCH(O)CH<sub>3</sub>]<sub>2</sub>Mg.2H<sub>2</sub>O), ve alüminyum asetilasetonat (AlAcAc, Al(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>3</sub>) başlangıç malzemeleri kullanarak sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir. Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O toz örnek için çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 1-2 gün oda sıcaklığında karıştırıcıda karıştırılarak çözelti ve kilasyon malzemelerin buharlaşması sağlanarak kurutulmuştur. Elde edilen toz örnekler normal koşullarda fırında farklı sıcaklıklarda 200-400°C de ve farklı bekleme sürelerinde 2-10 dak. ön ısıtma tutularak kalan karbon maddeler yakılmıştır. Elde edilen toprak halindeki tozlar öğütülerek 400-900°C -10 dak da normal şartlar altında ısıtma işlemi yapıldı. Elde edilen toz örneklerin analizi K<sub>α</sub> dalga boyu 1.5418 Å olan Rigaku X-ray difraktometre ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan örneklerin kristal yapısının incelenmesi amacıyla yapılan kaplamalarla aynı katkılama oranlarına sahip toz örnekler hazırlanmıştır. Toz örnekler için gerekli çözelti, kaplama işlemi için gerekli çözelti ile aynı yöntemle hazırlanmıştır. Çözelti hazırlandıktan sonra, beherlerin üstünde kaplı olan parafilm kaldırılarak çözeltiler çeker ocakta manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak kurutulmuş ve jel oluşturulmuştur. Oluşan jel, oluşturduğu beherin içerisinde kül fırınına konarak hava ortamında 400°C sıcaklıkta 10 dakika ön ısıtma

işleme tabi tutulmuş, bünyesindeki organik yapılar uzaklaştırılmış ve toz haline gelmiştir. Oluşan toz daha sonra spatülle beherden kazınarak seramik kayıkçığa alınmış ve hava ortamında kül fırınında 600°C sıcaklıkta 30 dakika tavlansak kristal yapısının oluşması sağlanmıştır.

## 5.2 Sol – jel Daldırarak Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan İnce Filmlerin Üretimi

### 5.2.1 Çözeltilerin hazırlanması

Çizelge 5.1 de verilen başlangıç malzemeleri ayrı ayrı denenmiş ve bunlardan en uygunu çinko asetat dihidrat ( $ZnAc$ ,  $(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$ ) magnezyum asetilasetonat dihidrat ( $MgAcAc$ ,  $[CH_3COCHC(O)CH_3]_2Mg \cdot 2H_2O$ ), ve alüminyum asetilasetonat ( $AlAcAc$ ,  $Al(C_5H_7O_2)_3$ ) olarak tespit edilmiştir. Çözücü olarak metanol ( $CH_3OH$ ) ve kilasyon malzemesi olarak asetil aseton ( $C_5H_8O_2$ ) ve pH ayarlayıcı olarak da TEA ( $C_6H_{15}NO_3$ ) kullanılmıştır.

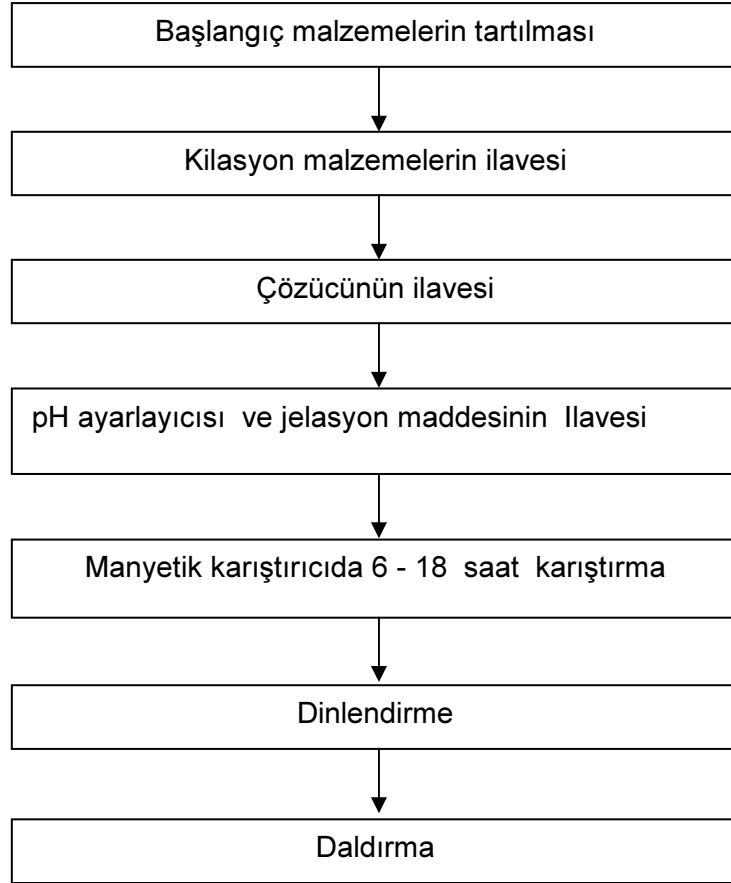
**Çizelge 5.1** : ZnMgAl ince film kaplanmasında kullanılan çözücüler ve bileşenler.

Başlangıç Malzemesi	Kilasyon Malzemesi	Çözücü	pH Ayarlayıcı ve jelasyon Maddesi
• Zn-2,4 Pentanedionate	• Asetil aseton	• Metanol	• Metilendiamine
• Zn-Asetat dihidrat	• Glasiyel	• Etanol	• Trietanolamin
• Mg-2,4 Pentanedionate	• Asetik Asit	• Isapropanal	• Detiendiamine
• Mg- Asetat			
• Al-2,4 Pentanedionate			
• Al-Asetat			

Çözeltiler hazırlanırken, ön maddeler hassas terazide tartılarak behere konulmuştur. Ön maddelerin molar konsantrasyonları arasındaki  $ZnAc$ :  $MgAcAc$ :  $AlAcAc$  oranı  $0.95-x:0.05:x$  şeklinde ayarlanmıştır. “x”  $AlAcAc$  molar oranını vermekte olup değeri  $0.01 - 0.05$  arasındadır. Behere konulan ön maddeler, molar konsantrasyonlar toplamı  $0.05$  olacak şekilde metanolde çözülmüş, daha sonra kilasyon maddesi olarak asetil aseton ( $AcAc$ ) ve stabilizör olarak trietanolamin (TEA), ön maddelerin molar oranlarının toplamıyla, ön madde: AA: TEA sırasına göre oranları  $1:1:1$  olacak şekilde eklenmiş, çözücünün buharlaşmaması için beherin üstü parafilm kaplanarak ve manyetik karıştırıcıda 8 saat karıştırılmıştır (Şekil 5.1). ZnMgAl kaplama sürecinin şematik gösterimi Şekil 5.2’de arz edilmektedir.



**Şekil 5.1 :** Örnek ZnMgAl Çözeltisi.



**Şekil 5.2:** ZnMgAl kaplama sürecinin şematik gösterimi.

### 5.2.2 Kaplama yapılacak altlığın temizliği

Kaplamalar 75mm x 25mm x 1 mm ebatlarındaki mikroskop camları üzerine yapılmıştır. Kaplama yapılacak camlar, dört aşamalı temizliğe tabi tutulmuştur: Camlar önce teknik kalitede metanolde ultrasonik banyoda 3 dakika temizlenmiştir. Akabinde distile suda ultrasonik banyoda 3 dakika durulanmıştır. Daha sonra teknik kalite isopropil alkolde ultrasonik banyoda 3 dakika temizlendikten sonra yine distile suda ultrasonik banyoda 3 dakika durulanmıştır. Son durulama işlemi sonrasında kurutma makinesi ile kurutulmuştur.

### 5.2.3 $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$ ince filmlerin kaplanması

Kaplamalar daldırarak kaplama düzeneği kullanılarak kaplanmıştır. Bu düzende camlar oda koşullarında beher içerisindeki çözeltiliye daldırıldıktan sonra tüp fırın içerisine 4 cm/sn hızla çekilerek, 400°C sıcaklıkta 30 saniye ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece cam üzerine tutunmuş jeldeki organik yapılar uzaklaştırılmıştır. Aynı süreç 20 defa tekrar edilerek kaplama işlemi tamamlanmıştır. Kaplanmış olan camlar daha sonra kül fırınında 600°C sıcaklıkta 30 dakika tavlansak kaplamaların kristal yapılarının oluşması sağlanmıştır. Daldırarak kaplama cihazı Şekil 5.3'de arz edilmektedir.



Şekil 5.3 : Daldırarak kaplama cihazı.

### 5.3 İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Karakterizasyon, üretilen malzemenin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra uygulanabilirliğinin ölçütünün belirlenmesi açısından da önemlidir. Çalışmada, ince film olarak kaplanan malzemenin karakterizasyonunda çözeltilerin içeriğindeki kimyasal bileşiklerin ayrışma sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla DTA – TGA; oluşturulan malzemenin kristal yapısının düzeninin belirlenmesi amacıyla XRD; nano ölçekte film yüzeyinin belirlenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM); ışık geçirgenliğinin ve yansıtma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla UV – Vis – NIR spektrofotometre; sıcaklığa bağlı olarak elektrik iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla da hazne, sıcaklık kontrol ünitesi ve elektrometre kullanılmıştır.

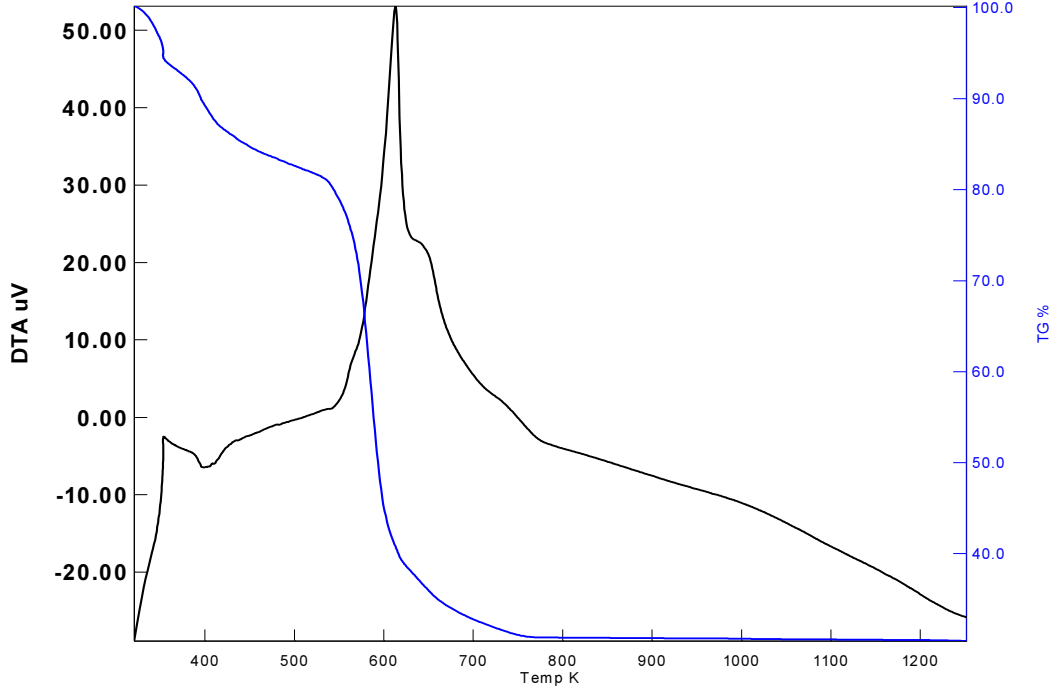
#### 5.3.1 Ayrımsal Isıl Analiz ve Isıl Ağırlıkça Analiz

Çözeltideki kimyasal maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ısı alan (endotermik) ve ısı veren (ekzotermik) reaksiyonlar olarak belirlemek amacıyla ayrımsal ısı analiz (Differential Thermal Analysis, DTA) kullanılmaktadır. Kurutma sıcaklığı denilen bütün organometaliklerin yandığı kaplamada sadece ZnMgAlO alaşımının kaldığı sıcaklık tespit etmek için DTA cihazı olarak Perkim Elmer DTA 7 kullanılmıştır. Ölçümün yapılabilmesi için çözeltiler oda sıcaklığında 1-2 gün kurutularak hazırlanmıştır. Kurutulan çözeltideki partiküller 10 – 15 mg arasında tartılarak potaya konulmuştur. DTA ölçümlerinde referans malzeme olarak 60 meşlik alümina tozu kullanılmıştır. DTA testleri 50 °C de ile 900 °C arasında havada yapılmıştır.

Kimyasal tepkimeler, bozunma olayları, çözücü ve oksidasyon olayları Isıl Ağırlıkça Analiz (Thermogravimetric Analysis, TGA) ile tespit edilmektedir. Ayrıca jel yapılarında oksit oluşum sıcaklıkları tespit edilerek ısı işlem tespiti yapılmıştır. Çalışmalarda TGA cihazı olarak Perkim Elmer TGA7 kullanılmıştır. Ölçümün gerçekleştirilmesi için hazırlanan çözeltiler oda sıcaklığında 1 – 2 gün kurutularak hazırlanmıştır. Kurutulan çözeltideki partiküller 10-15 mg arasında tartılarak potaya konulmuştur. TGA ölçümlerinde referans kap olarak platin pota kullanılmıştır. TGA testleri 50-900 °C arasında havada yapılmıştır.

ZnMgAl çökeltisinin DTA – TGA eğrilerine ilişkin sonuçlar Şekil 5.4'te verilmiştir. DTA testlerinden endotermik reaksiyon 200°C'den düşük sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. 100°C'a kadar çözeltide maksimum su ve kimyasallar ortamdan uzaklaşmaktadır. Ekzotermik reaksiyon ise 280°C de başlamış ve 500°C de sona ermiştir. Aynı zamanda TGA ölçümleri DTA ölçümlerini desteklemektedir. 100°C ye

kadar çözeltideki su yapıdan ayrılmıştır. 280°C ye kadar metanol ve asetil asetonda bulunan karbon esaslı maddeler oksijenle yanarak CO<sub>2</sub> ve CO gazlarına dönüşmüştür. 280°C -500°C arasında çözelti içinde arta kalan diğer maddeler yanarak ortamda sadece ZnMgAlO kalmıştır.



Şekil 5.4 : ZnMgAl çöktelisinin DTA – TGA grafiği.

### 5.3.2 X ışını kırınımı analizi

Zn<sub>0.95-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O filmlerin kristal yapı analizi ve fazlarının tanımlanması için X Işını Kırınım Ölçer (X-Ray Difraktometre, XRD) kullanılmıştır. X Işını kırınım deseni, yüksek enerjili elektron demetlerini yüksek voltaj ile hızlandırılarak (40 kV) metal hedefe (genellikle Bakır, Cu) çarptırarak elde edilir. Cu için 2p→1s geçişine K<sub>α</sub> denir ve dalga boyu 1.5418 Å'dür. 3p→1s geçişine ise K<sub>β</sub> denilir ve dalga boyu 1.3922 Å'dür. K<sub>α</sub> geçişi K<sub>β</sub> geçişinden daha sık meydana gelir. K<sub>α</sub> geçişi daha şiddetli olduğu için difraktometrede kullanılır. Örneklerin analizi K<sub>α</sub> dalga boyu 1.5418 Å olan Rigaku ve Scintag DMC-105 X-ray difraktometre ile 20° – 80° 2θ açı aralığında 0.02° adım aralığıyla yapılmıştır.

### 5.3.3 Taramalı elektron mikroskobu analizi

Kaplamaların yüzey ve ara yüzey yapılarını, deformasyonlarını, tane sınırlarını, tane büyüklüklerini ve kaplamaların kalınlıklarını araştırmak için Philips XL30 ESEM-FEG/EDAX Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Numune SEM'e yerleştirildiğinde numunenin bütün yüzeyini tarayan odaklanan elektron demeti ile bombardıman edilir. Elektron demeti numunenin yüzeyine çarptığı anda numunenin yüzeyi ile etkileşir ve ikincil elektronlar, geri saçılan elektronlar ve X-ışını üretir. SEM'de numune analizlerinde 3 dedektor kullanılmaktadır:

- 1- Environmental Secondary Electron Detector (ESD)
- 2- Backscattered Elektron Detector (BSD).
- 3- Energy Dispersive X-ray (EDS) detector

### 5.3.4 Optik özelliklerin belirlenmesi

Optik özelliklerin belirlenmesinde, PG Instruments marka UV – Vis – NIR bölgelerde ölçüm alabilen spektrofotometre kullanılmıştır ve cihaz aracılığıyla ince filmlerin optik geçirgenlik ve yansıtma özellikleri incelenmiştir (Şekil 5.5). Ölçümlerde cihazın azami ölçüm aralığı olan 190 – 1100 nm dalga boyu aralığı seçilmiştir ve ölçümlerde 0.1 nm adım ayarı yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen verilerden ince filmlerin optik bant aralıkları hesaplanmıştır.



**Şekil 5.5:** Optik ölçümler için kullanılan UV-Vis-NIR spektrofotometre.

### 5.3.5 Sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerin belirlenmesi

Sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerin belirlenmesinde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü bünyesinde bulunan Sensör Laboratuvarındaki UNIVEX marka 450 model termal evaporatör, özel üretim kaplama maskesi, özel üretim ısıtmalı hazne, Lake Shore marka 340 model sıcaklık kontrolörü ve Keithley marka elektrometre kullanılmıştır (Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8).

Kaplanan ince filmlerin sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için önce üzerlerine özel üretim maske kullanılarak termal evaporatörde 8 parmaklı inter dijital transdüser (IDT) yapısında altın kaplanmıştır. Daha sonra özel üretim ısıtmalı hazne içerisinde atmosfer koşullarında sıcaklık kontrolörü denetiminde 10°C sıcaklık adımıyla 30°C sıcaklıktan 200°C sıcaklığa kadar örnekler ısıtılmış ve her sıcaklık adımında 0.05V elektrik potansiyel adımıyla 500 ms aralıkla +1V – -1V aralığında potansiyel farkı uygulanarak gerilime karşı akım ölçümleri alınmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 5.6:** IDT yapısının kaplanması amacıyla kullanılan termal evaporatör (a) ve maske (b).





(a)



(b)

**Şekil 5.7:** IDT yapısının kaplanması için maske üzerinde ince film kaplı camların yerleşimi (a) IDT kaplamasının tamamlanmış hali.



(a)



(b)

**Şekil 5.8:** Isıya bağlı elektrik ölçümlerin belirlenmesi için kullanılan sıcaklık kontrol ünitesi ve elektrometre (a) ve örneklerin yerleştirildiği hazne (b).

### 5.3.6 İnce filmlerin ışınlama işlemleri

#### 5.3.6.1 Cs-137 izotopu

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin radyasyon absorpsiyon işlemlerinde Cs-137 gama radyoizotopu kullanılmıştır. Deneyde kullanılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ait özellikler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Radyasyon işlemlerinde kullanılan Cs-137 izotopunun özellikleri.

$K_{\gamma}$ (Rm <sup>2</sup> /Cih)	A ( $\mu$ Ci)	$T_{1/2}$ (y)	$E_{\gamma}$ (keV)	Üretim Modu
0.33	8.39	30.17	661.66	Fisyon

Üretilen ince filmler, 0.2 ve 0.4 Gy olmak üzere iki farklı radyasyon dozuna maruz bırakılmıştır. Deneyde kullanılan Cs-137 gama radyoizotopunun yandan görünümü Şekil 5.9'da arz edilmektedir.



**Şekil 5.9:** Işınlama işlemlerinde kullanılan Cs-137 izotopu.

### 5.3.6.2 Işınlama düzeneği

Gama ışınlarını zırlama ünitesi olarak, 5 cm kalınlığındaki kurşun bariyerler kullanılmıştır. Söz konusu kurşun bariyerler geometri olarak birbiri içine geçen kemer tuğlalardan oluşmaktadır. Şekil 5.10'da deneyde kullanılan zırlama ünitesi bariyer görülmektedir.



**Şekil 5.10:** Deneyde zırh ünitesi olarak kullanılan kurşun bariyerler gama ışın kaynağı ile birlikte.

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmler Cs-137 izotopu kullanılarak iki farklı dozda gama ışınlarına maruz bırakılmıştır.  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmler Şekilde-5.11'de görüldüğü gibi, Cs-137 izotopu çevresinde düzgün beşgen oluşturacak şekilde panoramik olarak yerleştirilmiştir ve kullanılan izotopla aralarında 1.75 cm mesafe bulunmaktadır. Işınlama işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.11 :**  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin ışınlama işlemi için Cs-137 çevresinde yerleşimi.



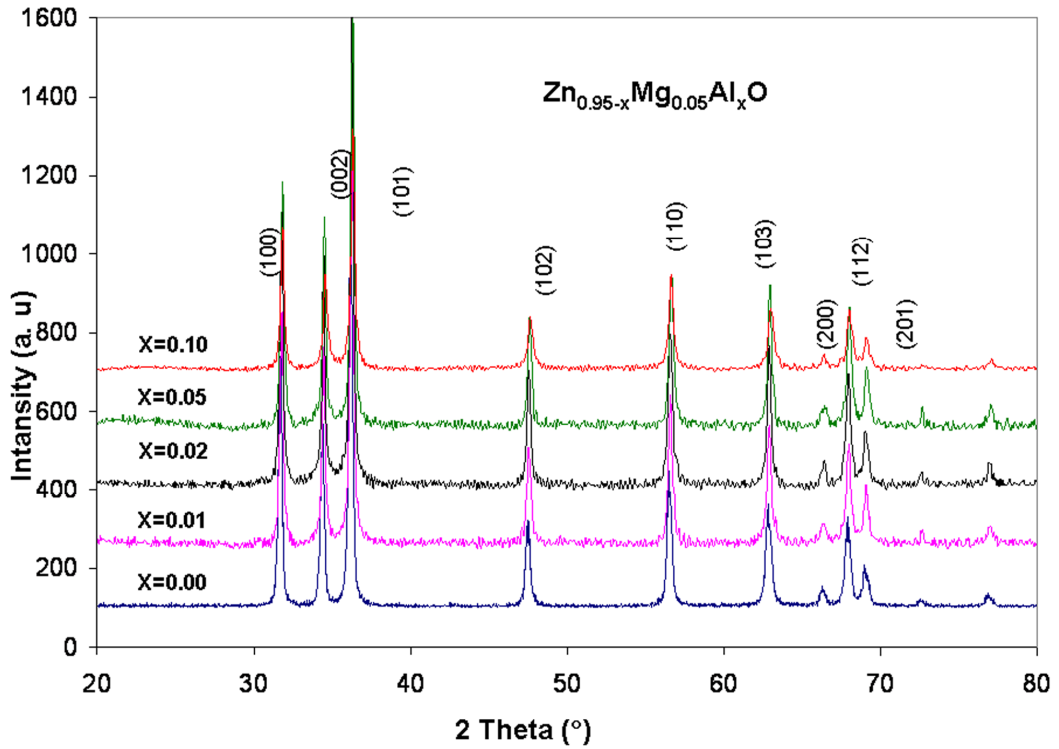


## 6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1 İnce Filmlerin Karakterizasyon Sonuçları

#### 6.1.1 XRD analiz sonuçları

Şekil 5.1'de 600 C de 30 dak. Isıl işlem yapılan örneklerin XRD sonuçları verilmiştir. XRD analizleri sonucunda (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) difraksiyon pikleri görülmüştür. ZnO piklerinin haricinde ekstra pik ve ikincil faz görülmemiştir. Aynı zamanda bütün örnekler Wurtzite kristal sisteme ait ve tek kristal faza sahip olduğu görülmektedir. Şekil 6.1'deki arz edilen difraksiyon düzlemlerindeki difraksiyon piklerinin şiddeti incelendiğinde en şiddetli pik veren difraksiyon düzleminin (002) düzlemi olduğu görülmektedir.



Şekil 6.1: ZnMgAl toz numunelerin XRD grafiği.

Çizelge 6.1'de (002) düzlemi doğrultusundaki piklerin yarı maksimumda tam genişlik (Full Width at Half Maximum, FWHM) değerleri PeakFit isimli program kullanılarak hassas bir şekilde belirlenmiştir. FWHM değerlerindeki azalma, üretilen filmlerdeki

kristalitlerin büyüdüğüne işaret etmektedir. En büyük kristallitlere sahip ince film yapısı,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmlerde tespit edilmiştir.

**Çizelge 6.1:**  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin (002) düzlemi doğrultusundaki FWHM değerleri.

İnce Film Bileşeni	FWHM Değeri
$Zn_{0.95}Mg_{0.05}O$	0,366891
$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$	0,323104
$Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$	0,306368
$Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$	0,320575
$Zn_{0.85}Mg_{0.05}Al_{0.10}O$	0,358647

Üretilen ince filmlerin ortalama kristalit büyüklükleri Eşitlik 6.1'deki Scherrer denklemi kullanılarak belirlenebilmektedir (Baydoğan ve diğ., 2013). Söz konusu bu denklemde,  $\theta$  difraksiyon açısı,  $\beta$  radyan cinsinden FWHM olarak ve  $\lambda$  da  $CuK_{\alpha}$ 'nın dalga boyu (1.54Å) olarak alınmaktadır. Scherrer denklemi kullanılarak filmlerin ortalama kristalit büyüklükleri Çizelge 6.2'de arz edilmektedir.

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (6.1)$$

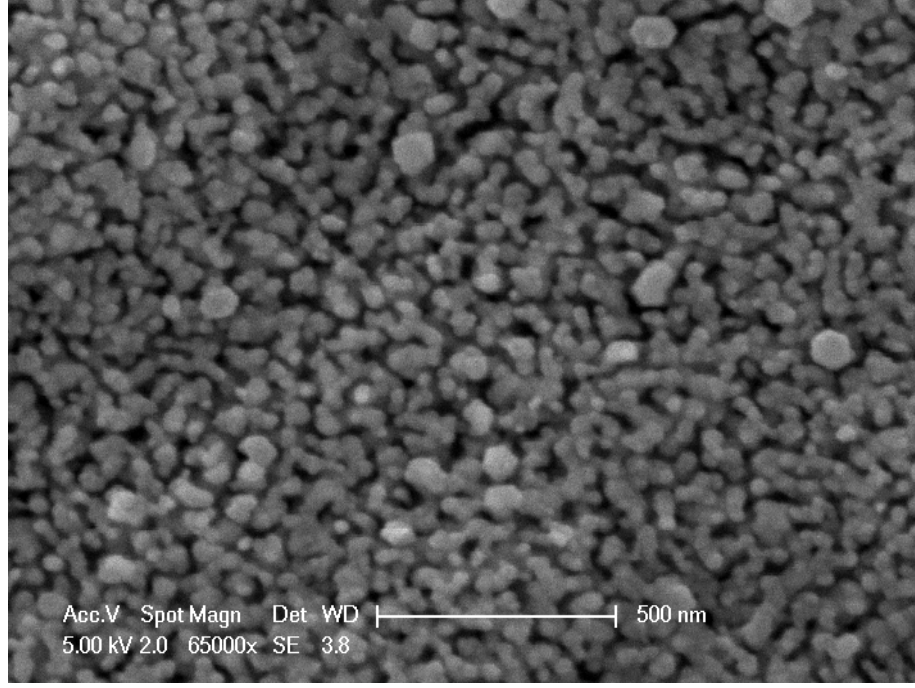
**Çizelge 6.2:**  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin ortalama kristalit büyüklükleri.

İnce Film Bileşeni	Ortalama Kristalit Büyüklüğü (nm)
$Zn_{0.95}Mg_{0.05}O$	25.48
$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$	24.79
$Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$	23.89
$Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$	22.80
$Zn_{0.85}Mg_{0.05}Al_{0.10}O$	20.77

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin ortalama kristalit büyüklüklerinin Al konsantrasyon miktarının artışıyla azaldığı tespit edilmiştir. Al konsantrasyonunun artışı, ZnO:Al kristalitlerin büyüklüğünü azaltıcı etki yapmaktadır (Baydoğan, 2013). Bu tez çalışmasında, Al artışı ile  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin kristalit büyüklüğünün benzer bir şekilde azaldığı belirlenmiştir.

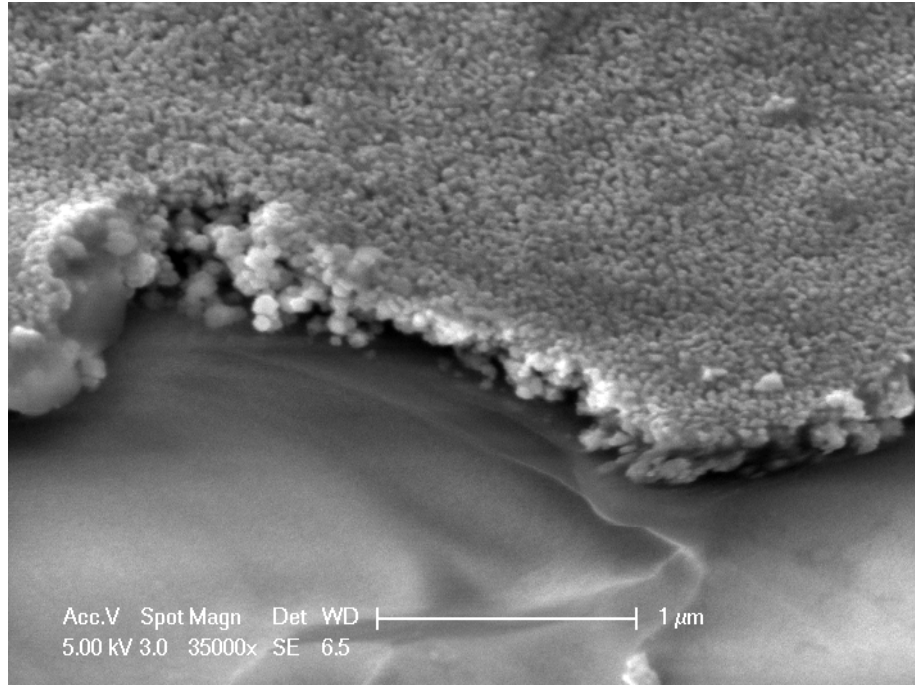
### 6.1.2 SEM analiz sonuçları

Şekil 6.2'de 600°C sıcaklıktaki kül fırınında 30 dakika hava ortamında tavllanmış  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  konsantrasyonundaki, ince filmin yüzey morfolojisi görülmektedir. İnce film yüzeyinin homojen bir yapıya sahiptir. Ortalama parçacık büyüklüğü yaklaşık 45 nm olarak tespit edilmiştir.



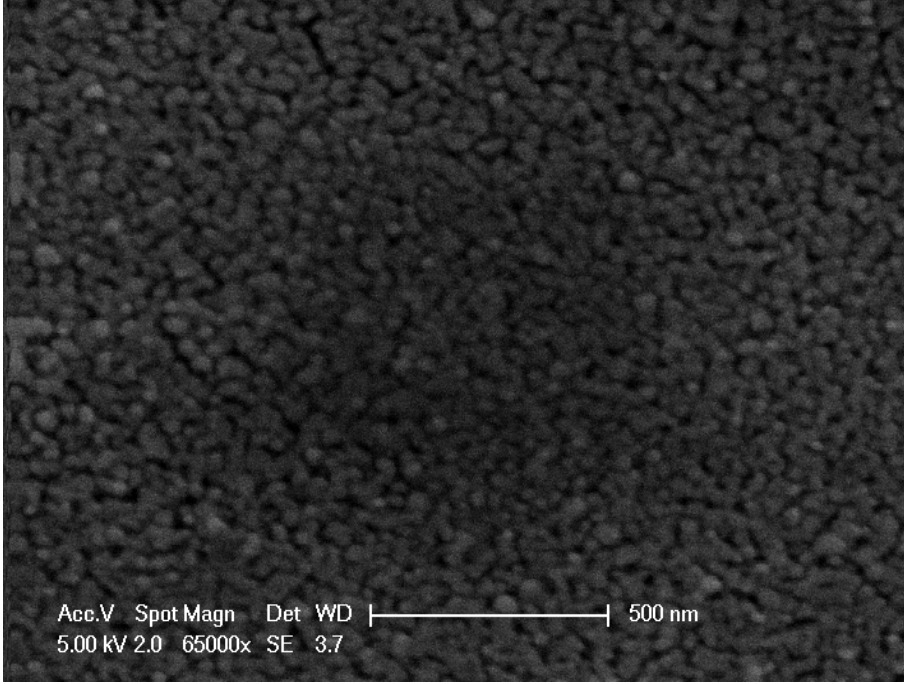
**Şekil 6.2 :** Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O konsantrasyonundaki ince filmin yüzey morfolojisi.

Şekil 6.3'te cam yüzey üzerinde oluşturulan Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O konsantrasyonundaki ince filmin çarpraz yüzey görüntüsü görülmektedir. Cam yüzey üzerinde ince filmin tutunduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 6.3 :** Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O konsantrasyonundaki ince filmin çarpraz yüzey görüntüsü.

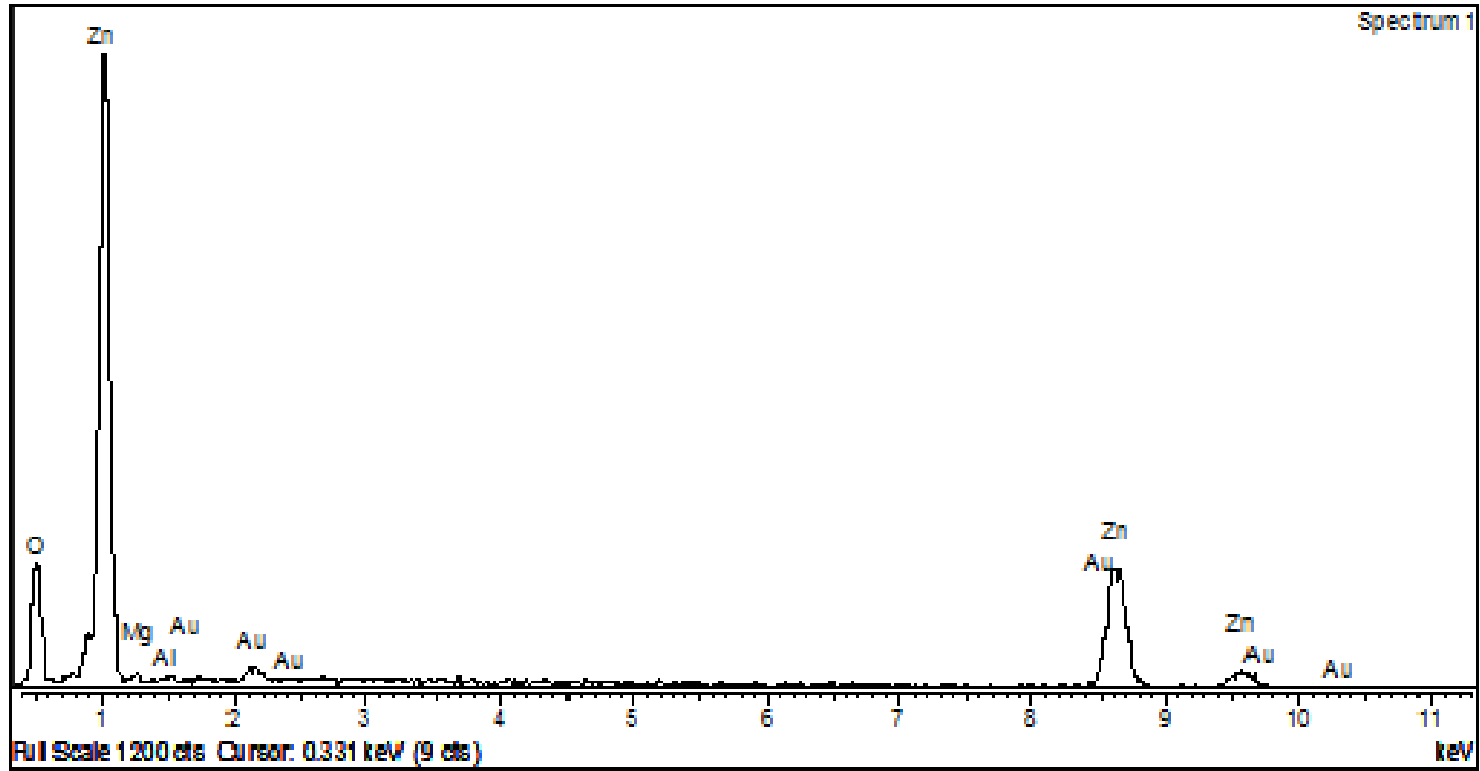
Şekil 6.4 'de  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  konsantrasyonundaki ince filmin yüzey morfolojisi görülmektedir. Film yüzeyi homojen bir yapıya sahiptir. Ortalama parçacık büyüklüğü 37 nm olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 6.4 :**  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  konsantrasyonundaki ince filmin yüzey morfolojisi.

Şekil 6.5'te  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmin EDS spektrumu görülmektedir. Spektrumda ZnO yapısında bilinçli katkılanan safsızlıklar dışında kontrolsüz safsızlık tespit edilmemiştir.





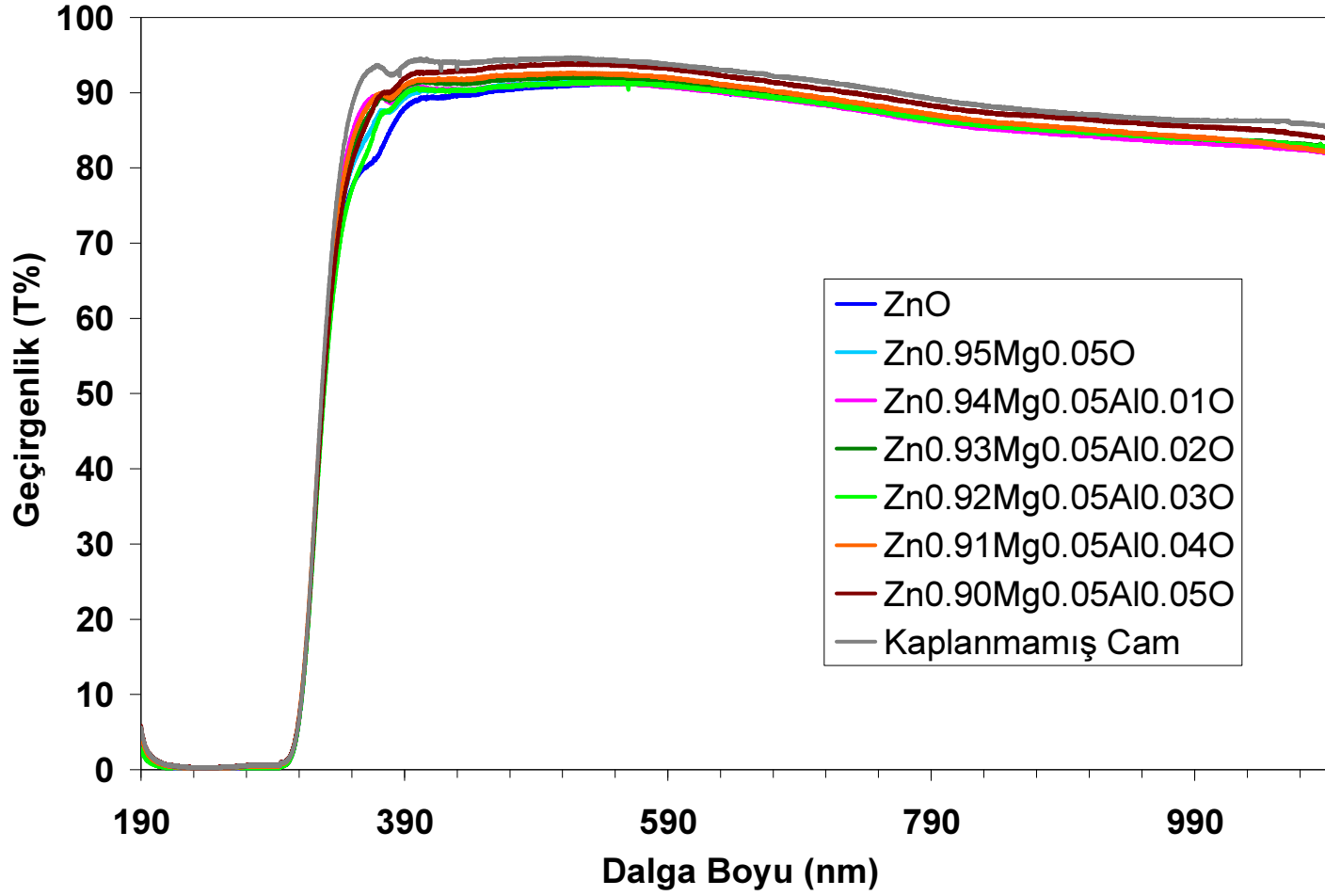
Şekil 6.5 :  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmin EDS spektrumu.

## 6.2 İnce Filmlerin Optik Ölçümlerinin Sonuçları

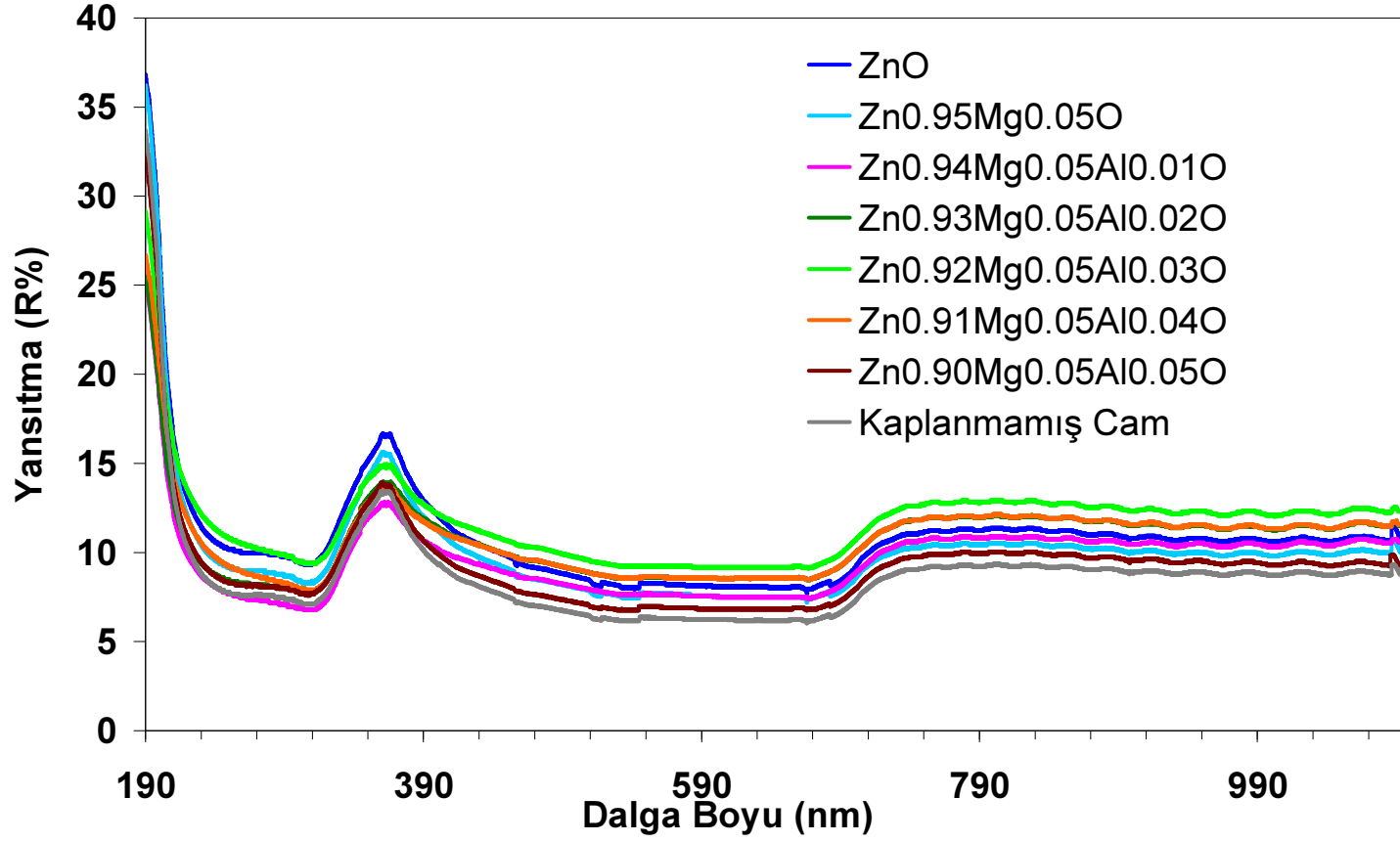
Katkısız ZnO,  $Zn_{0.95}Mg_{0.05}O$ ,  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere yedi farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin ve altlık olarak kullanılan, ince film kaplanmamış camın optik geçirgenliğinin konsantrasyondaki artışa bağlı olarak değişimi Şekil 6.6'da arz edilmektedir. Cam üzerinde üretilen film örneklerinde soğurma eşiğinin 300 nm'nin ötesinde olduğu tespit edilmiştir. Görünür bölgede ZnO filmin Mg katkılanması ile film geçirgenliğinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. ZnO yapının Mg ve Al ile katkılanması sonucu geçirgenliğin daha da arttığı tespit edilmiştir.

Katkısız ZnO,  $Zn_{0.95}Mg_{0.05}O$ ,  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere yedi farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin ve alttaş olarak kullanılan kaplanmamış camın optik yansıtıcılığı, konsantrasyondaki artışa bağlı olarak Şekil 6.7'de arz edilmektedir. ZnO yapının Mg ve Al ile katkılanması sonucu yansıtıcılığın bir miktar azaldığı görülmektedir.

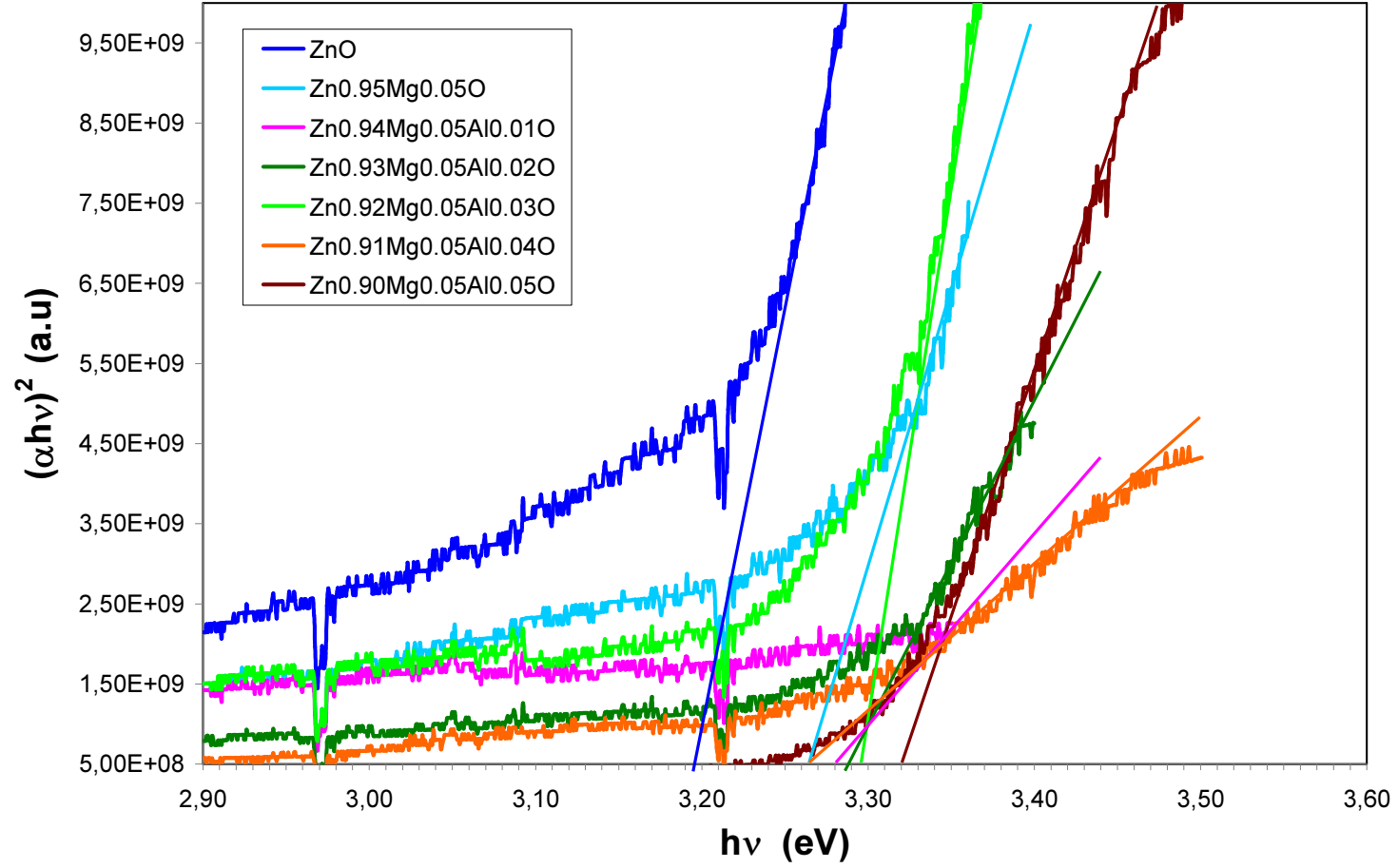
Katkısız ZnO,  $Zn_{0.95}Mg_{0.05}O$ ,  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere yedi farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin optik bant aralığı, konsantrasyondaki artışa bağlı olarak Şekil 6.8'de arz edilmektedir. ZnO filmin optik bant aralığı 3.2 eV civarındadır. Ancak filmin Mg ve Al ile katkılanması sonucu optik bant aralığının bir miktar arttığı tespit edilmiştir. ZnO yapının %0.05 mol Mg ile katkılanması sonucu optik bant aralığının 3.27 eV'e kaydığı görülmektedir. ZnO yapının Al ve Mg ile katkılanması sonucu optik bant aralığının bir miktar daha genişleyerek  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  konsantrasyonunda 3.28 eV'dan,  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  konsantrasyonunda 3.33 eV'a ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.6 : İnce film kaplanmamış cam altlığıın, katkısız ZnO'nun ve Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O ince filmkaplanmış camların geçirgenlik grafiği.



Şekil 6.7 : İnce film kaplanmamış cam altlığın, katkısız ZnO'nun ve Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O ince film kaplanmamış camların yansıtıcılık grafiği.

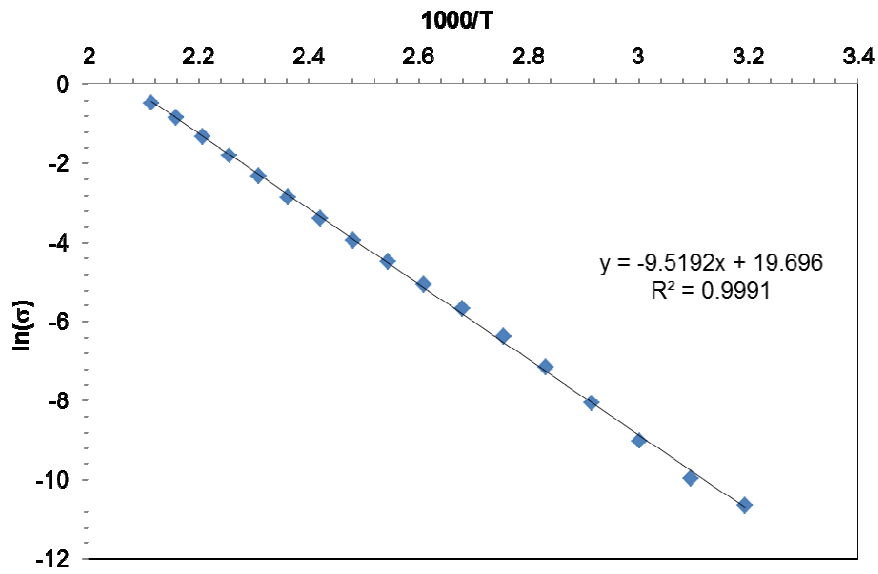


Şekil 6.8 : ZnO ve Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>x</sub>O ince filmlerin bant aralığı grafiği.

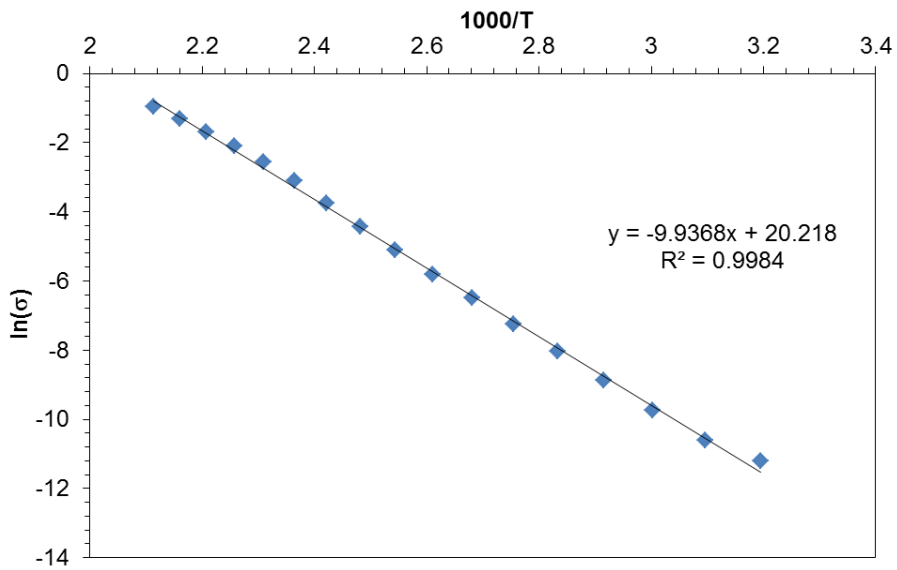
### 6.3 İnce Filmlerin Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Ölçümlerinin Sonuçları

$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere beş farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin sıcaklığa bağlı iletkenliklerin değişiminin ölçütünü veren Arrhenius grafikleri çizilmiştir. Arrhenius grafiğinin eğimi aktivasyon enerjisinin bir ölçütüdür.

Arrhenius grafiğinin eğimi birim dönüşümlerinin sağlanması için  $-0.08625$  ile çarpıldığında, aktivasyon enerjisi elde edilmiş olur. Şekil 6.9'da  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  ince filmin Arrhenius grafiği ve Şekil 6.10'da  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmin Arrhenius grafiği arz edilmektedir.



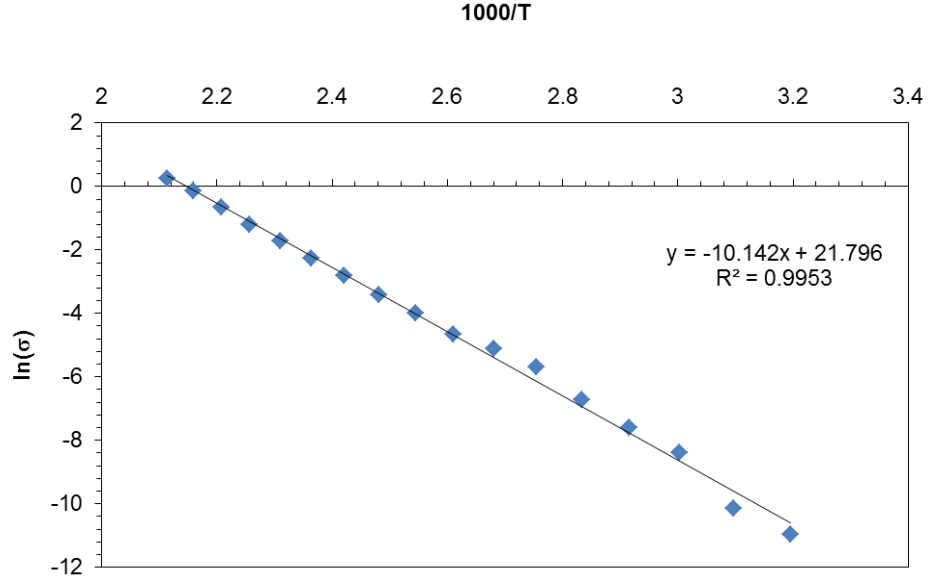
Şekil 6.9 :  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği.



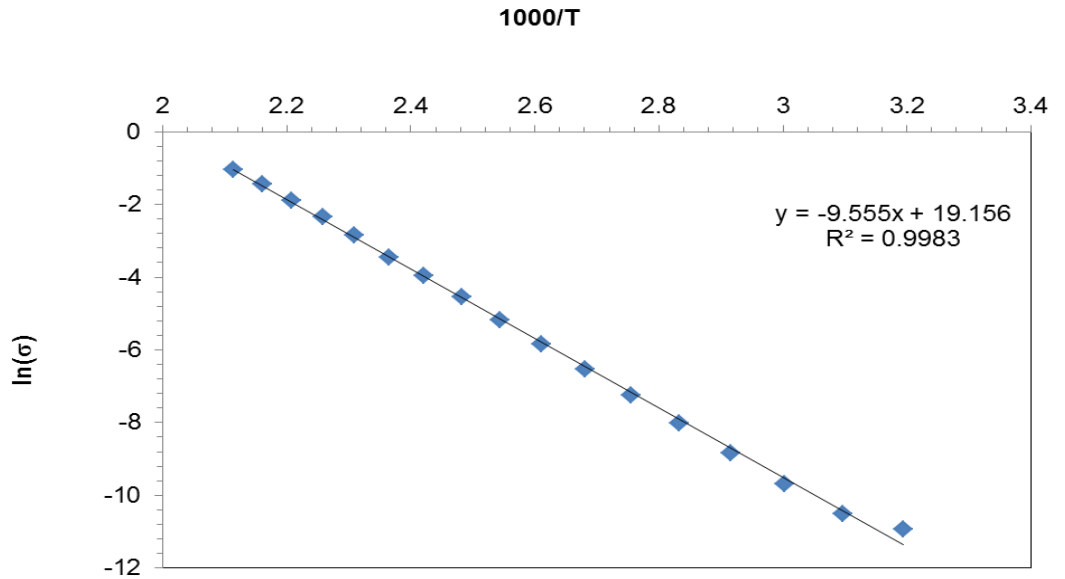
Şekil 6.10 :  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği.

Şekil 6.11'de  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  ince filmin Arrhenius grafiği, Şekil 6.12'de  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ince filmin Arrhenius grafiği, Şekil 6.13'de  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  ince filmin Arrhenius grafiği verilmiştir.

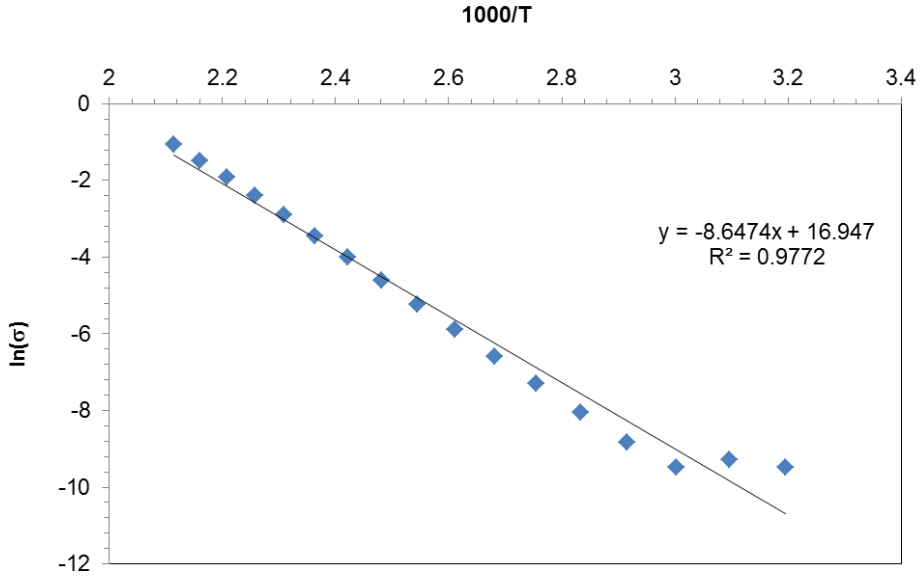
Çizilen Arrhenius grafiklerinin eğimlerinden elde edilen aktivasyon enerjileri Çizelge 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.11 :  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği.



Şekil 6.12 :  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği.



**Şekil 6.13 :** Zn<sub>0.90</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.05</sub>O molar konsantrasyondaki ince filmin Arrhenius grafiği.

**Çizelge 6.3:** İnce filmlerin aktivasyon enerjileri.

İnce Film	Aktivasyon Enerjisi (eV)
Zn <sub>0.94</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>0.01</sub> O	0.82
Zn <sub>0.93</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>0.02</sub> O	0.87
Zn <sub>0.92</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>0.03</sub> O	0.83
Zn <sub>0.91</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>0.04</sub> O	0.85
Zn <sub>0.90</sub> Mg <sub>0.05</sub> Al <sub>0.05</sub> O	0.83

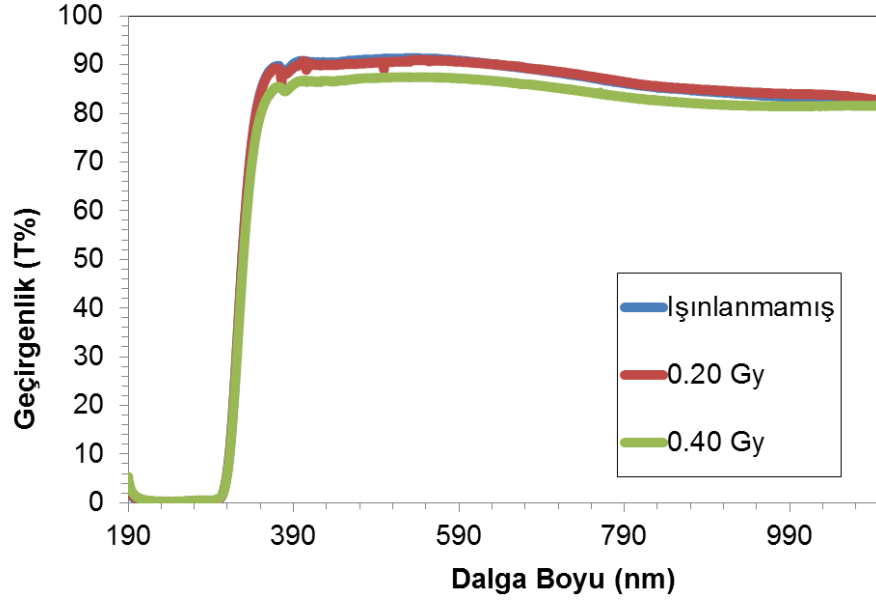
#### 6.4 İnce Filmlerin Işınlaması ve Işınlama Sonrası Optik Özelliklerin Belirlenmesi

Gama ışınlarına maruz kalan ince filmlerin optik geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri spektrofotometre kullanılarak incelenmiştir. 190 – 1100 nm dalga boyu aralığında ölçümler yapılmış olup, ölçümlerde 0.1 nm adım ayarı yapılmıştır.

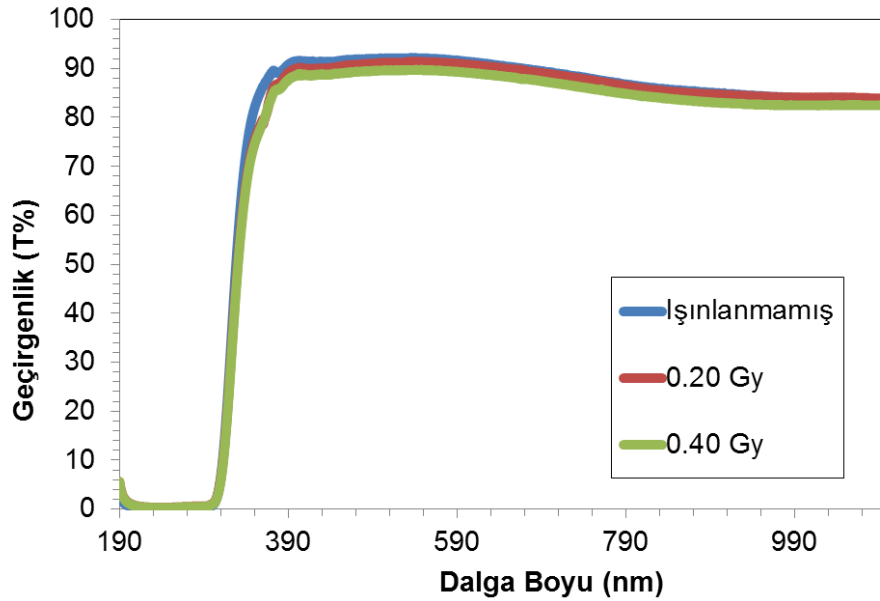
##### 6.4.1 İnce filmlerin ışınlama sonrası optik geçirgenliğinin belirlenmesi

Zn<sub>0.94</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.01</sub>O, Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O, Zn<sub>0.92</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.03</sub>O, Zn<sub>0.91</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.04</sub>O ve Zn<sub>0.90</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.05</sub>O olmak üzere beş farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin 0.2 Gy ve 0.4 Gy olmak üzere iki farklı dozda ışınlama sonrası oluşan optik geçirgenliklerinin ölçümlerini belirten grafikler çizilmiştir. Şekil 6.14'te Zn<sub>0.94</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.01</sub>O ince filmin iki farklı dozda ışınlama sonrası elde edilen geçirgenlik grafiği ve Şekil 6.15'te Zn<sub>0.93</sub>Mg<sub>0.05</sub>Al<sub>0.02</sub>O ince filmin ışınlama işlemleri sonrasında, iki farklı dozda elde edilen geçirgenlik grafiği verilmektedir.



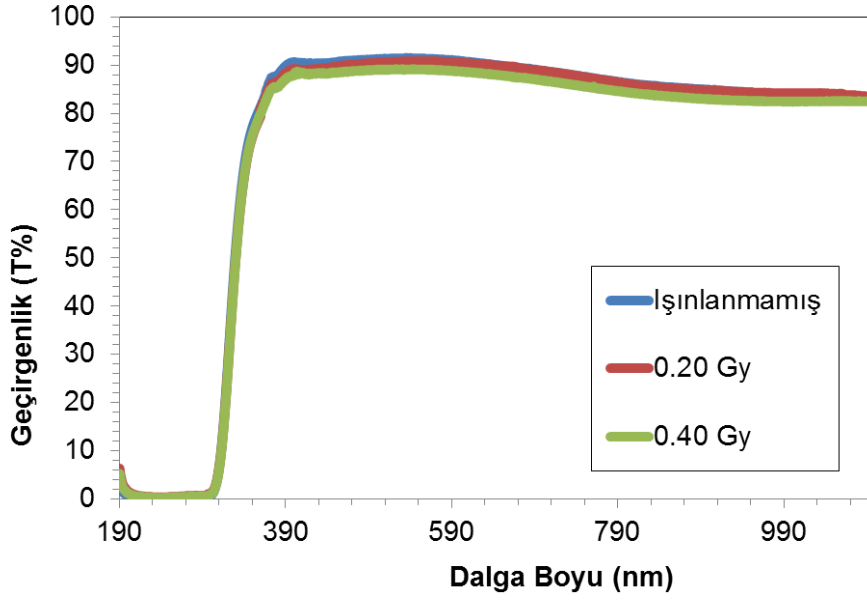


**Şekil 6.14 :** Işınlanmamış  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.

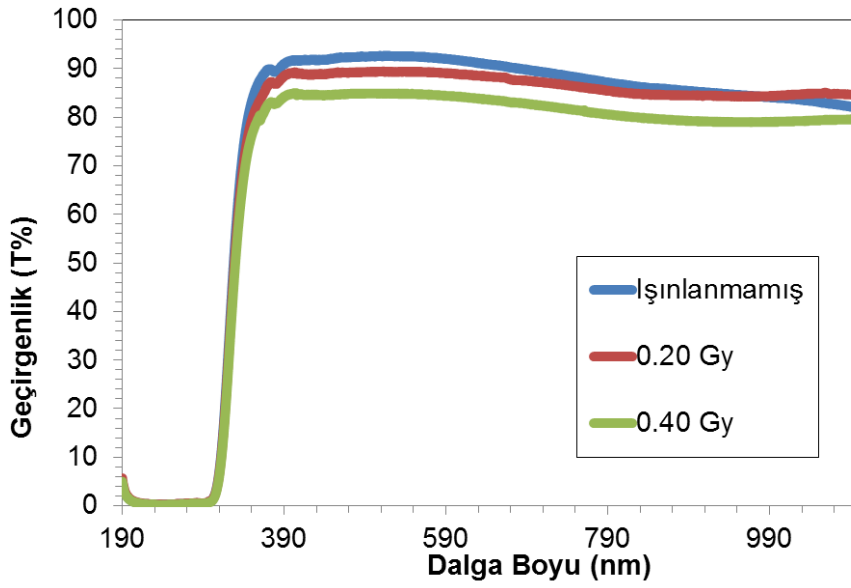


**Şekil 6.15 :** Işınlanmamış  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.

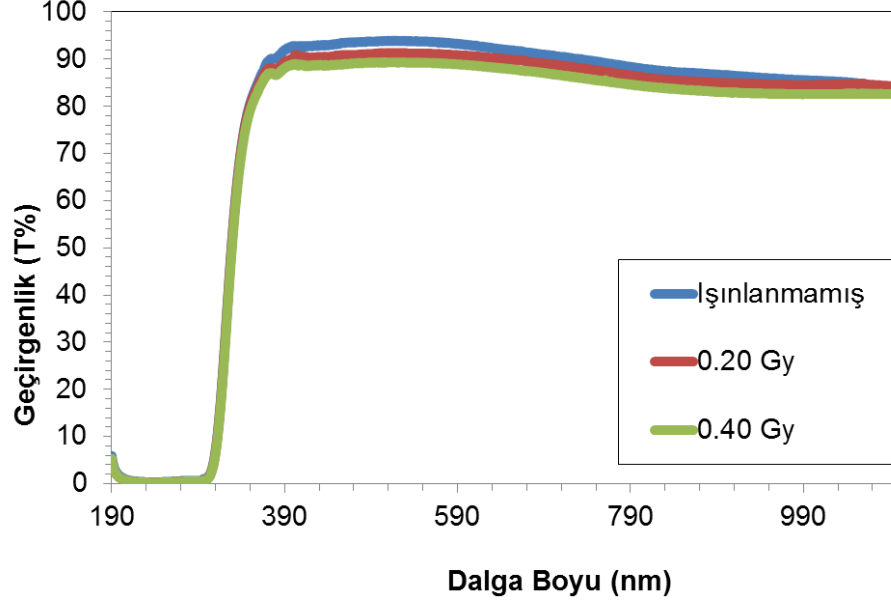
Şekil 6.16'da  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  ince filmin ince filmin iki farklı dozda ışınlama sonrası elde edilen geçirgenlik grafiği, Şekil 6.17'de  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ince filmin ışınlama işlemleri sonrasında, iki farklı dozda ışınlama sonrası elde edilen geçirgenlik grafiği, Şekil 6.18'de  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  ince filmin iki farklı dozda ışınlama sonrası elde edilen geçirgenlik grafiği verilmiştir. Soğurulan doza bağlı olarak ışımaya maruz kalmış ince film optik geçirgenliğinde azalma olduğu gözlenmiştir. Optik soğurma eşiğinin 300 nm'nin ötesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.16 : Işınlanmamış  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.



Şekil 6.17 : Işınlanmamış  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.

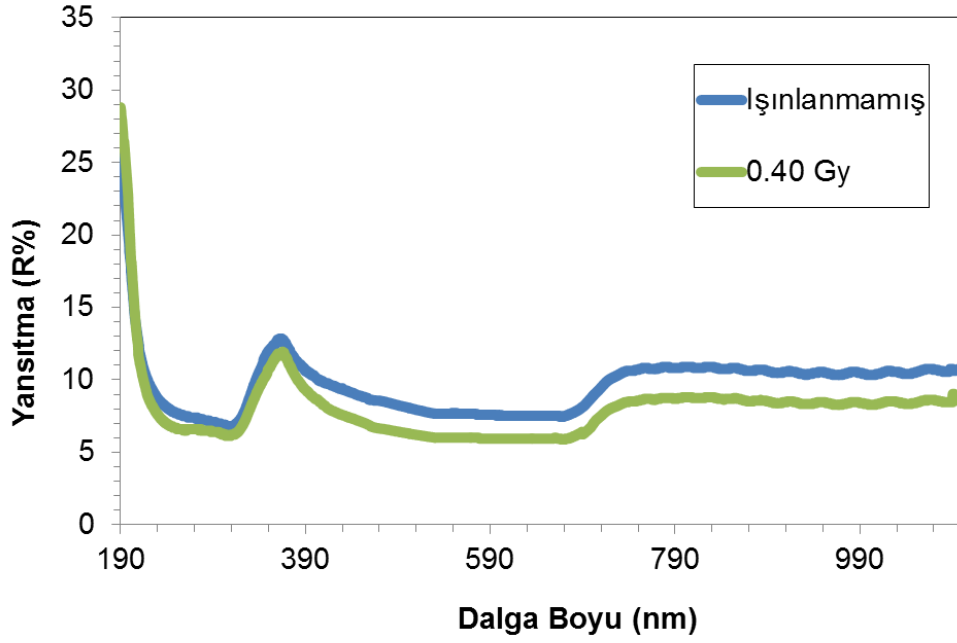


**Şekil 6.18** : Işınlanmamış  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin birinci ve ikinci ışınlamadan sonra optik geçirgenliği.

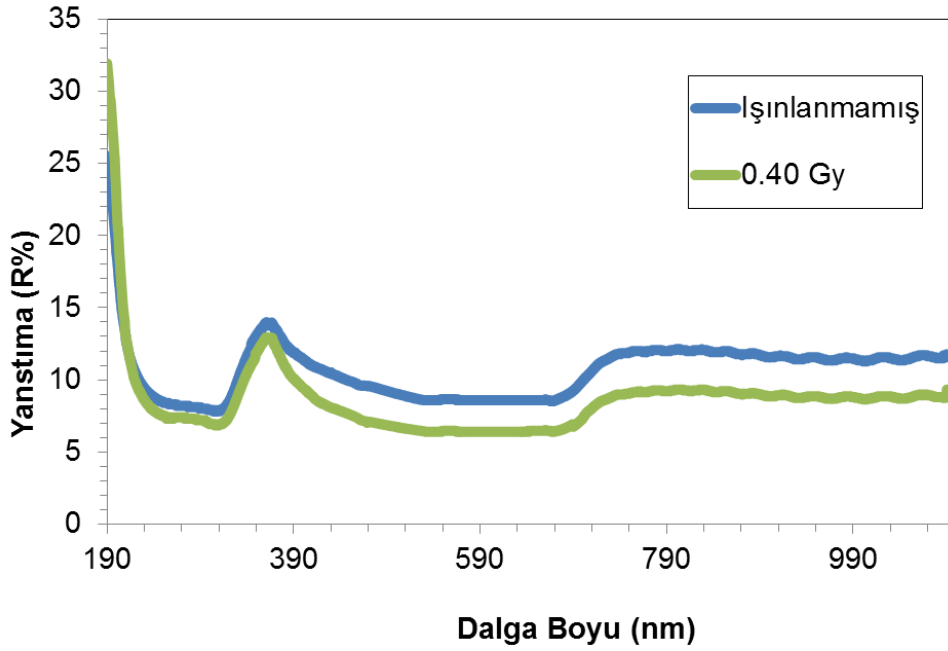
#### 6.4.2 İnce filmlerin ışınlama sonrası optik yansıtıcılığının belirlenmesi

$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere beş farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin ışınlama sonrası oluşan optik yansıtıcılıklarının ölçümlerini belirten grafikler çizilmiştir.

Şekil 6.19'da  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  ince filmin ışınlama öncesi ve 0.4 Gy'de ışınlama sonrası elde edilen geçirgenlik grafiği ve Şekil 6.20'de  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmin ışınlama öncesi ve 0.4 Gy ışınlama sonrası elde edilen yansıtıcılık grafiği verilmektedir.



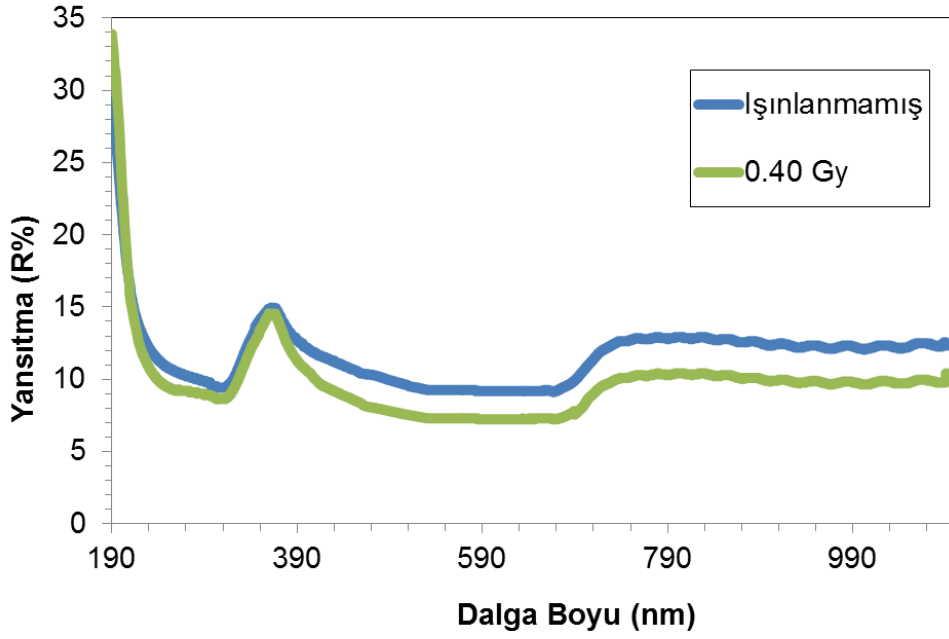
**Şekil 6.19 :** Işınlanmamış  $Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin 0.40 Gy doz absorbladıktan sonra optik yansıtıcılığı.



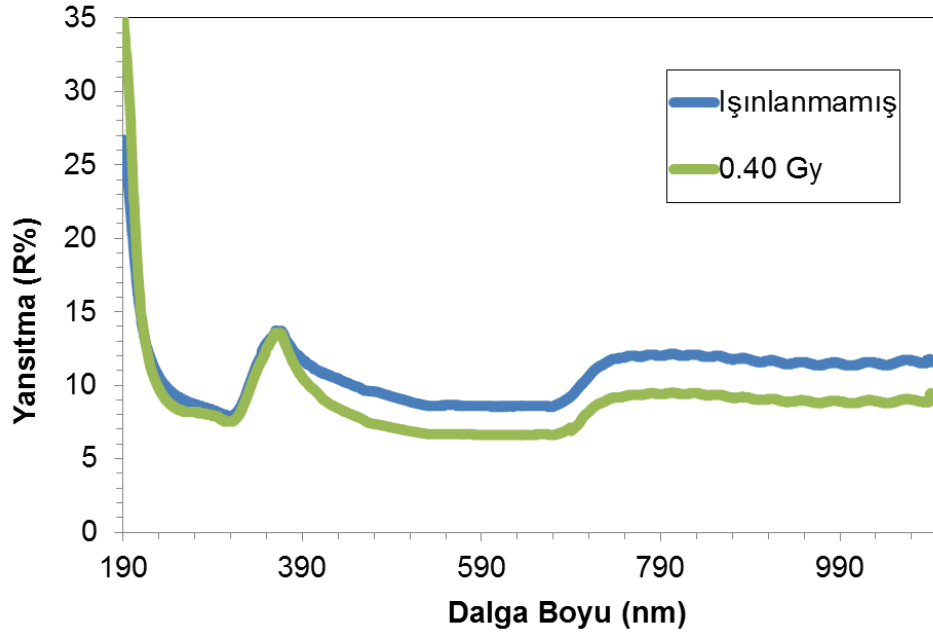
**Şekil 6.20 :** Işınlanmamış  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin 0.40 Gy doz absorbladıktan sonra optik yansıtıcılığı.

Şekil 6.21'de  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  ince filmin ince filmin ışınlama öncesi ve 0.4 Gy ışınlama sonrası sonrası elde edilen yansıtıcılık grafiği, Şekil 6.22'de  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ince filmin ince filmin ışınlama öncesi ve 0.4 Gy ışınlama sonrası sonrası elde edilen yansıtıcılık grafiği, Şekil 6.23'te  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  ince filmin ince filmin ışınlama öncesi ve 0.4 Gy ışınlama sonrası sonrası elde edilen yansıtıcılık grafiği verilmiştir. 0.4 Gy'lik uygulanan dozun filmin yansıtıcılık özelliğini

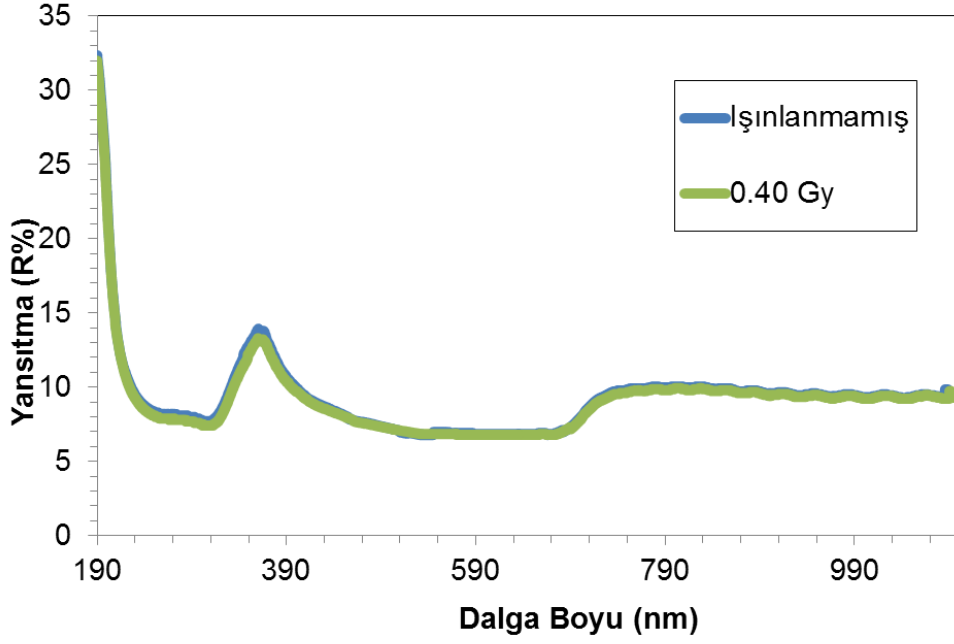
etkilediği tespit edilmiştir. Soğurulan doza bağlı olarak gama ışınlarına maruz kalmış ince film optik yansıtıcılıklarında azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.21 : Işınlanmamış  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin 0.40 Gy doz absorbladıktan sonra optik yansıtıcılığı.



Şekil 6.22: Işınlanmamış  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin 0.40 Gy doz absorbladıktan sonra optik yansıtıcılığı.

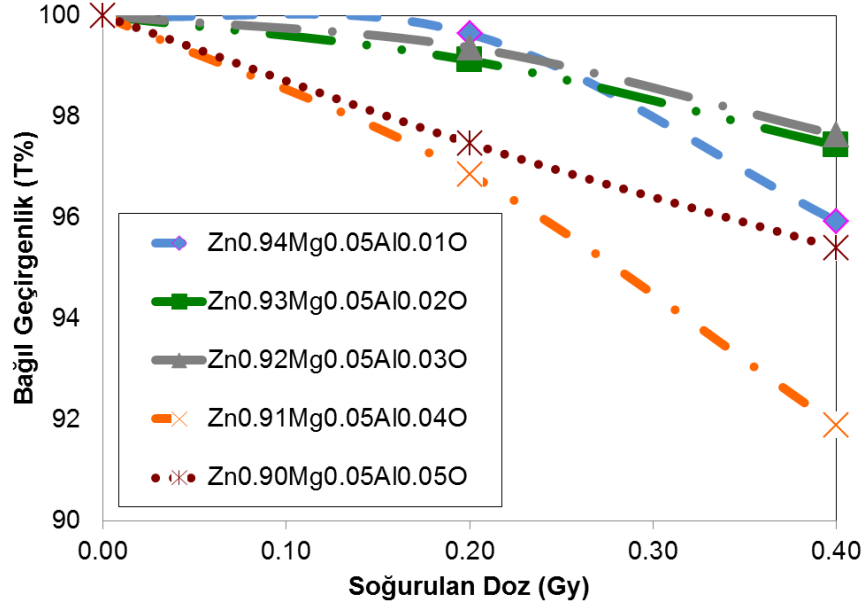


**Şekil 6.23:** Işınlanmamış  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin ve aynı filmin 0.40 Gy doz absorbladıktan sonra optik yansıtıcılığı.

#### 6.4.3 Deney sonuçlarının karşılaştırmalı incelenmesi

##### 6.4.3.1 Işınlama işleminden sonra optik geçirgenlikte oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak değerlendirilmesi

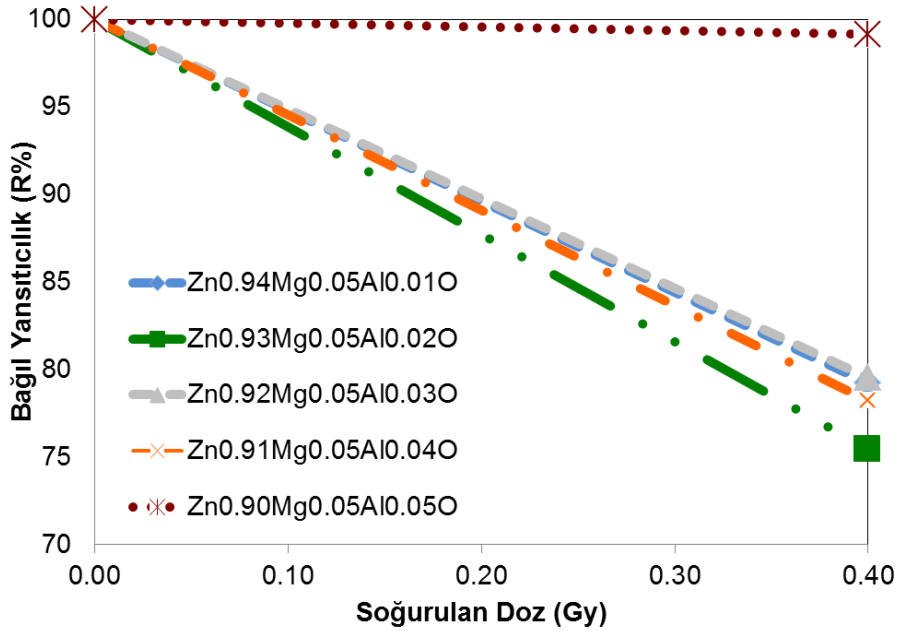
$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere beş farklı konsantrasyonda oluşturulan ince filmlerin soğurulan doza bağlı olarak bağıl geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.24'te arz edilmektedir. Böylece, ışınlama işleminden sonra optik geçirgenlikte oluşan değişimler, ışınlanmamış örneğe göre ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 6.24 :** Üretilen ince filmlerin ışınlama işleminden sonra, ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler.

#### 6.4.3.2 Işınlama işleminden sonra optik yansıtıcılıkta oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak değerlendirilmesi

$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere beş farklı konsantrasyonda oluşturulan ince filmlerin soğurulan doza bağlı olarak bağıl yansıtıcılığında oluşan değişimler, Şekil 6.25'te arz edilmektedir. Böylece, ışınlama işleminden sonra optik yansıtıcılıkta oluşan değişimler, ışınlanmamış örneğe göre ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.



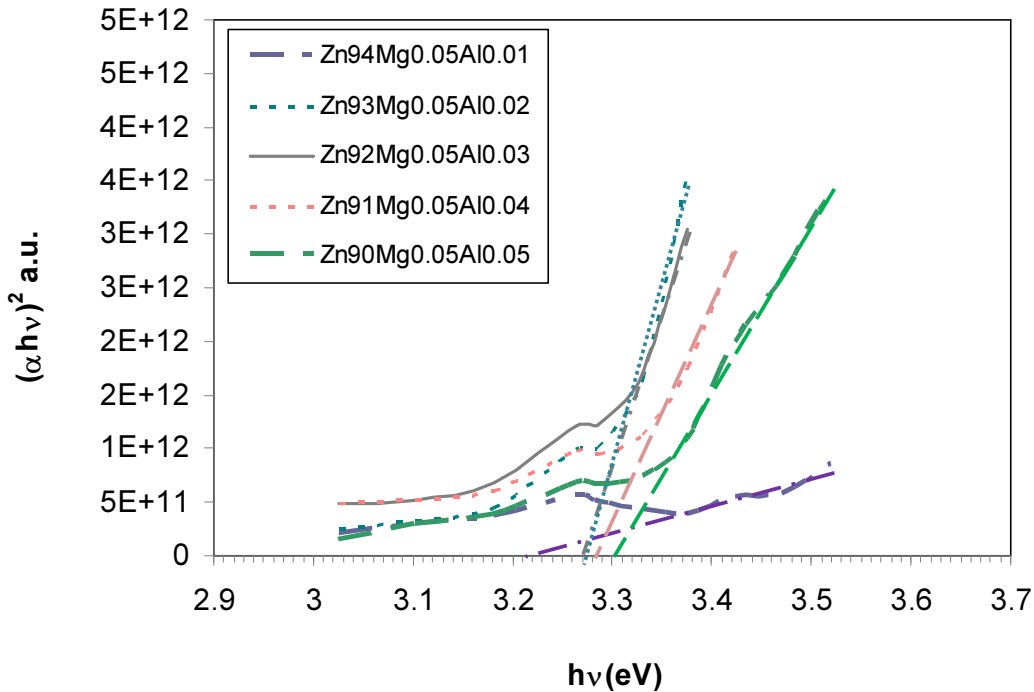
**Şekil 6.25:** Üretilen ince filmlerin ışınlama işleminden sonra, ışınlanmamış örneğe göre bağıl olarak optik yansıtıcılığında oluşan değişimler.

%1-4 Al katkı oranları göz önüne alındığında, incelenen ince filmlerin yansıtıcılık özelliğini ışınlanmamış hallerine göre önemli miktarda (~%20-25 oranında) kaybettiği tespit edilmiştir.

Mg-Al oksit alaşımının, magnezyum oksit ve alüminyum oksitten daha fazla radyasyon direncine sahip olduğu arz edilmektedir (Zeller, 2005). Gama ışınlarına maruz bırakılan  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  molar konsantrasyondaki ince filmin, ışınlama işleminden sonra optik yansıtıcılığında oluşan bağıl değişimleri incelendiğinde ışınlama işleminden sonra bu filmin yansıtıcılığında kaydadeğer bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Mg 0.05 molar ve Al'nin 0.05 molar olacak şekilde eşit olarak katkılандığında, yansıtıcılıkta kaydadeğer bir değişim olmayıp, yansıtıcılık özelliğinde radyasyona karşı direç söz konusudur.

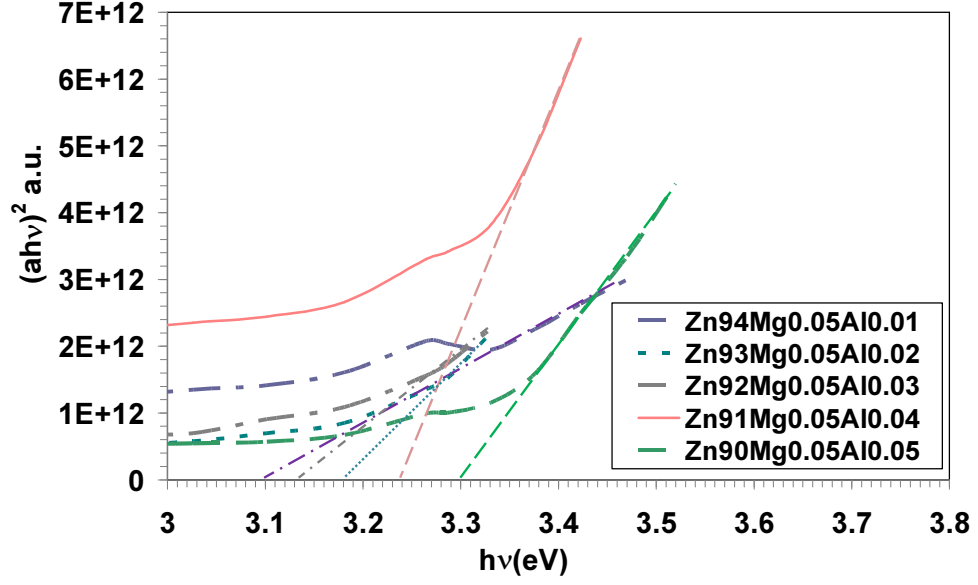
#### 6.4.3.3 Işınlama işleminden sonra optik bant aralığında oluşan değişimlerin ışınlanmamış örneklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

0.2 Gy ve 0.4 Gy doz soğuran  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin, gama ışını soğurmaları sonrası oluşan bant aralıklarını veren grafikler sırasıyla Şekil 6.26'da ve Şekil 6.27'de verilmiştir. Grafiklerden soğurma sonucunda  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin bant aralıklarının daraldığı görülmüştür.



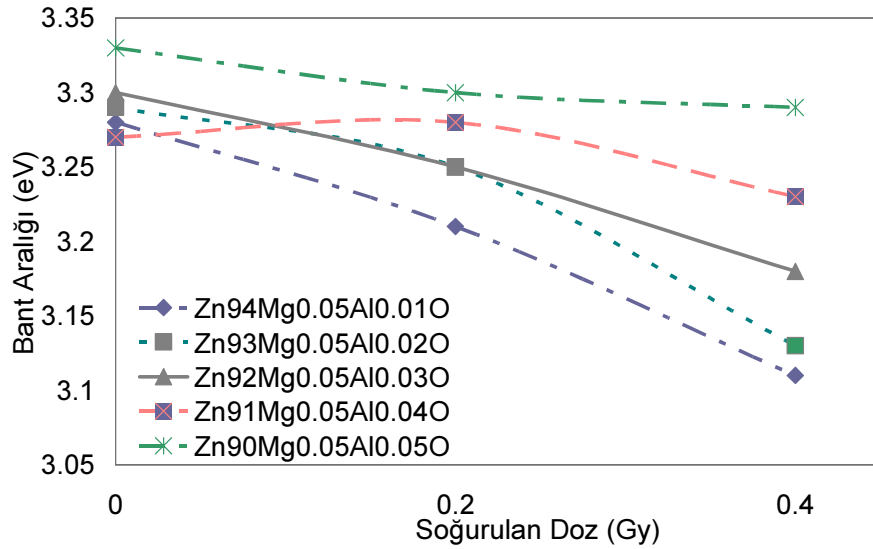
Şekil 6.26: 0.2 Gy Doz absorblayan  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin optik bant aralıkları.





**Şekil 6.27:** 0.4 Gy Doz absorblayan  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerin optik bant aralıkları.

Gama ışınımına maruz kalmamış ve 0.2 Gy ve 0.4 Gy gama ışını soğurulan ince filmlerin bant aralıklarının değişimini gösteren grafik, Şekil 6.28'de verilmiştir. Grafikten artan soğurma miktarıyla bant aralığındaki düşüş açıkça gözükmemektedir.



**Şekil: 6.28 :** Artan soğurulan doz miktarıyla bant aralığının değişimi.



## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Teknolojik uygulamalarda (geçirgen iletken elektrot, görüntüleme cihazları, ışık yayan diyotlar (LED), gaz sensörleri, güneş pilleri, lazer sistemleri uzay araştırmalarında ve radyasyona karşı yüksek direç gösterebilen yeni malzeme arayışı dikkatleri ZnO üzerinde odaklanmış durumdadır.

Bu nedenle bir çok araştırmacı farklı fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak ZnO peryodik tablodaki II-IV ve III-V grub elementleriyle katkılayarak film ve yığın malzeme üretimi üzerine çalışmaktadır. Bu malzemelerin elektriksel, manyetik ve optik özellikleri kullanılan yöntemlere göre büyük değişiklikler göstermektedir. Kullanılan yöntemler içerisinde, bu tezde kullanılan sol – jel yöntemi düşük maliyeti, üretilen filmlerin uzun ömrü ve düşük süreç sıcaklığıyla en çok ümit vaadeden yöntemlerden biridir. Bu yöntemle ayrıca amaçlanan oksit bileşiği yüksek homojenlikte ve bir çok değişik parametreyle istenilen alttaş üzerine uygulanabilir. Ayrıca amaçlanan malzemenin üretimini de oldukça kolaylaştırır.

Literatürde Mg-Al oksit alaşımının, magnezyum oksit ve alüminyum oksitten daha fazla radyasyon direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, yapılan bu tez çalışmasında, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 ve 0.05 olmak üzere beş farklı Al molar konsantrasyonunda üretilen  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin optik özelliklerinde oluşan değişimler incelendikten sonra, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak, 0.2 Gy ve 0.4 Gy olmak üzere iki farklı dozda gama ışınlarına maruz bırakılmıştır.  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerde soğurulan dozun artışına bağlı olarak, optik özelliklerde oluşan değişimler mukayeseli olarak incelenmiştir.

İlk defa üçlü yapıda şeffaf ve iletken  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince film sol-jel daldırmalı kaplama yöntemi ile geliştirilmiştir. Geliştirilen ince filmin XRD sonuçları incelendiğinde tek kristal faza sahip Wurtzite kristal yapısı gözlenmiştir. Literatürdeki farklı elektriksel, manyetik, optiksel ve radyasyon sonuçları elde edilmesinin sebeplerin başında farklı yöntemlerle elde edilen toz ve ince filmlerin gerçekte tek faz elde edilememesinden kaynaklanmaktadır. Kaliteli film üretiminin ilk adımı tek fazlı yapı oluşturmaktır.

$Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmlerdeki Al artışı ile, kristalit büyüklüğünün yaklaşık 25 nm'den 20 nm seviyelerine düştüğü belirlenmiştir.  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  yapıların, (002) düzlemi

doğrultusundaki difraksiyon pikleri incelendiğinde piklerin şiddeti Al konsantrasyonundaki artışla azaldığı ve FWHM değerlerinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir.

Uygulanan ısı işlem , çözücü ve kilasyon malzeme oranları ile  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmin homojen, düz çatlaksız gözeneksiz 180 nm kalınlıkta üretilebileceği bulunmuştur. Üretilen farklı konsantrasyonlarda ( $x=0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05$  ve  $0.1$ )  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerin d.c elektrik alanları altında 20 dip 180 nm kalınlıkta sıcaklığa bağlı olarak havada incelenmiştir.

İnce filmlerin doğru akım iletkenlik ölçümlerinde tüm filmler ohmik davranış gösterdiği tespit edilmiştir. En iyi iletkenlik oda sıcaklığında  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  katkı oranında bulunmuştur. İletkenlik ölçümleri vakum ortamında tekrarlanabilir ve ilave olarak alternatif elektrik alan altındaki davranışları incelenebilir.

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan ince filmlerin sıcaklığa bağlı ölçümlerin iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimi eşitlik 4.13'te verildiği gibidir. Bu eşitlikten hesaplanan aktivasyon enerjisinin konsantrasyona göre değişim çizelge 6.3'te verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında aktivasyon enerjisi konsantrasyona göre değişmektedir. En yüksek aktivasyon enerjisi 0.87 eV olarak  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$  ince filmlerde tespit edilmiştir. Sadece aktivasyon enerjisi ölçümlerine bakarak ( $x=0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05$ )  $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ince filmlerde yük iletim mekanizmasının tam olarak anlamak mümkün değildir. Kalınlığa bağlı olarak aktivasyon enerjisi incelenmelidir. Aktivasyon enerji değerleri sıcaklığa bağlı ölçümlerden hesaplandığından, ince filmin ısıtılması esnasında filmin kristal yapısında bir değişim ve bu değişim sebebiyle farklı konsantrasyonlarda farklı aktivasyon enerji değerleri elde edilmesi olasıdır. Bu sebeple artan sıcaklıkla XRD ölçümleri alınarak, filmin faz yapısının sıcaklığa bağlılığı incelenmelidir.

Katkısız ZnO, Mg ve Al katkılı ZnO ince filmlerin ve altlık olarak kullanılan, ince film kaplanmamış camın optik geçirgenliğinin konsantrasyondaki artışa bağlı olarak değişimi incelenmiş ve soğurma eşiğinin 300 nm'nin ötesinde olduğu gözlenmiştir. ZnO yapının Mg ve Al ile katkılanması sonucu geçirgenliğin konsantrasyona bağlı olarak daha da arttığı görülmüştür.

$Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$  ( $x=0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$  ve  $0.05$ ) farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin optik bant aralığı Mg ve Al ile katkılanması sonucu 3.2 eV tan 3.33 eV'a arttığı tespit edilmiştir.

$Zn_{0.94}Mg_{0.05}Al_{0.01}O$ ,  $Zn_{0.93}Mg_{0.05}Al_{0.02}O$ ,  $Zn_{0.92}Mg_{0.05}Al_{0.03}O$ ,  $Zn_{0.91}Mg_{0.05}Al_{0.04}O$  ve  $Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}O$  olmak üzere beş farklı konsantrasyonda üretilen ince filmlerin

optik geçirgenliğinin konsantrasyona bağlı değiştiği tespit edilmiştir. Soğurulan dozdaki 0.2 Gy'den 0.4 Gy'e kadar olan artışa bağlı olarak, ince filmin geçirgenlik ve yansıtıcılığında, genel olarak azalma tespit edilmiştir. Üretilen filmlerin 0,4 Gy'lik doz soğurması durumunda, optik geçirgenlikleri ile hiç radyasyona maruz kalmamış filmlerin optik geçirgenlikleri arasındaki fark karşılaştırıldığında, yaklaşık % 3'lük bağıl geçirgenlikte azalma olmuştur.

0,4 Gy'lik soğurulan doza maruz kalmış ince filmlerin optik yansıtıcılıkları ile hiç radyasyona maruz kalmamış filmlerin optik yansıtıcılıklarının arasındaki fark karşılaştırıldığında yaklaşık % 20 - 25'lik bir bağıl azalma olduğu tespit edilmiştir.

$Zn_{0.90}Mg_{0.05}Al_{0.05}$  molar konsantrasyondaki üretilen ince filmler de, 0.05 molar konsantrasyonda Mg ve 0.05 molar konsantrasyondaki Al katkı oranında, eşit oranlarda katkılандığında, ışınlama işleminden sonra, yansıtıcıta önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.

Aktivasyon enerjisindeki artış,  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmde iletkenliğin değişiminin ölçütünü arz etmekte olup, aktivasyon enerjisinin genel artış eğilimi, ince filmlerde iletkenliğin bir miktar azaldığını işaret etmektedir. Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak aktivasyon enerjisi artarken, optik bant aralığı da genelde artma eğilimindedir. Bu artışlar, elektronların iletkenlik bandına çıkışının bir miktar zorlaştığı sonucunu desteklemektedir.

İncelenen filmlerin optik bant aralıkları göz önüne alındığında, Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak genelde optik bant aralığının 3.18 eV'den 3.33 eV'e çıktığı tespit edilmiştir. 0.2 Gy'lik doza maruz kalan filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak optik bant aralığının 3.21 eV ile 3.31 eV arasında değiştiği, 0.4 Gy'lik doza maruz kalan filmlerin optik özelliklerinin de Al konsantrasyonuna bağlı olarak 3.11 eV ile 3.29 eV arasında değiştiği tespit edilmiştir. Soğurulan doz ile optik bant aralığının azaldığı görülmektedir. Söz konusu optik banttaki bu azalma, ışınlama işlemi sonrasında,  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  filmde elektronların iletkenlik bandına daha kolay bir şekilde çıkabildiğini işaret etmektedir.



## KAYNAKLAR

- Almamun Ashrafi A. B. M., Ueta Akio, Avramescu Adrian, Kumano Hidekazu, Suemune Ikuo, Ok Young-Woo, Seong Tae-Yeon**, 2000, Growth and characterization of hypothetical zinc-blende ZnO films on GaAs(001) substrates with ZnS buffer layers, *Applied Physics Letters*, **76**, 550 – 552.
- Assunção V., Fortunato E., Marques A., Águas H., Ferreira I., Costa M.E.V., Martins R.**, 2003, Influence of the deposition pressure on the properties of transparent and conductive ZnO:Ga thin-film produced by r.f. sputtering at room temperature, *Thin Solid Films*, **427**, 401 – 405.
- Ataev B.M., Bagamadova A.M., Djabrailov A.M., Mamedov V.V., Rabadanov R.A.**, 1995, Highly conductive and transparent Ga-doped epitaxial ZnO films on sapphire by CVD, *Thin Solid Films*, **260**, 19 – 20.
- Baydogan N., Özdemir Ö., Çimenoglu H.**, 2013, The improvement in the electrical properties of nanospherical ZnO:Al thin film exposed to irradiation using a Co-60 radioisotope, *Radiation Physics and Chemistry*, Article in press
- Bibby D.M., Dale M.P.**, 1985, Synthesis of silica-sodalite from non-aqueous systems, *Nature*, **317**, 157 – 158.
- BİLGİN Yusuf**, 2008, Sol-Gel Yöntemiyle Üretilen Nanokristal ZnO:Ga İnce Filmlerinin Optik Ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, *GYTE Yüksek Lisans Tezi*.
- Brinker C. J., Frye G.C., Hurd A. J., Ashley C. S.**, 1991, *Thin Films*, **201**, 97 – 108.
- Chadi D. J.**, 1994, Doping in ZnSe, ZnTe, MgSe, and MgTe wide-band-gap semiconductors, *Physical Review Letters*, **72**, 534 – 537.
- Choopun S., Vispute R. D., Yang W., Sharma R. P., Venkatesan T., Shen H.**, 2002, Realization of band gap above 5.0 eV in metastable cubic-phase  $Mg_xZn_{1-x}O$  alloy films, *Applied Physics Letters*, **80**, 1529 – 1531.
- de Mello Donega C., Liljeroth P., Vanmaekelbergh D.**, 2005, Physicochemical evaluation of the hot-injection method, a synthesis route for monodisperse nanocrystals, *Small*, **1**, 1152 – 1162.
- García Alberto, Northrup John E.**, 1995, Compensation of p-Type Doping in ZnSe: The Role of Impurity-Native Defect Complexes, *Physical Review Letters*, **74**, 1131 – 1134.
- Gruber Th., Kirchner C., Kling R., Reuss F., Waag A., Bertram F., Forster D., Christen J., Schreck M.**, 2003, Optical and structural analysis of ZnCdO layers grown by metalorganic vapor-phase epitaxy, *Applied Physics Letters*, **83**, 3290 – 3292.

- Heiba Z. K., Arda L.**, 2009, Structural properties of Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O nanomaterials prepared by sol – gel method, *Crystal Research and Technology*, **44**, 845 – 850.
- Hench L.L., West J.K.**, 1990, The Sol-Gel Process, *Chemical Reviews*, **90**, 33 – 72.
- Inoue M., Kominami H., Inui T.**, 1993, Novel synthetic method for the catalytic use of thermally stable zirconia: Thermal decomposition of zirconium alkoxides in organic media, *Applied Catalysis A*, **97**, L25 – L30.
- Isobe T., Okamoto Y., Senna M.**, 1994, Mechanochemical Synthesis of ZrTiO<sub>4</sub> Precursor from Inhomogeneous Mixed Gels. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, **346**, 273 – 277.
- Kanai Yasuo**, 1991, Admittance Spectroscopy of Cu-Doped ZnO Crystals, *Japanese Journal of Applied Physics*, **30**, 703 – 707.
- Kanai Yasuo**, 1991, Admittance Spectroscopy of ZnO Crystals Containing Ag, *Japanese Journal of Applied Physics*, **30**, 2021 – 2022.
- Kato Hiroyuki, Sano Michihiro, Miyamoto Kazuhiro, Yao Takafumi**, 2002, Growth and characterization of Ga-doped ZnO layers on a-plane sapphire substrates grown by molecular beam epitaxy, *Journal of Crystal Growth*, **237–239**, 538-543.
- Kılınc N., Arda L., Öztürk S., Öztürk Z. Z.**, 2010, Structure and electrical properties of Mg-doped ZnO nanoparticles, *Crystal Research and Technology*, **45**, 529 – 538.
- Ko H. J., Chen Y. F., Hong S. K., Wenisch H., Yao T., Look D. C.**, 2000, Ga-doped ZnO films grown on GaN templates by plasma-assisted molecular-beam epitaxy, *Applied Physics Letters*, **77**, 3761 – 3763.
- Kucheyev S. O., Williams J. S., Jagadish C., Zou J., Evans Cheryl, Nelson A. J., Hamza A. V.**, 2003, Ion-beam-produced structural defects in ZnO, *Physical Review B*, **67**, 094115 – 094125.
- Laks D. B., Van de Walle C. G., Neumark G. F., Pantelides S. T.**, 1991, Role of native defects in wide-band-gap semiconductors, *Physical Review Letters*, **66**, 648 – 651.
- Laks David B., Van de Walle Chris G., Neumark G. F., Pantelides Sokrates T.**, 1993, Acceptor doping in ZnSe versus ZnTe, *Applied Physics Letters*, **63**, 1375 – 1377.
- Lashkarov G.V., Myroniuk D.V., Lazorenko V.Y., Karpyna V.A.**, Radiation resistance of zno films and nanostructures, Proceedings of the 8th Conference on Nuclear and Particle Physics, 20-24 Nov. 2011, Hurghada, Egypt
- Lind Cora, Gates Stacy D., Pedoussaut Nathalie M., Baiz Tamam I.**, 2010, Novel materials through non-hydrolytic sol-gel processing: negative thermal expansion oxides and beyond, *Materials*, **3**, 2567 – 2587.
- Liu Z.F., Shan F.K., Li Y.X., Shin B.C., Yu Y.S.**, 2003, Epitaxial growth and properties of Ga-doped ZnO films grown by pulsed laser deposition, *Journal of Crystal Growth*, **259**, 130 – 136.
- Look D. C.**, 2001a, Recent advances in ZnO materials and devices, *Materials Science and Engineering B80* (2001) 383–387.
- Look D. C.**, 2001b, Electrical characterization of vapor-phase-grown single-crystal ZnO, *Materials Science and Engineering B*, **80**, 381 – 383.



- Look D. C., Hemskey J. W., Sizelove J. R.**, 1999, Residual native shallow donor in ZnO, *Physical Review Letters*, **82**, 2552 – 2555.
- Look D. C., Reynolds D. C., Hemskey J. W., Jones R. L., Sizelove J. R.**, 1999, Production and annealing of electron irradiation damage in ZnO, *Applied Physics Letters*, **75**, 811 – 813.
- Mehrotra R.C., Singh A.**, 1997, Recent trends in metal alkoxide chemistry, *Progress in Inorganic Chemistry*, **46**, 239 – 454.
- Meng Chen, Zhiliang Pei, Wang Xi, Sun Cao, Wen Lishi**, 2001, Transparent Conductive Oxide Semiconductor ZnO:Al Films Produced by Magnetron Reactive Sputtering, *Materials Research Society Symposium Spring Meeting Proceedings*, **666**, F1.2.
- Minami Tadatsugu, Nanto Hidehito, Takata Shinzo**, 1984, Highly Conductive and Transparent Aluminum Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering, *Japanese Journal of Applied Physics*, **23**, L280 – L282.
- Minami Tadatsugu, Sato Hiroto, Nanto Hidehito, Takata Shinzo**, 1985, Group III Impurity Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering, *Japanese Journal of Applied Physics*, **24**, L781-L784.
- Nakahara K., Takasu H., Fons P., Yamada A., Iwata K., Matsubara K., Hunger R., Niki S.**, 2001, Interactions between gallium and nitrogen dopants in ZnO films grown by radical-source molecular-beam epitaxy, *Applied Physics Letters*, **79**, 4139 – 4141.
- Nel A., Xia T., Mädler L., Li N.**, 2006, Toxic potential of materials at the nanolevel, *Science*, **311**, 622 – 627.
- Neumark G. F.**, 1989, Achievement of well conducting wide band-gap semiconductors: Role of solubility and of nonequilibrium impurity incorporation, *Physical Review Letters*, **62**, 1800 – 1803.
- Niederberger Markus, Pinna Nicola**, 2009, Metal Oxide Nanoparticles in Organic Solvents: Synthesis, Formation, Assembly and Application (Engineering Materials and Processes), *Springer*.
- Ohtomo A., Kawasaki M., Koida T., Masubuchi K., Koinuma H., Sakurai Y., Yoshida Y., Yasuda T., Segawa Y.**, 1998, Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O as a II–VI widegap semiconductor alloy, *Applied Physics Letters*, **72**, 2466 – 2468.
- Özgür Ü., Alivov Ya. I., Liu C., Teke A., Reshchikov M. A., Doğan S., Avrutin V., Cho S.-J., Morkoç H.**, 2005, A comprehensive review of ZnO materials and devices, *Journal of Applied Physics*, **98**, 041301-1 – 041301-103.
- Park C. H., Zhang S. B., Su-Huai Wei**, 2002, Origin of p-type doping difficulty in ZnO: The impurity perspective, *Physical Review B*, **66**, 073202 – 073204.
- Park J., Joo J., Kwon S.G., Jang Y., Hyeon T.**, 2007, Synthesis of monodisperse spherical nanocrystals, *Angewandte Chemie International Edition*, **46**, 4630 – 4660.
- Peng L.P., Fanga L., Yanga X.F., Lia Y.J., Huang Q.L., Wua F., Kong C.Y.**, 2009, Effect of annealing temperature on the structure and optical properties of In-doped ZnO thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, **484**, 575 – 579.

- Pierrs A. C.**, 1998, Introduction to sol-gel processing, *Kluwer Academic publishers*.
- Polyakov A. Y., Smirnov N. B., Govorkov A. V., Kozhukhova E. A., Vdovin V. I., Ip K., Overberg M. E., Heo Y. W., Norton D. P., Pearton S. J., Zavada J. M., Dravin V. A.**, 2003, Proton implantation effects on electrical and recombination properties of undoped ZnO, *Journal of Applied Physics*, **94**, 2895 – 2900.
- Prathap P., Revathi N., Suryanarayana Reddy A., Venkata Subbaiah Y. P., Ramakrishna Reddy K. T.**, 2011, Synthesis of conducting Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O: Al layers by spray pyrolysis for photovoltaic application, *Thin Solid Films*, **519**, 7592 – 7595.
- Rao C.N.R.**, 1993, Chemical synthesis of solid inorganic materials, *Materials Science and Engineering: B*, **18**, 1 – 21.
- Roy R.**, 1987, Ceramics by the Solution-Sol-Gel Route, *Science*, **238**, 1664 – 1669
- Schirmer O.F.**, 1968, The structure of the paramagnetic lithium center in zinc oxide and beryllium oxide, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **29**, 1407 – 1429.
- Schirmer O.F., Zwingel D.**, 1970, The yellow luminescence of zinc oxide, *Solid State Communications*, **8**, 1559 – 1563.
- Sengupta Joydip, Sahoob R.K., Mukherjee C.D.**, 2012, Effect of annealing on the structural, topographical and optical properties of sol-gel derived ZnO and AZO thin films, *Materials Letters*, **83**, 84 – 87.
- Seung Yeop Myong, Seung Jae Baik, Chang Hyun Lee, Woo Young Cho, Koeng Su Lim**, 1997, Extremely Transparent and Conductive ZnO:Al Thin Films Prepared by Photo-Assisted Metalorganic Chemical Vapor Deposition (photo-MOCVD) Using AlCl<sub>3</sub>(6H<sub>2</sub>O) as New Doping Material, *Japanese Journal of Applied Physics*, **36**, L1078-L1081.
- Sung-Kyu Kim, Se-Young Jeong, Chae-Ryong Cho**, 2003, Structural reconstruction of hexagonal to cubic ZnO films on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si substrate by annealing, *Applied Physics Letters*, **82**, 562 – 564.
- Tsukazaki A., Saito H., Tamura K., Ohtani M., Koinuma H., Sumiya M., Fuke S., Fukumura T., Kawasaki M.**, 2002, Systematic examination of carrier polarity in composition spread ZnO thin films codoped with Ga and N, *Applied Physics Letters*, **81**, 235 – 237.
- Van de Walle C. G., Laks D. B., Neumark G. F., Pantelides S. T.**, 1993, First-principles calculations of solubilities and doping limits: Li, Na, and N in ZnSe, *Physical Review B*, **47**, 9425 – 9434.
- Van de Walle Chris G.**, 2000, Hydrogen as a Cause of Doping in Zinc Oxide, *Physical Review Letters*, **85**, 1012–1015.
- Vioux A.**, 1997, Nonhydrolytic Sol-Gel Routes to Oxides. *Chemistry of Materials*, **9**, 2292 – 2299.
- Willis, P. B.**, 2008, Survey of Radiation Effects on Materials, *OPFM Instrument Workshop*.
- Xu Q., Anderson M.A.**, 1993, Sol-Gel Route to Synthesis of Microporous Ceramic Membranes: Thermal Stability of TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> Mixed Oxides, *Journal of the American Ceramic Society*, **76**, 2093 – 2097.

- Xuea S.W., Zua X.T., Zhengd W.G., Chena M.Y., Xiang X.**, 2006, Effects of annealing and dopant concentration on the optical characteristics of ZnO:Al thin films by sol-gel technique, *Physica B: Condensed Matter*, **382**, 201 – 204.
- Yamamoto Tetsuya, Katayama-Yoshida Hiroshi**, 1999, Solution Using a Codoping Method to Unipolarity for the Fabrication of p-Type ZnO, *Japanese Journal of Applied Physics*, **38**, L166-L169.
- Yang C., Li X.M., Gao X.D., Cao X., Yang R., Li Y.Z.**, 2011, ZnMgAlO based transparent conducting oxides with modulatable bandgap, *Solid State Communications*, **151**, 264 – 267.
- Zeller A. F.**, 2005, Final Report on Radiation Resistant Magnets II, *DOE:Grant DE-FG02-03ER41254, NSCL, MSU, E. Lansing, MI 48824*
- Zhang S. B., Wei S.-H., Zunger Alex**, 2000, Microscopic Origin of the Phenomenological Equilibrium “Doping Limit Rule” in n-Type III-V Semiconductors, *Physical Review Letters*, **84**, 1232 – 1235.
- Zhang S. B., Wei Su-Huai, Zunger Alex**, 1998, A phenomenological model for systematization and prediction of doping limits in II-VI and I-III-VI<sub>2</sub> compounds, *Journal of Applied Physics*, **83**, 3192 – 3196.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Doğan AKCAN

**Dođum Yeri ve Tarihi:** SAKARYA / 1982

**Lisans:** Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü / 2006

**Tezsiz Yüksek Lisans:** İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans Programı

**Mesleki Deneyim:** Araştırma Görevlisi (Bahçeşehir Üniversitesi, Matematik Bilgisayar Bölümü) / 2010 –

## TEZDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR

- **Akcan D.**, Baydoğan N., Arda L., 2007, Gamma irradiation effect on optical properties of  $Zn_{0.95-x}Mg_{0.05}Al_xO$  thin films, *9th Nanoscience and Nanotechnology Conference*, 24 – 28 Haziran 2013, Erzurum, TÜRKİYE