

Görünür ve Kızılötesi Bölge İçin Yansıma Önleyici Yarıiletken İnce Film Geliştirilmesi

Arzu Kırak

**DOKTORA TEZİ**

Fizik Anabilim Dalı  
Şubat 2020

Development of Antireflect Semiconductor Thin Film for Visible and Infrared Region

Arzu Kirak

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Physics  
February 2020

Görünür ve Kızılötesi Bölge İçin Yansımaya Önleyici Yarıiletken İnce Film Geliştirilmesi

Arzu Kırak

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalı  
Genel Fizik Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker

Şubat 2020

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker danışmanlığında hazırlamış olduğum **"Görünür ve Kızılötesi Bölge İçin Yansıma Önleyici Yarıiletken İnce Film Geliştirilmesi"** başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 22/09/2020

Arzu KIRAK

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında, saf materyal plazması üreten bir teknik olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği kullanılarak, tek katmanlı yansıtma (anti-reflective (AR)) kaplama malzemesi olarak en iyi bilinen  $MgF_2$  (Magnezyum Florür) bileşiğinin plazmasını üreterek, cam taban üzerine ince filmler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ince filmlerin bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. İnce filmlerin yüzey özelliklerini incelemek için atomik kuvvet mikroskobu (AFM), kristal yapılarını incelemek için ise x-ışını kırınım (XRD) cihazı kullanılmıştır. Üretilen ince filmlerin optik özellikleri ise görünür bölge için UV-Vis spektrofotometri cihazı ve kızılötesi (IR) bölge için FTIR spektroskopisi cihazı kullanılarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** TVA,  $MgF_2$ , Yansıtma Kaplamalar, İnce Film.

## SUMMARY

In this study, thin films were formed on the glass base by producing the plasma of  $\text{MgF}_2$  (Magnesium Fluoride) compound, which is known as the most suitable material as single layer anti-reflective (AR) coating material by using Thermionic Vacuum Arc (TVA) technique, which produces pure material plasma. Some physical properties of the produced thin films were investigated. Atomic Force Microscopy (AFM) was used to examine the surface properties of the thin films and X-Ray Diffraction (XRD) device was used to examine the crystal structures of the thin films. The optical properties of the produced thin films were examined by using UV-Vis spectrophotometry for visible region and FTIR spectroscopy for infrared (IR) region.

**Key Words :** TVA,  $\text{MgF}_2$ , Antireflect Coatings, Thin Film.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker'e, gerek pozitif enerjisiyle hep moral veren gerekse bilgi ve tecrübesiyle destek olup bana Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarında çalışma imkanı sağlayan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü Başkanı hocam Sayın Prof. Dr. Suat Pat'a, zorlandığım anlarda bilgi ve deneyimini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman Özçelik'e, çalışmamda elde ettiğim analizlerin oluşturulmasında emeği geçen tüm Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanlarına ve bu zorlu, zahmetli yolda yürürken bana karşı hep anlayışlı, sabırlı ve hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili aileme tüm içtenliğimle sonsuz teşekkür ederim.



*Birsen Kirak (2009) anısına...*



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Kullanılan materyal MgF <sub>2</sub> (Magnezyum Florür).....	14
3.1.2. Cam alttaşların hazırlanması.....	14
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. İnce film üretme yöntemleri.....	15
3.2.1.1. TVA (Termiyonik Vakum Ark) yöntemi.....	17
3.3. Yapısal Analizler.....	23
3.3.1. X-ışını kırınım yöntemi.....	23
3.4. Yüzey Analizleri.....	25
3.4.1. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM).....	25
3.5. Optik Analizler.....	27
3.5.1. UV-Vis spektroskopisi.....	27
3.5.2. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR).....	28

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>30</b>
4.1. XRD Spektrum Analiz Sonuçları.....	30
4.1.1. Tavlanmamış MgF <sub>2</sub> numunelerine ait XRD desenleri.....	30
4.1.2. Tavlanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numunelerine ait XRD desenleri.....	34
4.2. AFM Görüntüleri.....	35
4.2.1. Tavlanmamış ve 300 °C'de tavlanmış MgF <sub>2</sub> numunelerine ait AFM görüntüleri.....	35
4.3. UV-Vis Spektrumları.....	37
4.3.1. MgF <sub>2</sub> numunelerine ait geçirgenlik spektrumları.....	37
4.4. Bant Yapısı ve Optik Geçirgenlik.....	39
4.5. Yasak Enerji Değerinin Hesaplanması.....	42
4.6. FTIR Spektrum Analiz Sonuçları.....	46
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>51</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bir alttaş yüzeyine, kırılma indisi $n_1$ ve kalınlığı $d_1$ olan yansıma önleyici kaplama yapılmasının şematik gösterimi.....	3
1.2. Dalga boyu seçim tablosu.....	5
3.1. İnce film büyütme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	16
3.2. TVA sisteminin fotoğrafı ((Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Plazma Fizigi ve Teknolojileri Laboratuvarı).....	18
3.3. TVA sisteminin şematik çizimi.....	19
3.4. Ampermetre ve voltmetre sistemleri. (a) Anot katot arası iyon akımı ve tutuşma potansiyeli ölçümü için kullanılan ampermetre ve voltmetre. (b) Flament akımını kontrol etmek için kullanılan askı ampermetre fotoğrafı.....	20
3.5. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	21
3.6. Elektromanyetik spektrum .....	23
3.7. XRD cihazının fotoğrafı .....	24
3.8. Kuvvet (F)–mesafe (r) grafiği .....	25
3.9. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) cihazının fotoğrafı .....	26
3.10. UV-Visible spektrometresinin fotoğrafı .....	27
3.11. FTIR spektrometresinin fotoğrafı .....	29
4.1. Tavlanmamış $MgF_2$ numunelerinin XRD desenleri.....	31
4.2. (a) $MgF_2$ kristalinin uzay grubu $P4_2/mnm$ olan rutil yapısı, (b) Rutil-tipi yapının tetragonal birim hücresi .....	33
4.3. Polar (111) yüzeyinin şematik olarak yandan görünüşü .....	33
4.4. Tavlanmış (300 °C) $MgF_2$ numunelerinin XRD desenleri.....	34
4.5. Tavlanmamış ve 300 °C’de tavlanmış $MgF_2$ numunelerinin 3D (10x10 $\mu m$ ) yandan AFM görüntüleri.....	36
4.6. Cam üzerine kaplanan tavlanmamış $MgF_2$ numunelerinin UV-Vis geçirgenlik spektrumları.....	37

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. 300 °C'de tavlanan, cam üzerine kaplanmış MgF <sub>2</sub> numunelerinin UV-Vis geçirgenlik spektrumları .....	38
4.8. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken malzemelerin bant yapısı .....	40
4.9. (a) Yarıiletkenin elektronik bant yapısı, (b) Yarıiletkenin enerji bant diyagramı.....	40
4.10. Yarıiletkenlerde direk ve indirek bant geçişleri.....	41
4.11. Tavlınmamış MgF <sub>2</sub> numunelerine ait $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ grafikleri .....	43
4.12. Tavlınmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numunelerine ait $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ grafikleri.....	45
4.13. Tavlınmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numunelerinin geçirgenlik spektrumları.....	46
4.14. Tavlınmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numunelerinin endüstriyel alandaki kullanımına uygun olarak çizilen geçirgenlik spektrumları.....	47
4.15. MgF <sub>2</sub> ince film kaplamalarının endüstriyel alandaki kullanımına ait geçirgenlik spektrumu.....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kaplama malzemelerinin spektral aralıklar içinde ortalama yüksek, orta ve düşük kırılma indislerine göre gruplanması .....	3
3.1. Deney parametreleri.....	23
3.2. IR (Kızılötesi) spektrum bölgeleri.....	29
4.1. Üç boyutta uzay grupları.....	32
4.2. Tavlanmamış ve tavlanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numuneleri için AFM pürüzlülük parametre değerleri.....	35
4.3. Tavlanmamış MgF <sub>2</sub> numuneleri için yasak enerji bant (E <sub>g</sub> ) değerleri.....	44
4.4. Tavlanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numuneleri için yasak enerji bant (E <sub>g</sub> ) değerleri .....	45
4.5. Tavlanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> numuneleri için 550 nm’de ölçülen kalınlık, kırılma indisi ve yasak enerji değerleri.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
A	Soğurma (Absorpsiyon)
Å	Angström
MgB <sub>2</sub>	Magnezyumdiborid
°C	Santigrat derece
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Etil Alkol
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Aseton
CaF <sub>2</sub>	Kalsiyum Florür
d	Film kalınlığı
E <sub>g</sub>	Yasak Enerji Aralığı
eV	Elektron volt
GaN	Galyum Nitrit
GaAs	Galyum Arsenit
Gr	Grafen
h	Planck Sabiti ( $6.626.10^{-34}$ J.s)
Mg	Magnezyum
MgF <sub>2</sub>	Magnezyum Florür
n	Kırılma indisi
nm	Nanometre
Pb	Kurşun
R	Reflektans (Yansıtma)
R <sub>a</sub>	Aritmetik ortalama pürüzlülük
Si	Silisyum (Silikon)
Sn	Kalay
T	Geçirgenlik (Transmisyon)
ZnO	Çinko Oksit
ZnS	Çinko Sülfür
ZrO <sub>2</sub>	Zirkonyum Oksit
μ	Mikron
μm	Mikrometre
λ	Dalga boyu
2D	2 Boyutlu
3D	3 Boyutlu

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### Kısaltmalar

AR

AFM

EDX

FESEM

FTIR

IR

ITER

NIR

PET

RMS

SEM

TVA

UV-Vis

XRD

Bkz.

vd.

### Açıklama

Antireflektif (Yansıtmayan)

Atomik Kuvvet Mikroskobu

Enerji Dağılımlı X Işını Analizi

Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu

Fourier Transform Infrared Spektrometresi

Infrared (Kızılötesi)

International Thermonuclear Experimental Reactor

Near Infrared (Yakın Kızılötesi)

Polietilen Tereftalat

Root Mean Square

Taramalı Elektron Mikroskobu

Termiyonik Vakum Ark

Mor Ötesi ve Görünür Bölge

X-Işını Kırınımı

Bakınız

ve diğerleri

# 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Optik kaplamalar, ışığın üzerine düştüğü yüzeyin yansıtıcılığını ve geçirgenliğini değiştirebilmek, yani genel olarak ışığın kontrol edilmesi amacı ile ayna veya merceklerin üzerine amaca uygun malzemeler seçilerek farklı tekniklerle ince filmler halinde biriktirilmesi işlemidir. Yansıtıcı ve yansıtma kaplamalar olmak üzere iki ana kaplama tipi vardır.

John Strong, 1936'da, camın yansımalarını gözle görülür ışık için %86'ya kadar azaltan homojen olmayan filmler elde etmek üzere floritin buharlaşmasıyla yansımaya önleyici (antirefleksif) kaplamalar üretmiştir. Aynı zamanda Alexander Smakula, Jena'da Carl Zeiss şirketinde, askeri etkileri nedeniyle gizli tutulan yansımaya önleyici kaplamalar geliştirmiştir (Macleod, 2018). II. Dünya Savaşı yansımaya önleyici kaplamaların üretiminde büyük bir genişlemeye sahne olmuştur. Evet, savaş kesinlikle gelişmeleri hızlandırmıştı, ancak bu gelişme herhangi bir savaş olmadan da gerçekleşecekti, çünkü farklı koşullar ve uzak mesafelerde çok daha net görüntülerin elde edilmesi ihtiyacını karşılamak üzere yapılan bilimsel araştırmalar; optikler için artık kaplamaların gerekli olduğu sonucunu beraberinde getirmişti.

Yansıtma kaplama gereksiniminin iki önemli nedeni vardır (Cox ve Hass, 1968; Musset ve Thelen, 1970). Birinci neden; ışığın iki ortamı ayıran yüzeyde kısmen yansımaları sonucunda geçen demette ortaya çıkan şiddet kaybıdır ki bu kayıp yüksek kırılma indisine sahip malzemeler için kayıp daha da yüksek olur. İkinci neden ise optik yüzeylerin arasında oluşan çoklu yansımaların istenmeyen parazit ışınları yol açmasıdır. Bu durum da görüntünün tanımını ve kontrastlığını azaltır. Bu nedenle yansıtma kaplamaların en önemli yararı, bazı optik sistemlerde görüntü kalitesini arttırmak iken bazı sistemlerde ise yansımaları kayıplarını ortadan kaldırıp verimi yükseltecek şekilde geçen ışık şiddetini arzu edilen miktarda arttırmaktır (Kavaklı ve Kantarlı, 2002).



Tercih edilen kullanım özelliklerine göre camlar üzerine yapılan kaplamalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Yansıma önleyici (Yansıtma/antirefleksif (AR)) kaplamalar,
2. Sertlik kaplaması,
3. Hidrofobik (su itici) kaplamalar,
4. Ayna kaplamaları,
5. Renk kaplamaları,
6. Fotokromik kaplamalar,
7. Buharlanmayı önleyici kaplamalar (Büyükyıldız, 2012).

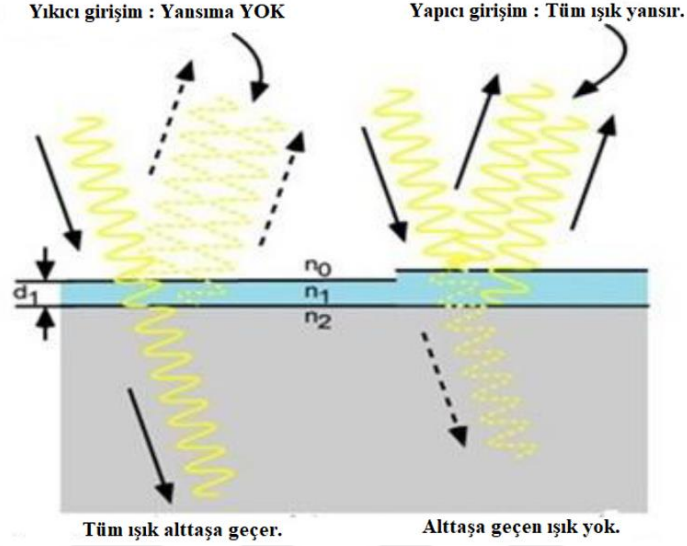
Kimyasal bazlı bir kaplama olan yansımaz (antirefleksif-AR) ince film kaplamalar, cep telefonlarının ekranlarında, saatlerde, fotoğraf makinası lenslerinde, araba camlarında, dürbün ve görüş kameralarında, güneş pillerinde ve gözlük camları gibi daha birçok alanda kısacası, optik ve optoelektronikle ilgili hemen her alanda kullanılmaktadır.

Yansımaz kaplamalar tek veya çok katlı olarak camın sadece arka yüzüne veya sadece ön yüzüne ya da her iki yüzüne de uygulanabilir.

Yansımaz cama mikroskopla bakıldığında, yüzeyin parlaklığının gittiği, pürüzlü olduğu görülür. Bu sayede;

- ✓ Yansımanın azalması sonucu ışığın geçirgenliği artar ve görüş kabiliyeti yükselir,
- ✓ Daha iyi bir görüntü sağlandığı için bilgisayar ve televizyon gibi ekranlı cihazlarda kontrastlık sağlar,
- ✓ Yansıması önlediği için estetik bir görünümü vardır.

Yansıtmasız (AR) kaplamanın çalışma prensibi yansıyan iki ışık ışını arasında yıkıcı girişim oluşturmaktır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Bir altaş yüzeyine, kırılma indisi  $n_1$  ve kalınlığı  $d_1$  olan yansıtma önleyici kaplama yapılmasının şematik gösterimi (Kouzehkonang, 2014).

Kırılma indisi, yansıtıcı ya da yansıtma kaplamalar, kenar filtreleri, dikroik yansıtıcılar, polarizörler, lazer yansıtıcılar ve spektral filtreler için çok katmanlı kaplama tasarımlarında ayırd edici öneme sahip bir özelliktir (Çizelge 1.1.).

Çizelge 1.1. Kaplama malzemelerinin spektral aralıklar içinde ortalama yüksek, orta ve düşük kırılma indislerine göre gruplanması.

Dalga boyu aralığı (nm)	Düşük kırılma indisi ( $n < 1,6$ )	Orta kırılma indisi ( $n = 1,6 - 1,8$ )	Yüksek kırılma indisi ( $n \sim 2$ )
UV: 250 - 400	MgF <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , CeF <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HfO <sub>2</sub> , Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Görünür/NIR: 400 - 1100	SiO <sub>2</sub> , MgF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , LaTiO <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub>
SW-MWIR: 1100 - 5000	SiO <sub>2</sub> , CeF <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , LaTiO <sub>3</sub> , HfO <sub>2</sub>
LWIR: 5000 - 12000	CeF <sub>3</sub> , YF <sub>3</sub> , YbF <sub>3</sub> , ThF <sub>4</sub>	-----	ZnS, ZnSe, Ge

Kırılma indisi  $n_s$  olan bir alttaş yüzeyine, kırılma indisi  $n_1$  ve kalınlığı  $d_1$  olan yansıtıcı önleyici kaplama yapılması halinde ( $n_0$ =havanın kırılma indisi=1 olmak üzere) yansıtıcı miktarı,

$$R = \frac{(n_0 n_s - n_1^2)^2}{(n_0 n_s + n_1^2)^2} \quad (1.1)$$

ile verilen ‘‘Fresnel Denklemleri’’nden hesaplanabilir. Bu eşitliğe göre;

$n_1 > n_s$  olduğunda yansıtıcılık artar,

$n_1 < n_s$  (ya da  $n_s > n_1$ ) olduğunda ise yansıtıcılık azalır.

Eğer yansıtıcılığın sıfır olması istenirse; Denklem (1.1)’den;

$$n_1 = \sqrt{n_0 n_s} \quad (1.2)$$

koşulunun sağlanması gerekir.

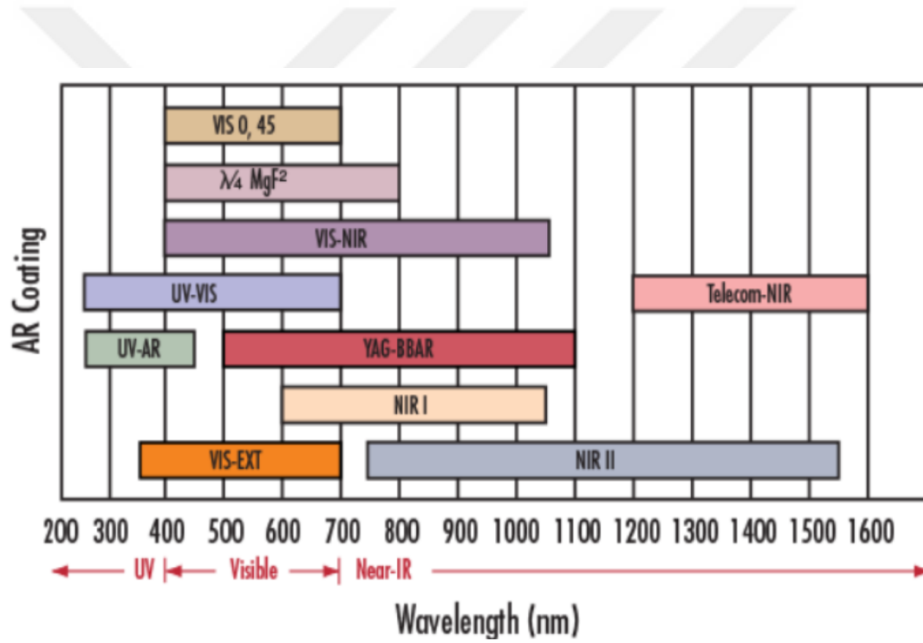
Bütün camlar ve parlak yüzeyler üzerlerine gelen ışınların bir kısmını yansıtırlar. Camın her bir yüzeyindeki yansıtıcılık oranı camın kırma gücüne bağlı olarak %4 ile %9,5 arasında değişir. Kırma gücü 1,5 olan bir cam her bir yüzeyinden %4 oranında yansıtıcı yapar. Camın kırıcılık gücü (indisi/endeksi) arttıkça yansıtıcı oranı da artar.

Yansımının azaltılarak ışığın geçirgenliğinin artırılması ve dolayısıyla görüş kabiliyetinin iyileştirilmesi maksadıyla gözlük camlarında kullanılan kaplama malzemeleri Denklem (1.2) ile verilen kırılma indisleri arasındaki ilişki koşulunu sağlayacak şekilde seçilir. Camın kırma indisi değeri  $n_s=1,52$  ve havanın kırma indisi olarak da  $n_0=1$  olarak alındığında; minimum yansıtıcı ve maksimum geçirgenlik için kullanılacak malzemenin kırma indisinin  $n_1 = \sqrt{n_0 n_s} = \sqrt{1,52} = 1,23$  olması gerektiği sonucu çıkar. Bu nedenle gözlük camlarında ya da optik sistemlerin görüntü verimliliğini artırmak için 1,23 değerine en yakın kırılma indisine sahip  $MgF_2$  ( $n=1,38$ ) kaplamaları (ince filmleri) tercih edilir.

100 nm kalınlığındaki tek kat yansıma önleyici (antirefleksif) kaplama ile örneğin kron cam ( $n=1,525$ ) için yansımalar her bir cam yüzeyinde %4,3'den %1,6'ya iner ve ışık geçirgenliği %91,4'den yaklaşık %97'ye çıkar.

Çizilme, aşınma, dökülme gibi mekanik sağlamlık ve neme dayanıklılık bakımından tek katmanlı yansıtma kaplama (AR) malzemesi olarak en uygun malzemenin  $MgF_2$  olduğu bilinmektedir (Holland, 1961).

Şekil 1.2.'de geniş bantlı yansıma önleyici kaplama seçenekleri için dalga boyu seçim tablosu verilmiştir.



Şekil 1.2. Dalga boyu seçim tablosu (Edmund Optics, 2019).

Bu çalışmada, Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile görünür ve kızılötesi bölge için yansıma önleyici tek yarıiletken ince film numuneler geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geniş geçirgenlik aralığı, düşük kırılma indisi değeri ( $n=1,38$ ) ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bölgede çok iyi bir AR kaplama malzemesi olarak kullanılan  $MgF_2$  (Magnezyum Florür) seçilmiştir.

TVA'nın temel prensibi, ilgili materyalin buharındaki bir ark plazmasının ateşlenmesidir.

Yöntemin orijinallığı, metal buhar plazmasının tutuşması için sisteme verilen enerjinin bir elektron tabancası ve yüksek bir voltaj kaynağı tarafından aynı anda temin edilmesidir. Metal buharlarının oluşturulması, anot malzemesinin, filament tarafından yayılan ve elektrotlar arasında hızlandırılan elektronlarla bombardımanı yoluyla elde edilir.

TVA tekniğinin deneysel düzeneği, genel olarak bir Wehnelt silindiri ile çevrili bir tungsten filamentinden bir katod (elektron tabancası) ve buharlaştırılarak plazması oluşturulacak katı malzemenin koyulduğu (tungsten) anod potasından oluşur. Anod potası içindeki buharlaştırılacak malzeme, katod filamentini tarafından üretilen elektronlarla bombardıman edilir. Bombardıman elektronları anod potası üzerine negatif potansiyelde tutulan Wehnelt silindiri ile odaklanıp ve elektrotlar arasına uygulanan yüksek voltaj yardımıyla hızlandırılmaktadır. Hızlandırılan bu elektronların anod (pota) üzerine aktardığı enerji ile anod potası içerisindeki malzemenin erimesi ve sürekli olarak buharlaşması sağlanır. Elektrotlar arasındaki mesafe küçük ve uygulanan voltaj yeterince yüksek ise vakum içerisinde elektrotlar arasında parlak bir deşarj oluşur. Isıtılmış katoddan gelen elektronların sürekliliği nedeniyle oluşan ark kolayca ateşlenir (Musa vd., 1984, 1986, 1994, 1997).

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

MgF<sub>2</sub> geniş dalga boyu aralığında yüksek şeffaflık, düşük kırılma indisi, neme ve mekanik aşınmaya karşı son derece kararlı olması nedeniyle, fotovoltaik hücreler, güneş kolektörleri, yüksek güçlü lazer cihazlarında kullanılan rezonatörler ve IR diyotlar gibi optik ve elektro optik cihazlardakullanılan kaplamalardaince film olarak en çok kullanılabilir olanlardan biridir. Bu yüzden fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanılan cihazlardaki performansa etkisinin gözlenebilmesi amacıyla pek çok araştırmaya konu olmaktadır.

Birçok araştırmacı optik özellikleri iyileştirmek ve ürünün uygun çevresel dayanıklılığını sağlamak için farklı yöntemler kullanarak gözenekli MgF<sub>2</sub> ince film üretmiştir.

Modern uygulamaların ekonomik verimliliği, doğrudan ışın hatlarında ve lazer sistemlerinde kullanılan optik bileşenler üzerine yapılan dielektrik kaplamaların kalitesine bağlıdır. Önemli deneysel ve teorik ilerleme kaydedilmiş olsa da, dielektrik kaplamaların lazer hasarı sorunu henüz tam olarak çözülmemiştir (Hua vd., 2007). UV lazer radyasyonu için düşük optik kayıplar, yüksek stabilite, yüksek ışınlama direnci ve iyi optik performans sağlayan optik bileşenleri gerçekleştirmek için çok daha fazla çaba gerekmektedir.

Hua ve arkadaşları (2007), termal buharlaştırma yöntemiyle yapmış oldukları çalışmada alt tabaka sıcaklığının ya da alt tabaka malzemesinin MgF<sub>2</sub> kaplamalara yapısal, optik, mekanik özellikleri yönünden ve hasar dirençleri üzerinde büyük etkisi olduğunu kanıtlamışlardır.

Doğan (2010), yer ve gözlem uydu kameralarının 400-900 nm tayfsal alanda iyi bir optik performansla çalışabilmesi için gerekli olan, sistemlerin optik parçalarından, ayna ve mercek yüzeylerine yapılacak olan yansıtıcı ve yansıma engelleyici kaplamaların tasarım ve uygulama sürecini anlatan bir çalışma yapmıştır. Aynalarda yansıtıcı kaplama olarak Ag ve koruma katmanı olarak SiO<sub>2</sub> ile TiO<sub>2</sub>, merceklerde ise yansıma engelleyici kaplama olarak

yüksek kırıcılık indisli ve düşük kırıcılık indisli malzeme olarak, uzay uygulamalarında sıkça kullanıldığı bilinen  $TiO_2/SiO_2$  ve alternatif malzeme olarak  $MgF_2$  kullanılmıştır. Söz konusu kaplamaların üretiminde  $TiO_2$ ,  $SiO_2$  ve  $MgF_2$  malzemeleri için elektron demetli buharlaştırma ve Ag için ısısal buharlaştırma yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda; yansımaya engelleyici kaplamalarda yaklaşık %0,1'lik, yansıtıcı kaplamalarda ise yaklaşık %0,3'lük bir iyileşme elde edilmiştir. Kaplamaların sıcaklık farklılıklarında nasıl etkilendiğinin gözleyebilmek için örnekler önce 70 °C'de iki saat fırınlanmış, daha sonra 20 °C'de yine 2 saat tutulmuştur. Bu işlemler sonucunda yapılan ölçümler neticesinde kaplamaların optik performanslarının bozulmadığı gözlenmiştir.

Ionescu ve arkadaşları (2010), cam alttaşlar üzerine Co- $MgF_2$  pürüzsüz, nanoyapılı kaplama ince filmler oluşturmak için termiyonik vakum ark (TVA) biriktirme yöntemini kullanmışlardır.  $MgF_2$  düşük buharlaşma noktası nedeniyle yalıtım malzemesi olarak seçilmiştir. Çalışma sonunda yumuşak, manyetik Co- $MgF_2$  filmler elde etmişlerdir.

Tercih edilen fiziksel özelliklerinin yanısıra  $MgF_2$  yüzeyi hidrofilikliğe sahiptir. Bu nedenle, yağmurlu havalarda veya nemli koşullarda  $MgF_2$  ince filminin yüzeyinde su damlası ve sis oluşması olasılığı vardır. Bu da,  $MgF_2$  ince filminin iletim ve optik performansında azalmaya neden olur. Özellikle askeri amaçlı kullanılan dürbün, periskop vb. optik sistemlerde,  $MgF_2$  ince filminin ıslanabilirliği süperhidrofilik olarak değiştirilmelidir. 2018 yılında Akbar ve arkadaşları, termal plazma buharlaştırma yöntemi ile cam alt tabaka üzerine kaplanmış  $MgF_2$  ince filmin ıslanabilirliği ve optik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, fiziksel plazma aşındırma işleminin  $MgF_2$  ince filminin hidrofilik yüzeyini süperhidrofilik olarak değiştirdiğini belirlemiştir.

Fresnel'in iletilen ışığın yoğunluğunu önemli ölçüde azaltan yansımaları nedeniyle, yansımaya önleyici kaplamalar, sorunun üstesinden gelmek için uzun süredir kullanılmaktadır. Artık fotovoltaik hücrelerin veya optoelektronik cihazların ön yüzeyine çok katmanlı kaplama uygulanmasının, ortaya çıkan ışığın yansımalarını cihaz performansını artırarak azalttığı tespit edilmiştir. Çok katmanlı bu kaplamalar güneş pilleri, lensler, lazerler için optik pencerelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İki katmanlı ortamın kırılma indeksleri arasında kademeli bir geçiş, mükemmel yansımaya önleme özelliklerine sahiptir. Tipik olarak, AR kaplaması, bir malzemenin tek katmanlı kaplaması veya seçilen iki malzemeden iki

katına çıkan bir tabaka kullanılarak üretilir. Örneğin, geniş bir dalga boyu bandının kapsanması gerekiyorsa, daha fazla sayıda katmanı içerebilecek sınırlı fakat önemli uygulamalar vardır (Waqar A.A., 2017).

Thermiyonik Vakum Arkı (TVA) plazması, ilk kez 1984 yılında Bükreş/ROMANYA'daki National Institute for Laser, Plasma and Radition Physics enstitüsünde düşük sıcaklık plazma fiziği konusunda çalışan Musa ve arkadaşları (1984) tarafından oluşturulmuştur.

Başlangıçta bu ark plazmasının kaplama yeteneklerine özel bir ilgi gösterilmemiş, sadece yeni bir plazma kaynağı olarak görülmüştür. Bu yüzden bu teknikle ince filmlerin biriktirilmesine dair araştırmalara odaklanılması keşfedilmesinden çok sonra olmuştur (Surdu-Bob C, 2007).

Enrich ve arkadaşları (1998), TVA yöntemiyle plastik yüzeyler üzerinde biriken ince bakır filmlerin, bombardıman iyonlarının enerjisi 50 eV'u aştığında mükemmel bir yapışma gösterdiğini gözlemişlerdir. Bu çalışmada, plastik yüzeylerin metalize edilmesine vurgu yapılmıştır. TVA yönteminde saf, gaz ve makro partikül içermeyen bir metal plazma üretildiğinden, ince fillmlerin yapışması için belirleyici öneme sahip olan iyon enerjisi, deşarj akımı, ısıtılmış katotun sıcaklığı, iyonlaşma derecesi, birikme hızı gibi önemli proses parametrelerinin basit bir kontrolü sağlanır.

TVA plazmasının teknolojilerindeki son gelişmeler, biriktirilen filmlerin kalitesinde önemli bir iyileşme sağlamıştır. İnce film teknolojisinin mevcut durumu, plazma veya iyon ışını destekli kaplama teknolojilerindeki son gelişmeler, üstün kalitede yeni malzemeler üretmek için umut verici bir yol olduğunu göstermektedir.

1999 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde kurulan Plazma Fiziği ve Teknolojileri Laboratuvarı'nda 2000 yılından bu yana saf metal buharı plazması oluşturulan TVA tekniği ile ince film üretim çalışmalarına başlanmıştır.



TVA tekniği ile adı geçen laboratuvarıda Cu, Au, Ag, SiO, Si, ZnO, ZnS, ZnSe gibi erime noktası düşük materyaller ile Re, B, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi erime noktası yüksek materyallerin ve çeşitli gazların plazmaları elde edilerek bu plazmalar yardımı ile homojen, prz söz, saf ince filmler de üretilmektedir (Balbağ, 2009).

Pat ve arkadaşları (2005), TVA yöntemi ile Ag (gümüş) ince film kaplama üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada elektron sıcaklıklarının plazma boyunca uygulanan gerilime büyük lde bağlı olduğu bulunmuştur. TVA plazmasında bulunan türlerin elektron sıcaklığı ve sonuç olarak enerjisi, kaplamaların yüzey morfolojisini, yapışma mukavemetini ve kompaktlığını etkilemektedir.

Akan ve arkadaşları, 2006 yılında yaptıkları çalışmada, kalitesi nedeniyle son zamanlarda özel ilgi gören teknolojilerden biri olan bor kaplama için yeni bir teknoloji olan TVA yönteminin kullanımını önermişlerdir. Çalışmada oldukça kaliteli ince filmler elde edilmiştir.

Balbağ ve arkadaşları tarafından (2010), yapılan çalışmanın amacı, Mg (magnezyum) ince filmleri kaplamak için TVA yönteminin kullanımını araştırmak ve üretilen filmlerin bazı fiziksel özelliklerini belirlemektir. Elde edilen ince filmlerin kristal yapısı ve morfolojik zellikleri AFM, EDX, SEM ve XRD analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Analizlerden sonra ulaşılan sonuçlara göre; ince filmler, yüksek kaliteye sahip ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olduğu bulunmuştur. Gelecekte, bu çalışmanın TVA yöntemi ile MgB<sub>2</sub> (magnezyumdiborid) süperiletken ince film üretmek için n çalışma olacağı değerlendirilmiştir.

zkan ve arkadaşları (2012), yaptıkları çalışma ile silikon (Si) ve cam alttabakalar üzerine çinko sülfür (ZnS), TVA tekniği kullanılarak ilk kez başarıyla kaplanmıştır. TVA yönteminin diğer biriktirme tekniklerine kıyasla yoğunluk, düşük pürüzlülük, nanoyapı, homojenlik gibi birçok avantaj sağladığı için bu çalışmada, yüksek kaliteli ZnS ince filmlerinin biriktirilmesi için farklı bir teknik sunulmak amaçlanmıştır. Cam alttaş üzerinde biriken ZnS için geçirgenlik, yasak enerji aralığı ve kırılma indisi belirlenmiştir. Cam ve Sialttaşlar zerine elde edilen ZnS ince filmlerin analiz sonuçlarından yüksek kaliteye sahip

ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olduğu görülmüştür. Yüzeyi pürüzsüz görünmekle beraber elde edilen ZnS ince filminin pürüzlülüğü sırasıyla 1,17 ve 1,54 nm olarak ölçülmüştür.

Korkmaz ve arkadaşları (2012), TVA yöntemi ile elde ettikleri ZrO<sub>2</sub> ince filmlerin optik özellikleri (geçirgenlik, kırılma indisi ve bant boşluğu enerjisi) üzerindeki termal işlem etkilerini göstermek istemişlerdir. İnce filmler farklı sıcaklıklarda (350 °C, 450 °C ve 550 °C) termal olarak işleme maruz bırakılmış, yapılan analizler neticesinde 450 °C’de termal işleme maruz kalan filmin optik özelliklerinin daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Çetin ve arkadaşları (2013) bu çalışmada, TVA tekniği ile cam alttaşlar üzerine kalsiyumflorür (CaF<sub>2</sub>) ince filmler hazırlanmıştır. CaF<sub>2</sub> filmlerin optik ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Analizler sonucu elde edilen CaF<sub>2</sub> ince filmlerin yüksek yansımaya önleyici (AR) özellikliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

Pat ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bu çalışmada, GaN ince film üretimi ilk kez bir plazma biriktirme tekniği olan TVA ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen GaN filmlerin yüzey morfolojisi saha emisyonu tarama elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. Cam ile GaN/PET (polietilen terephthalate) ve GaN/cam numunelerinin yüzey özelliklerinin oldukça farklı olduğu gözlenmiştir. Ortalama pürüzlülük değerleri GaN/PET için 0,48 nm ve GaN/cam için 1,17 nm olarak belirlenmiştir. Optik veriler dökme GaN materyalleri ile karşılaştırılmış ve kırılma indisleri GaN/cam, GaN / PET ve yığın GaN için, sırasıyla 2,2; 3,0 ve 2,5 olarak ölçülmüştür. Elde edilen filmlerin yasak enerji bant aralığı değerleri, 3,3 eV-3,5 eV enerji aralığında ölçülmüştür. TVA, metal organik ince filmlerin üretimi için yeni bir reaktif olmayan plazma tekniğidir.

İnce film üretme teknolojisinin kaplanan filmlerin tüm özelliklerini etkilediği yapılan araştırmalar sonucu bilinmektedir. TVA teknolojisidiğer fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme teknolojilerine göre düşük öncü ve işlem safsızlığı içeren hızlı bir teknolojidir. Bu yüzden Mohammadigharehbagh ve arkadaşları (2018) tarafından bu çalışmada; cam ve PET üzerine indiyum katkılı bir ZnO (IZO) ince filmin biriktirme işlemi termiyonik vakum ark yöntemi ile yapılmıştır. Analiz sonuçları literatür ile uyumludur.

Şenay ve arkadaşları (2017), termiyonik vakum ark tekniğiyle 155 nm kalınlığında bir Pb katkılı GaAs ince filmi 30s sürede cam bir alttaş üzerine biriktirmiştir. FESEM ve AFM analizlerinden tüm yüzeyi kaplayan ince taneli düzgün bir yüzey morfolojisi gözlenmiştir. Çalışmada Pb katkısının kırılma indisi değerini arttırdığı ve bant aralığı değerini düşürdüğü gözlenmiştir.

ZnO ince filmler, güneş pili, dedektör ve LED'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, elektronik, algılama ve tıpta birçok uygulama için en önemli yarıiletken malzemelerden biridir. ZnO ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen, elektrik iletkenliği, şeffaflık, toksik olmama, dayanıklılık ve termal kararlılık gibi özellikleri nedeniyle halen dünya çapında incelenecek cazip bir malzemedir. Bu yüzden Özgür ve arkadaşları (2019), yapmış oldukları çalışmada TVA yöntemini kullanarak, cam, PET ve silicon alttaşlar üzerine Sn katkılı ZnO ince filmleri TVA yöntemini kullanarak yüksek kalitede  $\text{SnZn}_2\text{O}_4$  bi-metalik ince filmler elde etmeyi başarmışlardır.

Elmas ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan bu çalışmada, TVA yöntemi ile grafen katkılı ZnO (ZnO:Gr) nanokompozit ince filmlerin büyütülmesine odaklanılmıştır. İnce filmler, cam ve silicon (Si) alttaşlar üzerine biriktirilmiştir. Katkılamanın ZnO:Gr nanokompozit ince filmlerin yapısal, optik, morfolojik özellikleri üzerindeki etkisi çeşitli analiz teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. Cam ve Si alttaşlar üzerine biriktirilen ince filmlerin kalınlık değerleri, sırasıyla 50 nm ve 20 nm olarak ölçülmüştür. UV-Vis spektrofotometre ve optik interferometre kullanılarak, elde edilen ince filmlerin kırılma indisi, yansıma, geçirgenlik, absorbans ve optik bant enerji aralığı belirlenmiştir. Cam alttaş üzerine biriken ZnO:Gr nanokompozit ince filmin optik bant aralığı, optik yöntemle 3,15 eV olarak belirlenmiştir ve sonuç PL (fotoluminesans) ölçümü ile iyi bir uyum içindedir. ZnO:Gr nanokompozit ince filmlerin Raman analizinden, grafenin ZnO, D ve 2D zirveleri gözlenmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimini analiz etmek için FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. AFM ve FESEM analizine göre, ZnO:Gr nanokompozit ince filmler pürüzsüz, düz, granül, düzgün ve yoğun formdadır. Daha büyük kristalit boyutları nedeniyle Si alttaşı üzerine biriktirilen ZnO:Gr nano-kompozit ince film, cam alttaş üzerine biriktirilene göre daha düşük dirençlidir. Sonuç olarak, ZnO:Gr nano kompozit ince filmler şeffaf iletken oksit (TCO) malzeme olarak potansiyel uygulamalar için ümit vaat eden malzemedir.

Gösterdiği yüksek performans nedeniyle, TVA plazması uluslararası kabul görmüş bir kaplama teknolojisi haline gelmiştir. TVA'nın en önemli güncel uygulamalarından biri, Avrupa Birliği sponsorluğunda Cadarache-Fransa'da (ITER-International Thermonuclear Experimental Reactor Projesi) inşa edilecek tokamakın iç duvar tuğlalarının yapışkan ve saf Be (berilyum) ve W (tungsten) katmanları ile kaplanmasıdır. Tokamak, plazmanın kapalı manyetik alan bölgesi içinde hapsedilmeye çalışıldığı bir plazma tutucu sistemdir. Plazma çok sıcak bir madde olduğundan plazmanın tutulabilmesi (depolanabilmesi) için manyetik alandan faydalanılır. Bu proje aracılığıyla maddenin plazma olarak bilinen hâlimden elektrik üreten bir güç kaynağı yaratmak amaçlanmaktadır. (<https://www.haberler.com/tokamak-nukleer-fuzyon-reaktoru-iter-in-montajina-13465760-haberi/>)



## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Materyal

#### 3.1.1. Kullanılan materyal $MgF_2$ (Magnezyum Florür)

$MgF_2$  beyaz, kristal bir katıdır. Termal ve mekanik şoklara dayanıklı, sağlam, sert ve pozitif çift kırılmalı bir kristaldir. Düşük kırılma indisi ( $\sim 1,38$ ) ve çok geniş bir dalga boyu (400~1000 nm) aralığında yüksek şeffaflık özelliğine sahip olması nedeniyle, optik (lens kaplama) filmlerde sıklıkla kullanılır.

Bu çalışmada kaplama malzemesi olarak; aşağıda nitelikleri verilen kristal haldeki  $MgF_2$  kullanılmıştır.

Katalog numarası: Alfa Aesar

EG-Nr.:231-995-1 Magnesium Fluorür

Optical Grade, %99,9 (metal basis)

#### 3.1.2. Cam alttaşların hazırlanması

İnce filmlerin oluşturulacağı tek taraflı çok katmanlı kaplamalarda taban malzemesi olarak cam (mikroskop camı) kullanılmıştır. Görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip olan mikroskop camı, deneysel çalışmalarda özellikle tercih edilen cam türüdür.

Alt taban olarak kullanılacak olan cam malzemelerin temizliği ve fiziksel düzgünlüğü, film kalitesi ve kristalleşmesi üzerinde çok büyük öneme sahiptir.

Mikroskop camlarına aşağıda anlatılan temizleme adımları uygulanmıştır:

İlk önce küçük cam bir kaba doldurulmuş aseton ( $C_3H_6O$ ) iğerisine yerleştirilen cam altlıklar ultra sound aleti içerisinde beklemeye bırakılmış, belirli aralıklarla altlıkların yüzeyleri ters çevrilerek 8-10 dk aseton içerisinde temizlenmişve daha sonra asetonun çıkartılarak kurumaya bırakılmıştır.

Daha sonra tekrar aynı küçük cam kap iğerisine etil alkol ( $C_2H_5OH$ ) yerleştirilmiştir cam altlıklar ultra sound aletinin içinde titreşime bırakılmıştır. Böylece cam altlıklar sadece etil alkol içerisinde bırakılmamış aynı zamanda cihazın titreşimi sayesinde daha iyi temizlenmesi sağlanmıştır. 8-10 dk sonra etil alkolden çıkartılarak kurumaya bırakılmıştır.

Son olarak; yukarıdaki işlemler saf su içerisinde gerçekleştirilerek cam altlıklar üzerinde leke oluşumunu önlemiş olup bütün camlar temiz bir ortamda kurumaya bırakılmıştır.

## **3.2. Yöntem**

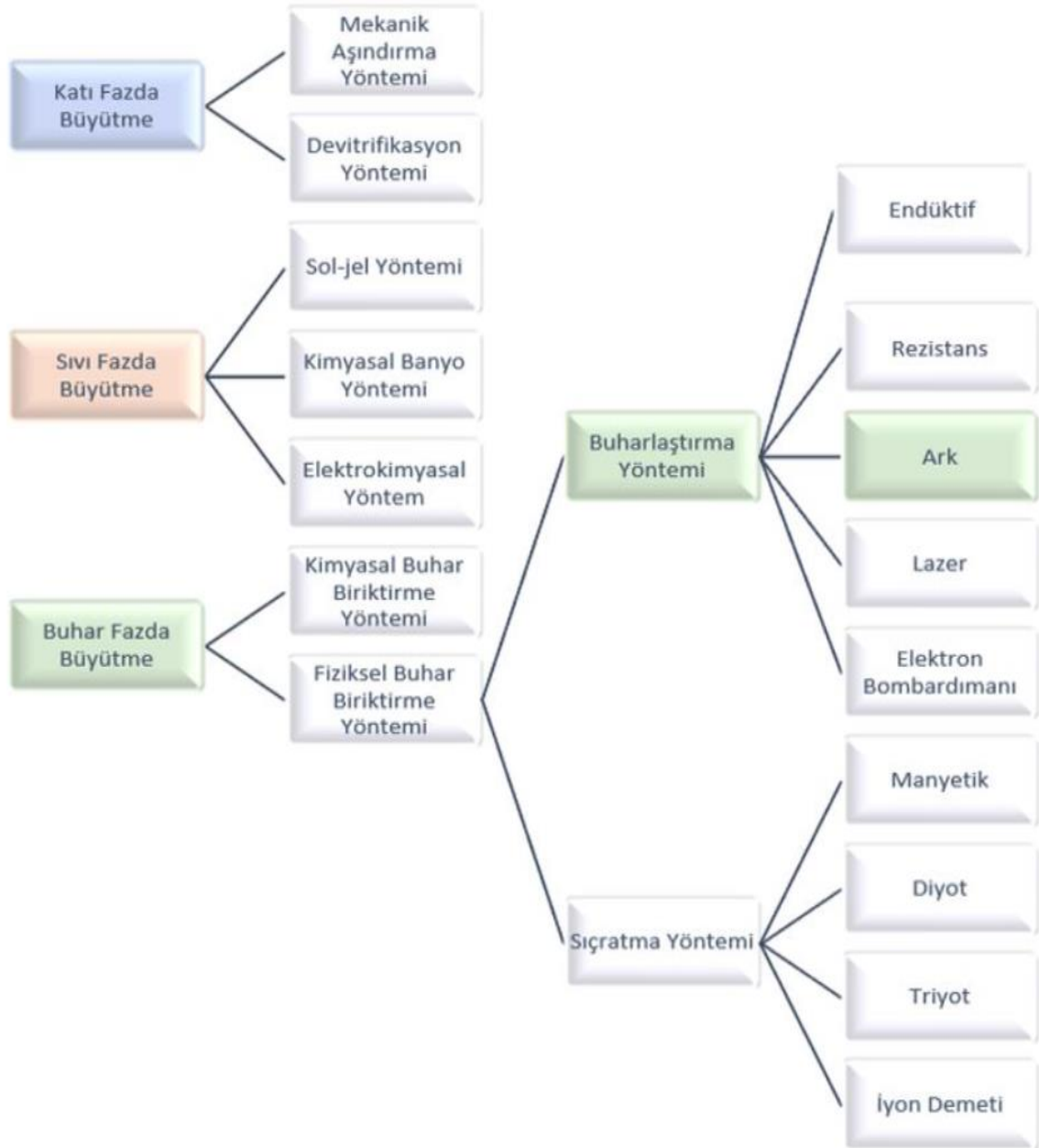
### **3.2.1. İnce film üretme yöntemleri**

İnce filmler; kaplanacak malzemenin atomlarının veya moleküllerinin, filmin oluşumuna taban oluşturacak bir alt malzeme üzerine genellikle  $1\mu m$ 'nin altındaki kalınlıklarda dizilmesiyle oluşturulurlar.

İnce filmler, ilk olarak, cam ve seramikler üzerinedekorasyon amaçlı kaplanmıştır. 19. yüzyıl sonrası bilimsel araştırmalardaki yerini alarak farklı yöntemlerle üretilmeye çalışılmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalar, vakum cihazlarının gelişmesine kadar laboratuvar çalışmaları olarak kalmıştır.

Teknolojinin gelişimi ile mikro ve nano optoelektronik malzemelerin üretiminde önemli bir yeri olan ince filmler, kaplanacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi amacıyla kullanım alanına göre Şekil 3.1.'de gösterilen farklı yöntemlerle elde edilirler.

## İNCE FİLM BÜYÜTME YÖNTEMLERİ



Şekil 3.1. İnce film büyüme yöntemlerinin sınıflandırılması (Sönmezoğlu, 2012).

### 3.2.1.1. TVA (Termiyonik Vakum Ark) yöntemi

Çalışmada, aşağıda detaylı olarak anlatılan TVA yöntemi kullanılmıştır.

Termiyonik Vakum Ark (TVA) yöntemi; metal, seramik, yarıiletken gibi hemen hemen her materyalin plazmasını üretebilen bir tekniktir. TVA sisteminin vakum odası içinde, katottan yayınlanan elektronlar ve elektrotlar arasında uygulanan voltaj ile anot materyalinin saf, gaz karışımı içermeyen ve yüksek iyonlaşma dereceli plazması oluşturulur.

Ayrıca, yüksek saflıktaki katmanların sentezini sağlayan hiçbir tampon gaz veya katalizöre gerek olmadığı da belirtilmelidir. Sistem vakum içine yerleştirildiği için, ısı iletimi için partiküller mevcut değildir ve bu yüzden altta sadece yüzeye çıkan iyonlar tarafından ısıtılır. Bu, TVA yöntemini plastıklere ve diğer düşük ısıya dirençli malzemelere biriktirmek için uygun kılar. Bu düşük ısı iletimi, biriktirme yöntemini endüstriyel olarak rekabetçi kılan enerji kaybını en aza indirir. TVA yöntemi, pek çok yeni teknolojik uygulamada kullanılmaktadır.



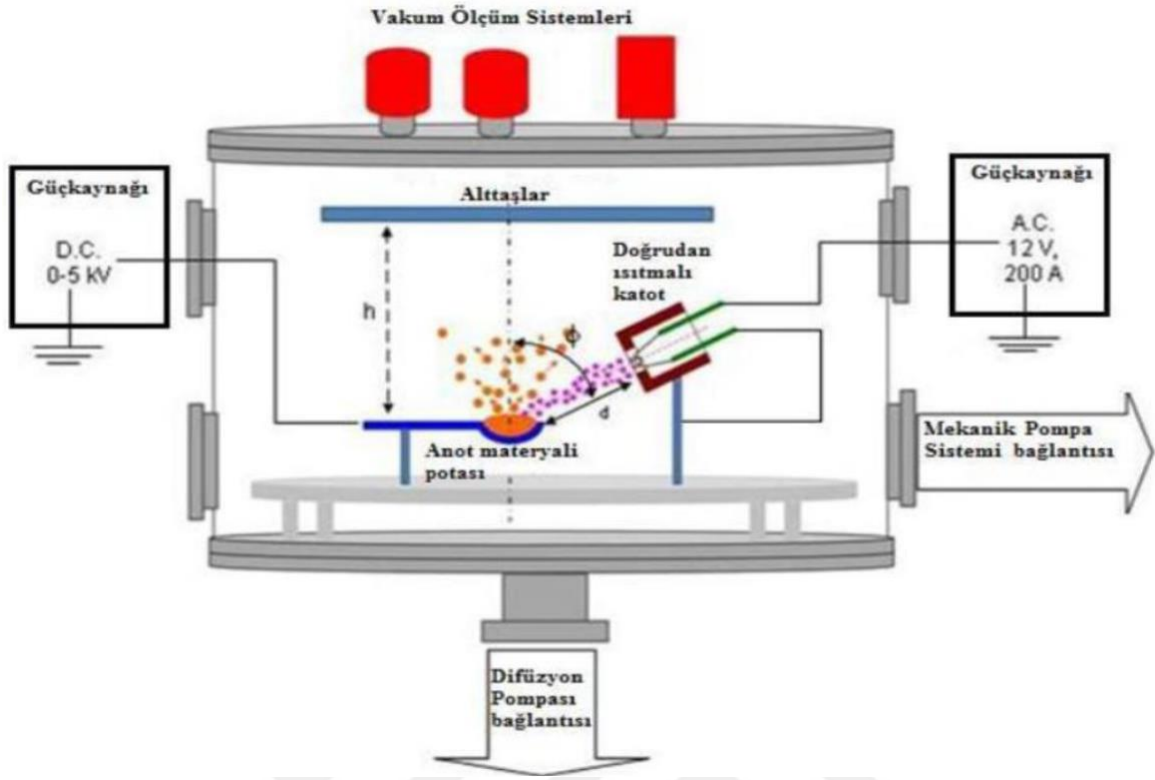
TVA plazması kullanılarak elde edilen filmler çok yapışkan, kompakt, pürüzsüz ve saftır.

Kullanılan TVA sisteminin fotoğrafı Şekil 3.2.'de, şematik gösterimi Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.





Şekil 3.2. TVA sisteminin fotoğrafı (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Plazma Fiziği ve Teknolojileri Laboratuvarı).



Şekil 3.3. TVA sisteminin şematik çizimi (Aydoğmuş, 2013).

TVA sistemini oluşturan bölümler aşağıda açıklanmaktadır:

1. Katot akımı güç kaynağı

12 V - 200 A'lık AC ayarlanabilir çıkış voltajlı güç kaynağıdır.

2. Anot potansiyeli güç kaynağı

0 - 5 kV ve 10 kV'luk DC ayarlanabilir çıkış voltajlı güç kaynağıdır.

3. Pompalama sistemi

Pompa sistemi, bir adet Edwards EM40EH250 marka mekanik pompa ile bir adet Edwards Diffstack M100 marka difüzyon pompasından oluşmaktadır.

4. Vakum ölçüm sistemleri

Vakum ölçüm sistemleri;  $10^{-3}$  Torr ve  $10^{-6}$  Torr'a kadar hassasiyetle ölçüm yapabilen Edwards marka iki düşük basınç ölçer cihazından oluşmaktadır.

## 5. Ampermetre ve voltmetre sistemi

Kaplanacak malzemelerin termiyonik vakum arklarının oluşturulduğu anot ve katot arasındaki, iyon akımı ve ateşleme potansiyelleri Şekil 3.4.(a)'da fotoğrafı görülen ampermetre ve voltmetre sistemi yardımı ile ölçülmektedir. Flament akımı ise bir askı ampermetre ölçülmektedir (Şekil 3.4.(b)).



(a)



(b)

Şekil 3.4. Ampermetre ve voltmetre sistemleri. (a) Anot katot arası iyon akımı ve tutuşma potansiyeli ölçümü için kullanılan ampermetre ve voltmetre. (b) Flament akımını kontrol etmek için kullanılan askı ampermetre fotoğrafı (Aydoğmuş, 2013).

## 6. İnce film kalınlık ölçüm sistemleri

İnce film kalınlık ölçüm cihazı olarak 0,1 nm hassasiyetle ölçüm yapılabilen, kuartz kristalli Cressington MTM10 cihazı kullanılmaktadır.

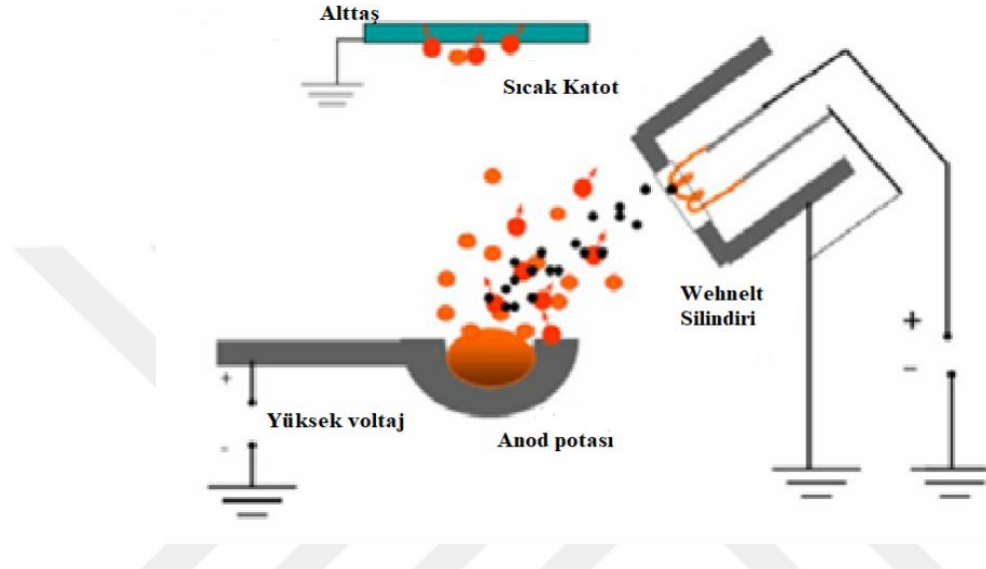
## 7. Soğutma üniteleri

Difüzyon pompasının üzerinde bulunan su soğutma ünitesi ile vakum odasının dış yüzeyinde bulunan su soğutma ünitesi olmak üzere iki adettir.

## 8. Vakum odası ve içerisindeki deney düzeneği

Yaklaşık  $10^{-9}$  Torr'luk yüksek basınç değerinde de çalışabilecek  $60\pi(30)^2\text{cm}^3$  boyutlarında silindir şeklinde ve paslanmaz çelikten özel olarak imal edilmiştir.

Vakum odasının içerisinde, deneyin gerçekleştirildiği Şekil 3.5.'te şematik olarak gösterilen düzenek yer alır. Deneysel düzenek, bir Wehnelt silindiri ile çevrili bir tungsten filament ile genellikle buharlaştırılacak katı malzemeyi içeren anot potası ve topraklanmış bir katottan oluşur.



Şekil 3.5. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Surdu-Bob C., 2007).

Deneysel sırasında anot potası olarak, plazması oluşturulacak elementler ile potanın etkileşimini engellemek amacıyla, erime sıcaklığı 3422 °C olan tungsten (wolfram) elementinden yapılmış pota kullanılmıştır.

TVA'nın temel prensibi, ilgili materyalin buharındaki bir ark plazmasının tutuşmasıdır.

Yöntemin orijinalliyi, metal buhar plazmasının tutuşması için sisteme verilen enerjinin bir elektron tabancası ve bir yüksek voltaj kaynağı tarafından aynı anda temin edilmesidir. Metal buharlarının oluşturulması, anot malzemesinin, filament tarafından yayılan ve elektrotlar arasında hızlandırılan elektronlarla elektron bombardımanı yoluyla elde edilir.

Flament tarafından yayılan elektronlar, bir Wehnelt silindiri ile anoda doğru yönlendirilir. Anot üzerine pozitif bir yüksek voltaj uygulandığında, elektronlar hızlandırılır ve anot malzemesinin ısıtılmasını sağlar. Daha sonra, ilk buharlar ortaya çıkar. Uygulanan voltajın daha da artması, anot malzemesinden daha fazla buhar üreten elektronları hızlandırır. İlk iyonlar ayrıca nötr olan hızlı elektron çarpışmalarının bir sonucu olarak da ortaya çıkar. Uygulanan voltajın belirli bir değerinde, anot malzemesinin buharında bir ark plazmasının tutuşması elde edilir.

TVA plazması lokalizedir, odayı doldurmaz. Çekirdeklenme, plazmada oluşan hem iyonik hem de nötr türlerden elde edilir.

Plazmada oluşturulan iyonlar, plazma ve topraklanmış duvarlar arasındaki potansiyel fark nedeniyle oda duvarlarına doğru (ve daha sonra alt tabakaya doğru) hızlandırılır. Aynı zamanda, nötrler, oluşturuldukları yer ile vakumlanan odanın geri kalanı arasındaki basınç gradyanından dolayı plazmadan dağılırlar. Böylece, film hem iyonlar hem de nötrler tarafından oluşturulur.

İyonların altaşa taşınması çarpışma olmadan yapıldığından, iyon enerjisi, plazma potansiyeli ile genellikle topraklanan altaş potansiyeli arasındaki potansiyel farkıyla verilir. İyon enerjisi, deney sırasındaki plazma parametreleri tarafından tamamen kontrol edilebildiğinden, TVA yöntemi önemli bir ince film teknolojisi olma potansiyeline sahiptir.

İnce filmlerin özellikleri, büyüme koşullarına bağlıdır. Bağımsız kontrol derecesi; yapı, özellikler ve biriktirme oranının kontrolünde daha fazla esneklik sağlar.

TVA tekniği ile Çizelge 3.1.'de verilen parametreler doğrultusunda  $MgF_2$  ince filmler elde edilmiştir. Elde edilen numunelere (filmlere) ilişkin analiz sonuçları 4. Bölümde yer almaktadır.

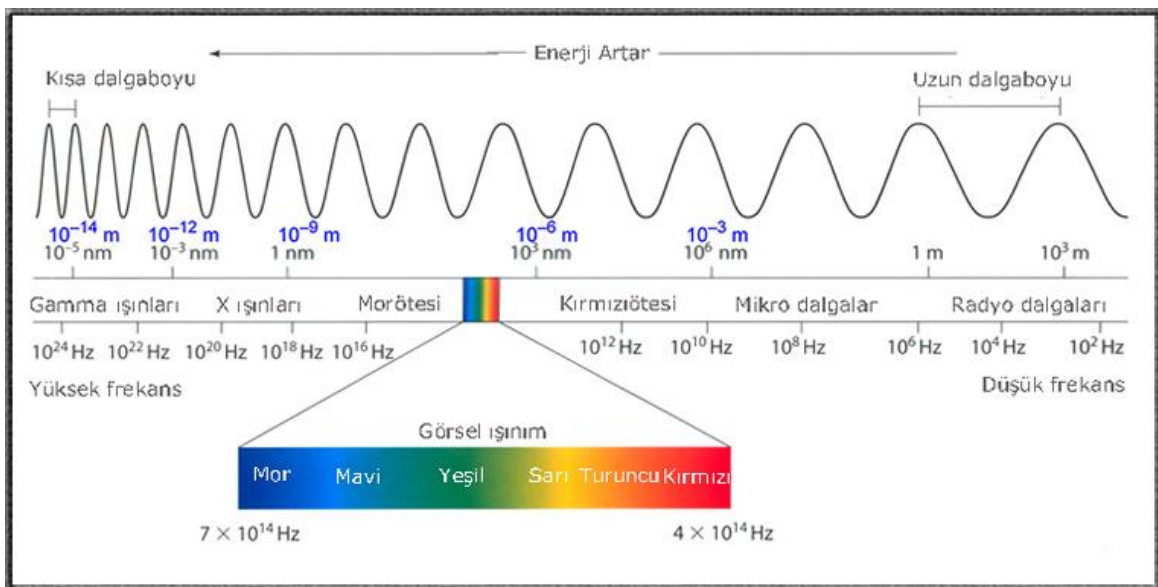
Çizelge 3.1. Deney parametreleri.

DENEY PARAMETRELERİ	
Flament Akımı	21,7 A
Flament Voltajı	20 V
Basınç	$4,65 \times 10^{-5}$ torr
Uygulanan Voltaj	700 V
Bombardıman Akımı	600 mA

### 3.3. Yapısal Analizler

#### 3.3.1. X-ışını kırınımı yöntemi

Atomların, üç boyutlu uzayda düzenli (kendini tekrar eden) bir şekilde dizilmesiyle oluşan yapıya kristal yapı denir. Bir kristalin iç yapısı görünür ışık kullanılarak incelenemez. Kristallerde iki komşu atom ya da bunların düzlemleri arasındaki ortalama uzaklığın genellikle 1-100 Å ( $1\text{Å}=10^{-10}\text{m}$ ) olduğu bilinmektedir. Oysa görünür ışığın dalga boyu yaklaşık olarak 4000-7000 Å arasında değişir. Bu nedenle kristallerin yapısını anlayabilmek için elektromanyetik spektrumun (Şekil 3.6.) bir kısmında yer alan dalga boyu yaklaşık olarak 0,02-100 Å arasında değişen x-ışınları kullanılmalıdır (Akat, 2012).

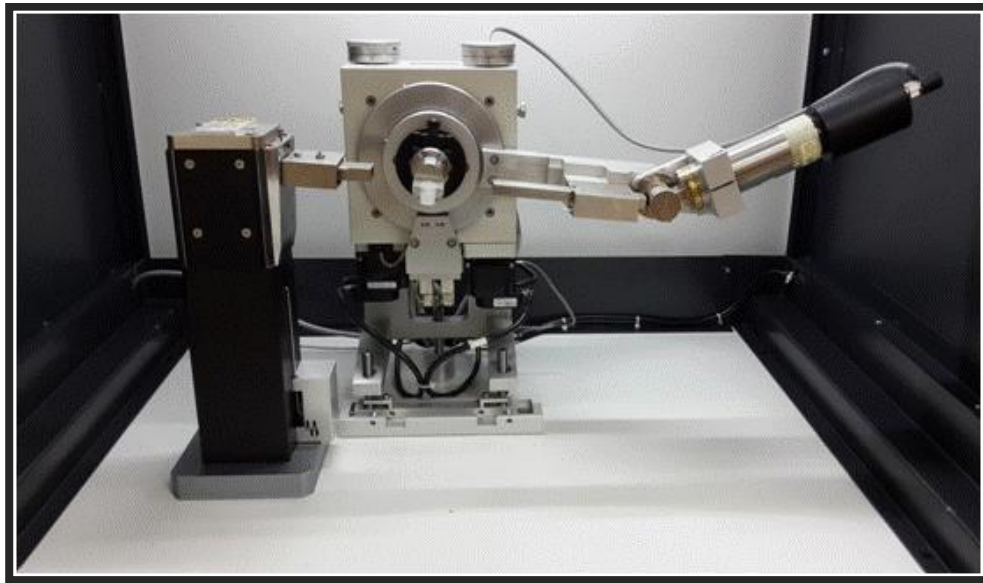


Şekil 3.6. Elektromanyetik spektrum (Mühendistan, 2012).

1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiş ve Max van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri x-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmiştir (Cullity, 1996). Röntgen ışınları olarak da bilinen x-ışınları, atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleriyle doğal ya da yapay bir şekilde kapalı bir tüp içinde katottan salınan elektronların hızlandırılıp anottaki metalin bombardıman edilmesiyle meydana gelirler. Yüksek enerjili elektronlar hedefteki metal içerisinde yüksek ivmeyle yavaşlamak zorunda kaldıklarından enerjilerini foton yayımlayarak dışa atarlar. Bu olay zincirleme bir şekilde devam eder ve bu fotonlardan x-ışınları meydana gelir. Üretilen x-ışınlarından karakteristik olanları seçilir ve bu karakteristik x-ışınları kullanılarak gerçekleştirilen XRD tekniği ile kristal yapıların analizleri yapılır.

XRD, ince filmlerin ve katmanlı yapıların yapısal karakterizasyonu (kristal kalitesi, kompozisyon oranı, tabaka kalınlığı, tabakadaki gerilmeler) için yaygın olarak kullanılmakta olan analiz yöntemlerinden biridir.

Elde edilen ince filmlerin analizlerinin yapıldığı Gnr Apd 200 Pro marka XRD cihazının fotoğraf görüntüsü Şekil 3.7.'de görülmektedir.

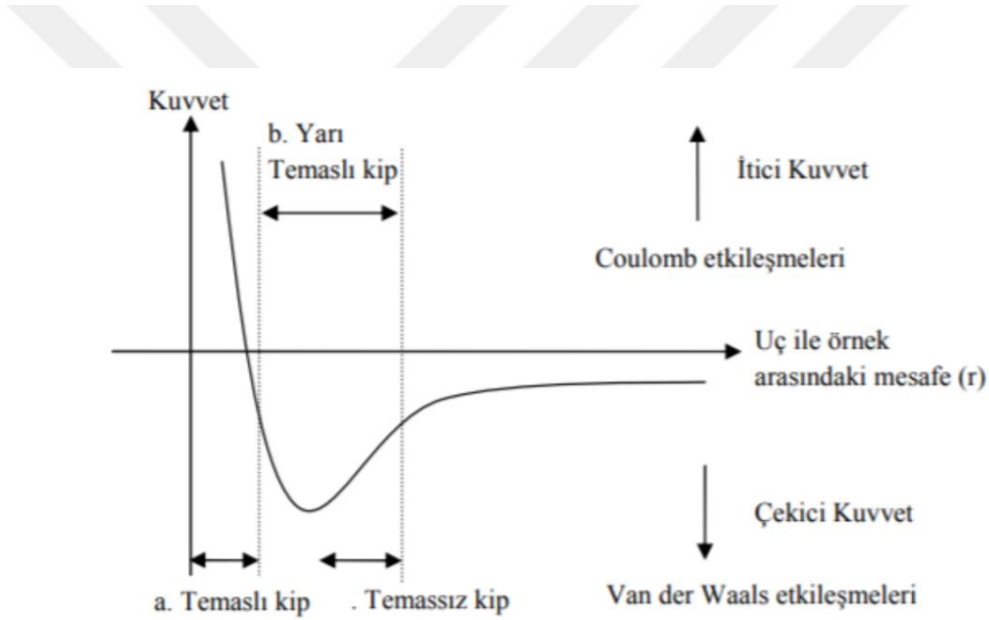


Şekil 3.7. XRD cihazının fotoğrafı (Dönmez, 2015; Cömert, 2015).

### 3.4. YüzeY Analizleri

#### 3.4.1. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

Binnig, Quate ve Gerber tarafından 1986 yılında üretilen Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Mikroskobe-AFM) yüzeY topografisini angstrom seviyesinden 100-150 mikrona kadar ölçebilen bir tekniktir (Binnig, G., 1986). Sistemde, örnek yüzeYi tarayan esnek bir kola monte edilmiş çok ince bir iğne kullanılmaktadır. Atomik sivrilikteki bu uç ile numune yüzeYi taranır. İncelenecek örnek ile iğne arasında meydana gelen itici ve çekici kuvvetlerin izlenmesi yardımıyla, örneğin yüzeY görüntüsü (topografisi) elde edilmektedir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Kuvvet (F)–mesafe (r) grafiği (Yavuz, 2010).

Elde edilen görüntü üç farklı mod kullanılarak alınır. Bu modlar; temassız, temassız ve titreşim modlarıdır. Temassız modda, iğne ile örnek birbirine temas ederek ölçüm alınmaktadır. Temassız modda, iğne ile örnek arasında Van Der Waals kuvvetleri ve bu kuvvetlerin değişimleri izlenerek, titreşim modunda ise iğne örnek üzerinde titreşim hareketi yaparken aralarındaki kuvvetler ölçülerek işlem yapılmaktadır (Çaycı, 2010).



AFM analizlerinden elde ettiğimiz  $R_q$  (RMS) (yüzey pürüzlülüğünün karekök ortalama değeri) bize yüzey pürüzlülüğü hakkında bilgi vermektedir. Morfolojik sonuçlar; film yüzeyindeki partiküllerin şekline, boyutuna ve dağılımına göre farklılık gösterebilir.



Şekil 3.9. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) cihazının fotoğrafı.

Şekil 3.9.'da fotoğrafı verilen Atomik Kuvvet Mikroskobu (Nanomagnetics hpAFM), her çeşit katı malzeme için (seramik, metal, polimer, yarıiletken, biyomalzeme) çeşitli yüzey özelliklerini (sürtünme, yüzey morfoloji ve pürüzlülüğü, tribolojik özellikler, atomik seviyede yüzey kuvvetleri vb.) ve düşük boyutlu nano yapıların ve nano malzemelerin fizikokimyasal yüzey özelliklerinin elde edilmesinde kullanılır.

### 3.5. Optik Analizler

#### 3.5.1. UV-Vis spektroskopisi

Cihaz temel olarak monokromatik ışığı numune yüzeyine gönderen bir monokromatör çiftinden, ışının geçmesi amacıyla ayarlanabilir yarıklardan ve dedektörlerden oluşur. Işının numune üzerine gönderilmesinden sonra numune molekülleri, moleküldeki mümkün elektronik geçişlere uyan enerjiye sahip ışığa maruz kaldıklarında (yani uygun dalga boylarında ışık numune yüzeyine düşünce), ışık enerjisinin birazı numune tarafından absorblanır ve elektron çok daha yüksek enerjili yörüngelere yükseltgenir. Optik bir spektrometre absorpsiyonun oluştuğu dalga boylarını kaydeder ve absorpsiyon-dalga boyu grafiğini verir (Dönmez, 2015).

Elde edilen  $MgF_2$  ince filmlerin ultra-viyole (UV) ve görünür (Vis) bölgede geçirgenliğinin belirlenmesi ve optik özelliklerinin karakterizasyonu için Perkin Elmer Lambda 2 UV-Visible spektrometre cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı 200 nm ile 1100 nm dalga boyu arasındadır. Kullanılan cihaz Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. UV-Visible spektrometresinin fotoğrafı (Dönmez, 2015).

### 3.5.2 Fourier transform infrared spektrofotometresi (FTIR)

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi, IR ışınlarının, incelenen madde tarafından soğurulması esasına dayanır. Soğurulma, moleküldeki bağların titreşimi ve dönüşleri için gerekli miktarda dalga enerjisinin, cihaz tarafından gönderilmesiyle gerçekleşir. Kızılötesi ışımının enerjisi, moleküldeki bağları bozmaya yetmezken atomların kütlelerine, bağların gücüne ve molekül geometrisine bağlı olarak bağların titreşme genliklerini artırır. Kızılötesi bölgesinde kimyasal bağların titreşimindeki değişim ve absorpsiyon özellikleri spektral piklerin oluşmasını sağlar. Gazların spektrumlarında moleküllerin hem dönme hem de titreşim hareketleri söz konusu olduğundan gözlenen pikler birbirlerine çok yakındır. Sıvı ve katılarda ise dönme hareketleri sınırlı olduğundan geniş spektrum pikleri gözlenir (Çelik, 2005).

Bir IR spektrumu elde etmek için; numune üzerine IR ışını gönderilir. Numuneye iletilen ışığın belli bir enerjide ne kadarının soğurulduğuna bakılır. Soğurma spektrumunda bir sinyalin (bandın) elde edildiği enerji, numune molekülünün titreşim frekansını verir.

Fourier dönüşüm, bir sinyal fonksiyonunun zaman serileri şeklindeki gösteriminin, kullanılan algoritmalar ile frekans spektrumuna dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm, sinyal formundaki fiziksel bilginin matematiksel olarak analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır (Toyran, 2008).

Işın enerjisinin absorpsiyonu (soğurulması) ve emisyonuyla (yayılması) ilgili olayların açıklanmasında en önemli parametreler; frekans, dalga boyu ve enerjidir.

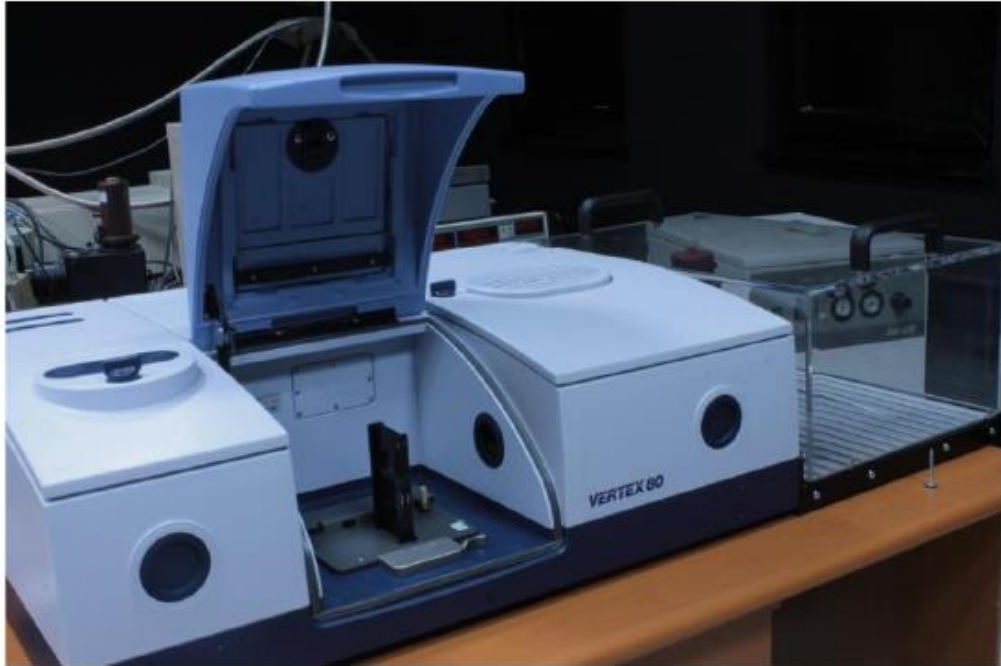
IR spektroskopisinde genellikle dalga sayısı skalası kullanılmaktadır. Dalga sayısı, santimetre cinsinden dalga boyunun tersi olup birimi  $\text{cm}^{-1}$ 'dir. Aslında soğurulan ışığın frekansı, soğurulma olayının gerçek sorumlusu olan molekülün titreşim frekansıdır. Yaygın olarak kullanılan dalga sayısı ( $\tilde{\nu}$ ), çoğunlukla frekans olarak ifade edilse de aslında dalga sayısı  $1/\lambda$ , frekans  $c/\lambda$  olduğundan bunlar farklı kavramlardır.

14.000-4  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki IR spektrumu; Çizelge 3.2.'de görüldüğü üzere; yakın, orta ve uzak kızılötesi olmak üzere 3 bölümde incelenir (Kılıç ve Karahan, 2010; Çırak, 2017).

Çizelge 3.2. IR (Kızılötesi) spektrum bölgeleri.

14000-4000 $\text{cm}^{-1}$	710 nm-2500 nm	0,71 $\mu\text{m}$ -2,5 $\mu\text{m}$	NIR (Yakın Kızılötesi Bölgesi)
4000-400 $\text{cm}^{-1}$	2500 nm-25000 nm	2,5 $\mu\text{m}$ -25 $\mu\text{m}$	MIR (Orta Kızılötesi Bölgesi)
400-4 $\text{cm}^{-1}$	25000 nm-2,5 m	25 $\mu\text{m}$ -2500 $\mu\text{m}$	FIR (Uzak Kızılötesi Bölgesi)

Çalışmada FTIR spektrumları, Şekil 3.11.'de fotoğrafı görülen Bruker Vertex 80 FTIR spektrometresinde, oda sıcaklığında, 7500-370  $\text{cm}^{-1}$  (spektral çözünürlük 4  $\text{cm}^{-1}$ , tarama sayısı 16) aralığında yani yakın infrared (NIR) bölgesinde kaydedilmiştir.



Şekil 3.11. FTIR spektrometresinin fotoğrafı (Başköse, 2016).

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada; cam (alttaş) üzerine TVA tekniği ile, kaplama cihazının kaplama parametreleri değiştirilerek ince filmler halinde elde edilen 4 farklı kalınlıktaki magnezyum florür ( $MgF_2$ ) numune; XRD, AFM, UV-Vis ve FTIR ile analiz edilmiş, fiziksel özellikleri incelenmiştir.

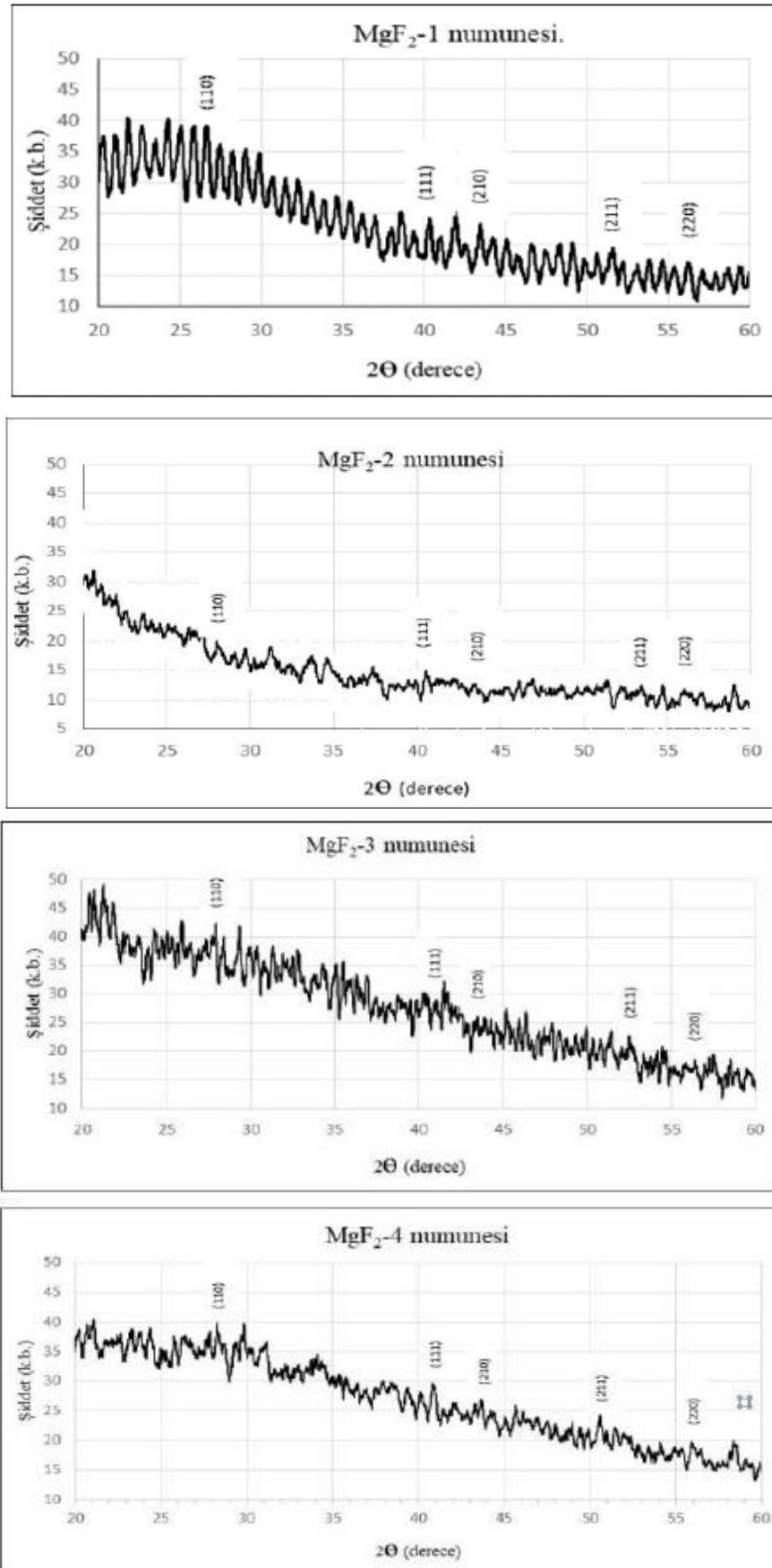
### 4.1. XRD Spektrum Analiz Sonuçları

#### 4.1.1. Tavlanmamış $MgF_2$ numunelerine ait XRD desenleri

X ışınları difraktometresi, numunelerdeki kristal yapıdaki fazları belirlemek için kullanılır. Her kristal yapılı malzeme, X ışını kaynağı tarafından radyasyona maruz bırakıldığında, kendine özgü farklı bir X ışını difraksiyon yapısı oluşturur. Oluşan bu yapı, literatürdeki yapılarla karşılaştırılarak numunenin kristal yapısı tanımlanır (Özkan, 2006).

Şekil 4.1.'de tavlanmamış, dört farklı kalınlıkta elde edilen  $MgF_2$  numunesi için XRD desenleri verilmiştir. Filmetrics F20 marka interferometre ile ölçülen kalınlık değerleri sırasıyla;  $d_1=150$  nm,  $d_2=110$  nm,  $d_3=120$  nm ve  $d_4=130$  nm'dir. Çalışma sonucunda elde edilen  $MgF_2$  numunelerine ait pik değerleri, Şekil 4.1.'de verilen XRD desenleri üzerinde işaretlenmiştir.

Şekil 4.1.'de görülen XRD desenlerinden;  $2\theta=27,28^\circ$ ;  $40,48^\circ$ ;  $43,78^\circ$ ;  $53,58^\circ$  ve  $56,28^\circ$ 'ye karşılık gelen sırasıyla (110), (111), (210), (211), (220) kristal düzlemlerine ait pikler görülmektedir. Bu pikler  $MgF_2$  ince filmlerin alt taş üzerine mükemmel bir şekilde rutil-tetragonal yapıda kademeli olarak meydana geldiğini göstermektedir (Quesnela E. 2000, Hua vd., 2007, Waqar A.A., 2017).

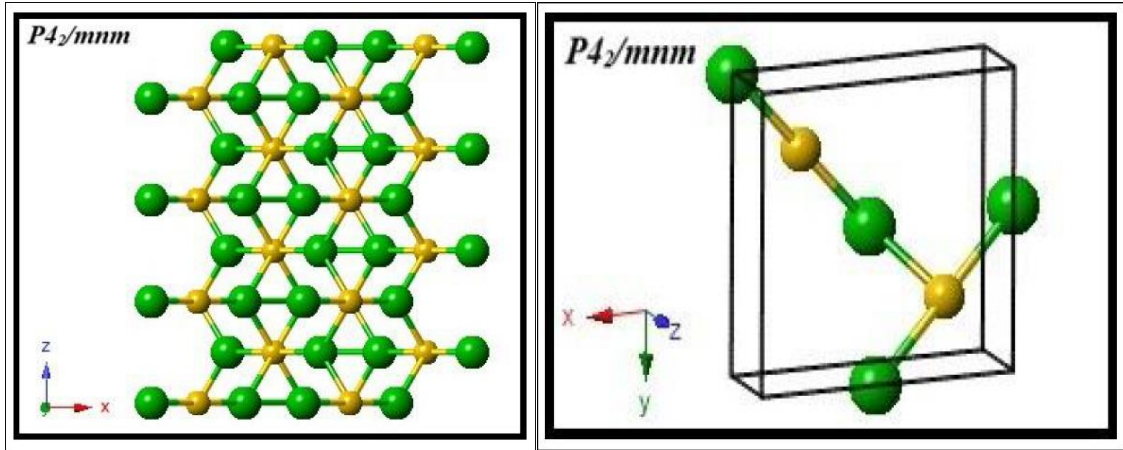


Şekil 4.1. Tavlınmamış MgF<sub>2</sub> numunelerinin XRD desenleri.

Çizelge 4.1. Üç boyutta uzay grupları (Kürkçü, 2014).

#	Kristal Sistem	Nokta grubu		Uzay grupları (uluslararası kısa sembolü)
		Intl	Schönflies	
1	Triclinic (2)	1	C <sub>1</sub>	P1
2		1	C <sub>i</sub>	P1
3-5	Monoclinic (13)	2	C <sub>2</sub>	P2, P2 <sub>1</sub> , C2
6-9		m	C <sub>s</sub>	Pm, Pc, Cm, Cc
10-15		2/m	C <sub>2h</sub>	P2/m, P2 <sub>1</sub> /m, C2/m, P2/c, P2 <sub>1</sub> /c, C2/c
16-24	Orthorhombic (59)	222	D <sub>2</sub>	P222, P222 <sub>1</sub> , P2 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> 2, P2 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> , C222 <sub>1</sub> , C222, F222, I222, I2 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub>
25-46		mm2	C <sub>2v</sub>	Pmm2, Pmc2 <sub>1</sub> , Pcc2, Pma2, Pca2 <sub>1</sub> , Pnc2, Pmn2 <sub>1</sub> , Pba2, Pna2 <sub>1</sub> , Pnn2, Cmm2, Cmc2 <sub>1</sub> , Ccc2, Amm2, Aem2, Ama2, Aea2, Fmm2, Fdd2, Imm2, Iba2, Ima2
47-74		mmm	D <sub>2h</sub>	Pmmm, Pnnn, Pccm, Pban, Pmma, Pnna, Pmna, Pcca, Pbam, Pccn, Pbcm, Pnnm, Pmmn, Pbcn, Pbca, Pnma, Cmcm, Cmce, Cmmm, Cccm, Cmme, Ccce, Fmmm, Fddd, Immm, Ibam, Ibca, Imma
75-80	Tetragonal (68)	4	C <sub>4</sub>	P4, P4 <sub>1</sub> , P4 <sub>2</sub> , P4 <sub>3</sub> , I4, I4 <sub>1</sub>
81-82		4	S <sub>4</sub>	P4, I4
83-88		4/m	C <sub>4h</sub>	P4/m, P4 <sub>2</sub> /m, P4/n, P4 <sub>2</sub> /n, I4/m, I4 <sub>1</sub> /a
89-98		422	D <sub>4</sub>	P422, P42 <sub>1</sub> 2, P4 <sub>1</sub> 22, P4 <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> 2, P4 <sub>2</sub> 22, P4 <sub>2</sub> 2 <sub>1</sub> 2, P4 <sub>3</sub> 22, P4 <sub>3</sub> 2 <sub>1</sub> 2, I422, I4 <sub>1</sub> 22
99-110		4mm	C <sub>4v</sub>	P4mm, P4bm, P4 <sub>2</sub> cm, P4 <sub>2</sub> nm, P4cc, P4nc, P4 <sub>2</sub> mc, P4 <sub>2</sub> bc, I4mm, I4cm, I4 <sub>1</sub> md, I4 <sub>1</sub> cd
111-122		42m	D <sub>2d</sub>	P42m, P42c, P4 <sub>2</sub> 1m, P4 <sub>2</sub> 1c, P4m2, P4c2, P4b2, P4n2, I4m2, I4c2, I42m, I42d
123-142		4/mmm	D <sub>4h</sub>	P4/mmm, P4/mcc, P4/nbm, P4/nnc, P4/mbm, P4/mnc, P4/nmm, P4/ncc, P4 <sub>2</sub> /mmc, P4 <sub>2</sub> /mcm, P4 <sub>2</sub> /nbc, P4 <sub>2</sub> /nmm, P4 <sub>2</sub> /mbc, P4 <sub>2</sub> /mnm, P4 <sub>2</sub> /nmc, P4 <sub>2</sub> /ncm, I4/mmm, I4/mcm, I4 <sub>1</sub> /amd, I4 <sub>1</sub> /acd
143-146	Trigonal (25)	3	C <sub>3</sub>	P3, P3 <sub>1</sub> , P3 <sub>2</sub> , R3
147-148		3	S <sub>6</sub>	P3, R3
149-155		32	D <sub>3</sub>	P312, P321, P3 <sub>1</sub> 12, P3 <sub>1</sub> 21, P3 <sub>2</sub> 12, P3 <sub>2</sub> 21, R32
156-161		3m	C <sub>3v</sub>	P3m1, P31m, P3c1, P31c, R3m, R3c
162-167		3m	D <sub>3d</sub>	P31m, P31c, P3m1, P3c1, R3m, R3c,
168-173	Hexagonal (27)	6	C <sub>6</sub>	P6, P6 <sub>1</sub> , P6 <sub>5</sub> , P6 <sub>2</sub> , P6 <sub>4</sub> , P6 <sub>3</sub>
174		6	C <sub>3h</sub>	P6
175-176		6/m	C <sub>6h</sub>	P6/m, P6 <sub>3</sub> /m
177-182		622	D <sub>6</sub>	P622, P6 <sub>1</sub> 22, P6 <sub>5</sub> 22, P6 <sub>2</sub> 22, P6 <sub>4</sub> 22, P6 <sub>3</sub> 22
183-186		6mm	C <sub>6v</sub>	P6mm, P6cc, P6 <sub>3</sub> cm, P6 <sub>3</sub> mc
187-190		6m2	D <sub>3h</sub>	P6m2, P6c2, P62m, P62c
191-194		6/mmm	D <sub>6h</sub>	P6/mmm, P6/mcc, P6 <sub>3</sub> /mcm, P6 <sub>3</sub> /mmc
195-199	Cubic (36)	23	T	P23, F23, I23, P2 <sub>1</sub> 3, I2 <sub>1</sub> 3
200-206		m3	T <sub>h</sub>	Pm3, Pn3, Fm3, Fd3, Im3, Pa3, Ia3
207-214		432	O	P432, P4 <sub>2</sub> 32, F432, F4 <sub>1</sub> 32, I432, P4 <sub>3</sub> 32, P4 <sub>1</sub> 32, I4 <sub>1</sub> 32
215-220		43m	T <sub>d</sub>	P43m, F43m, I43m, P43n, F43c, I43d
221-230		m3m	O <sub>h</sub>	Pm3m, Pn3n, Pm3n, Pn3m, Fm3m, Fm3c, Fd3m, Fd3c, Im3m, Ia3d

MgF<sub>2</sub> kristali, Çizelge 4.1.'de verilen üç boyutlu uzay gruplarından  $P4_2/mnm$  uzay grubunda tertragonal rutil yapıya sahiptir (Quesnela E., 2000, Vassilyeva vd., 2010, Kürkcü, 2014, Lisitsyn V.M. vd., 2016). Söz konusu yapıda Şekil 4.2.'den görüldüğü üzere; Magnezyum atomu, 6 adet Flor atomu ile çevrelenmiştir ve Mg-F bağ uzunlukları 1,981Å-1,996 Å arasında olup, F-F bağ uzunlukları 2,549 Å'dur.

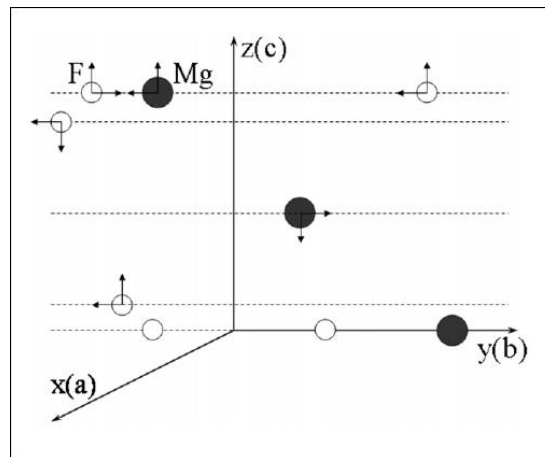


(a)

(b)

Şekil 4.2. (a) MgF<sub>2</sub> kristalinin uzay grubu  $P4_2/mnm$  olan rutil yapısı, (b) Rutil-tipi yapının tertragonal birim hücresi (Kürkcü, 2014).

Şekil 4.3.'te şematik olarak çizimi verilen (111) kristal düzlemine karşılık gelen tertragonal yapıda; MgF<sub>2</sub>'ün örgü sabitleri sırasıyla;  $a=4,620 \text{ \AA}$  ve  $b=3,050 \text{ \AA}$  (JCPDS 72-2231)'dir (Minhua vd., 2004, Li vd., 2013).



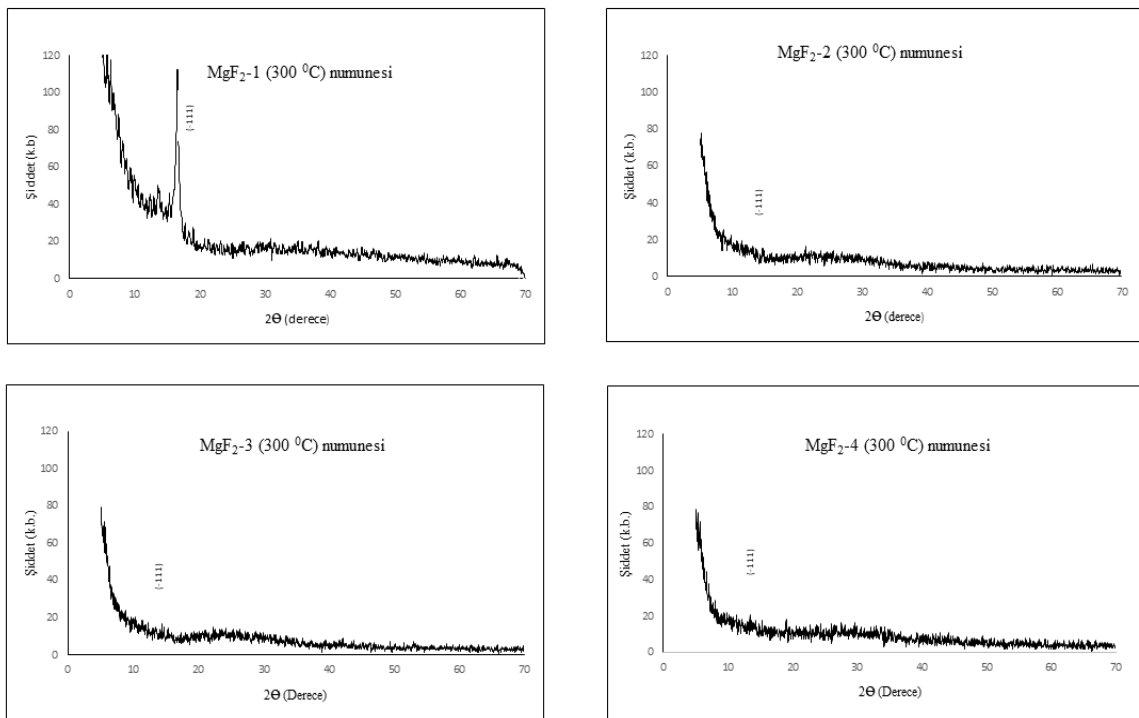
Şekil 4.3. Polar (111) yüzeyinin şematik olarak yandan görünüşü (Vassilyeva vd., 2011).



#### 4.1.2. Tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerine ait XRD desenleri

Tavlamanın cam alttaş üzerine kaplanan MgF<sub>2</sub> ince film numunelerinin üzerindeki sıcaklığa bağlı yapısal etkilerini gözlemlemek için camın ısıya dayanma gücü göz önünde bulundurularak, 2 saat süre ile atmosferik ortamda 300 °C’de gerçekleştirilmiştir.

300 °C’de tavlanan MgF<sub>2</sub> numunelerine ait pik değerleri, Şekil 4.4.’te verilen XRD desenleri üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 4.4. Tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerinin XRD desenleri.

Şekil 4.4.’ten görüldüğü üzere 300 °C’de tavllanmış MgF<sub>2</sub> numuneleri için (-111) kristal düzlemine karşılık gelen  $2\theta=16,5^\circ$  rutil yapıya ait pik değerleri dört adet farklı kalınlıktaki numune için verilen şekiller üzerinde işaretlenmiştir. Söz konusu pik değerleri literatür ile örtüşmektedir (Cunliang, 2016).

## 4.2. AFM Görüntüleri

### 4.2.1. Tavlanmamış ve 300 °C’de tavlanmış MgF<sub>2</sub> numunelerine ait AFM görüntüleri

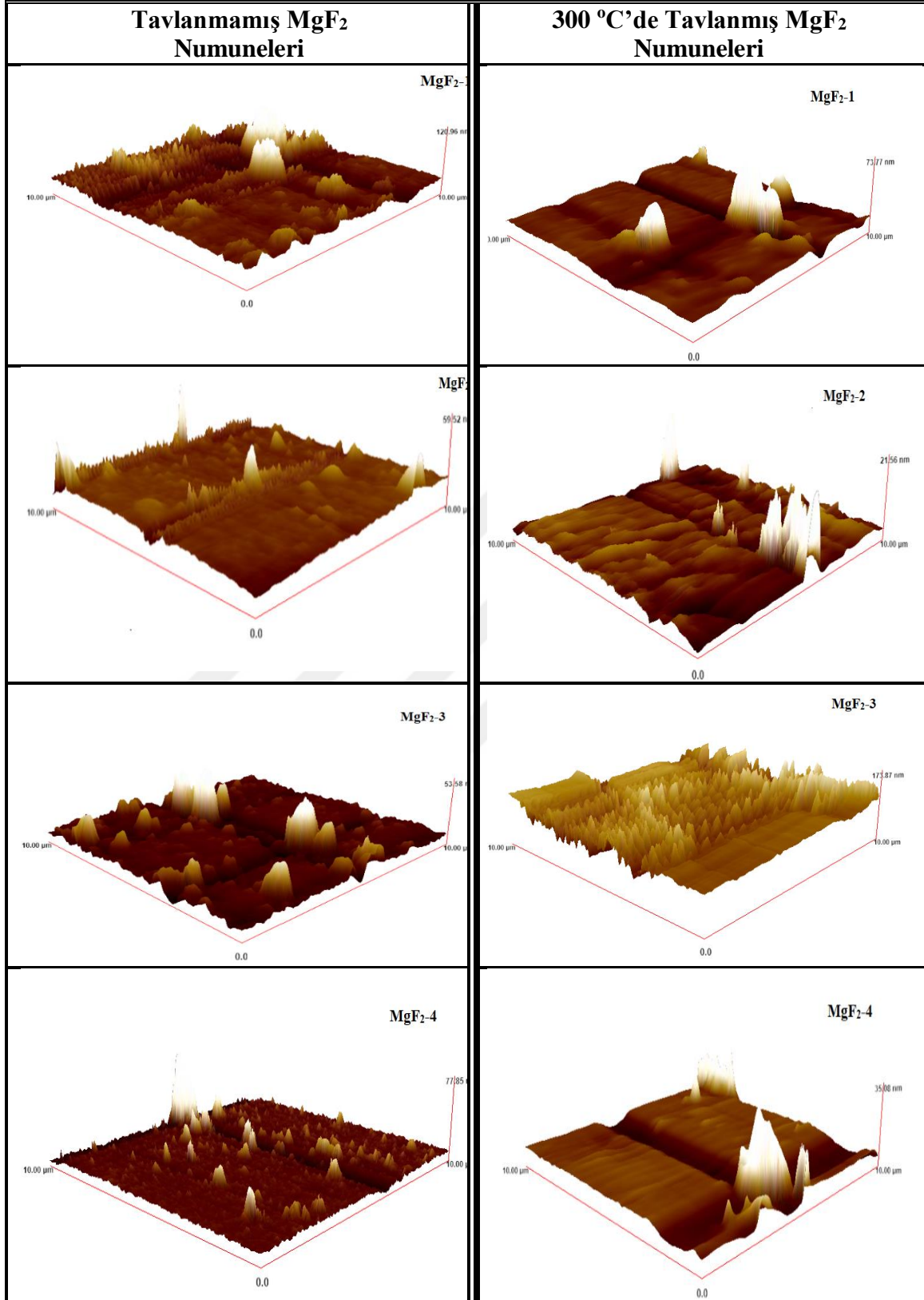
AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) kullanımı, yüzey özelliklerini direk olarak etkileyen mikro detayların (tane oluşumu, tane sınırı, farklı fazlar, hatalar, poroziteler vb.) 3 boyutlu olarak incelenmesine imkan sağlamaktadır. Katı malzemenin yüzey pürüzlülüğü veya yüzey topografyası, yüzeyin çevre ile karşılıklı etkileşim süreçlerini etkiler. Bunun gözlenebilmesi amacıyla, malzeme yüzeyinde çeşitli işlemler sonucu (kaplama, aşındırma vb.) yüzey üzerinde düzgün olmayan yapılar veya pikler ve çukurlar şeklinde yüzey pürüzlülükleri oluşturulabilir.

Ölçümler Nanomagnetics hpAFM sistemi ile 10x10 µm<sup>2</sup>’lik tarama alanında, dinamik mod kullanılarak oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük tayini; B.46.1-2002’de tanımlanan yüzey pürüzlülük parametrelerinden Rq (RMS) yüzey pürüzlülüğünün karekök ortalama değerleri, kullanılan Nanomagnetics hpAFM sistemi tarafından ölçüm sırasında otomatik olarak hesaplanmaktadır. Rq değeri ne kadar yüksekse yüzey o kadar pürüzlü demektir.

Sırasıyla; d<sub>1</sub>=150 nm, d<sub>2</sub>=110 nm, d<sub>3</sub>=120 nm ve d<sub>4</sub>=130 nm değerinde cam alttaş üzerine biriktirilerek elde edilen tavlanmamış ve 300 °C’de tavlanmış MgF<sub>2</sub> numuneleri için 3 boyutlu yandan görünüş AFM görüntüleri Şekil 4.5.’te, pürüzlülük parametre değerleri Çizelge 4.2.’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tavlanmamış ve tavlanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numuneleri için AFM pürüzlülük parametre değerleri.

PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ			
Tavlanmamış Numuneler	Aritmetik Karekök Ort. (Rq) Değeri	300 °C’de Tavlanmış Numuneler	Aritmetik Karekök Ort. (Rq) Değeri
MgF <sub>2</sub> -1	10,84 nm	MgF <sub>2</sub> -1	5,90 nm
MgF <sub>2</sub> -2	2,65 nm	MgF <sub>2</sub> -2	1,55 nm
MgF <sub>2</sub> -3	4,37 nm	MgF <sub>2</sub> -3	17,45 nm
MgF <sub>2</sub> -4	4,22 nm	MgF <sub>2</sub> -4	3,27 nm



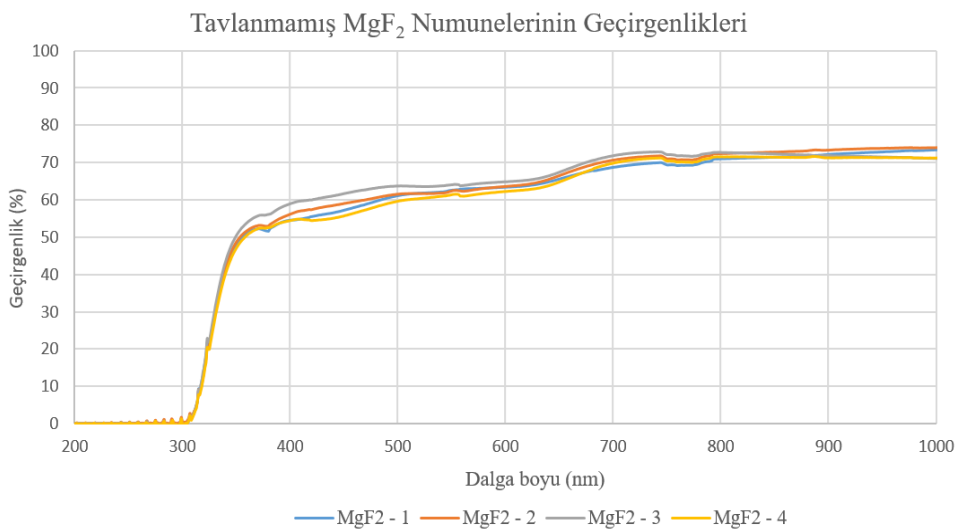
Şekil 4.5. Tavlanmamış ve 300 °C'de tavlanmış MgF<sub>2</sub> numunelerinin 3D (10x10 μm) yandan AFM görüntüleri.

Şekil 4.5.'te verilen tavlansız ve 300 °C'de tavlansız numunelere ait AFM görüntüleri karşılaştırıldığında; 300 °C'de tavlansız MgF<sub>2</sub>-3 numunesi hariç tüm numunelerin üzerinde tanelerin tam oluşmayıp yer yer kümeleşmelerin olduğu gözlenmektedir. Sadece MgF<sub>2</sub>-3 numunesinin 300 °C'de tavlansız durumunda cam yüzey (alttaş) üzerinde homojen bir şekilde MgF<sub>2</sub> tabakasının oluştuğu görülmektedir. Tavlansız numunenin ortalama pürüzlülük değeri 4,37 nm iken; 300 °C'de tavlansız numunenin ortalama pürüzlülük değeri 17,45 nm'dir. Yüzeyde yüksek yansıma varsa yüzeyin pürüzsüz olacağı düşünüldüğünden, 300 °C'de tavlansız numunenin yüksek pürüzlülük değeri filmin homojen bir şekilde oluştuğu sonucunu desteklemektedir. İnce filmlerin yüzey topografyasının tavlama işlemiyle değiştirilebildiği AFM sonuçlarından görülebilmektedir (Ye, 1999).

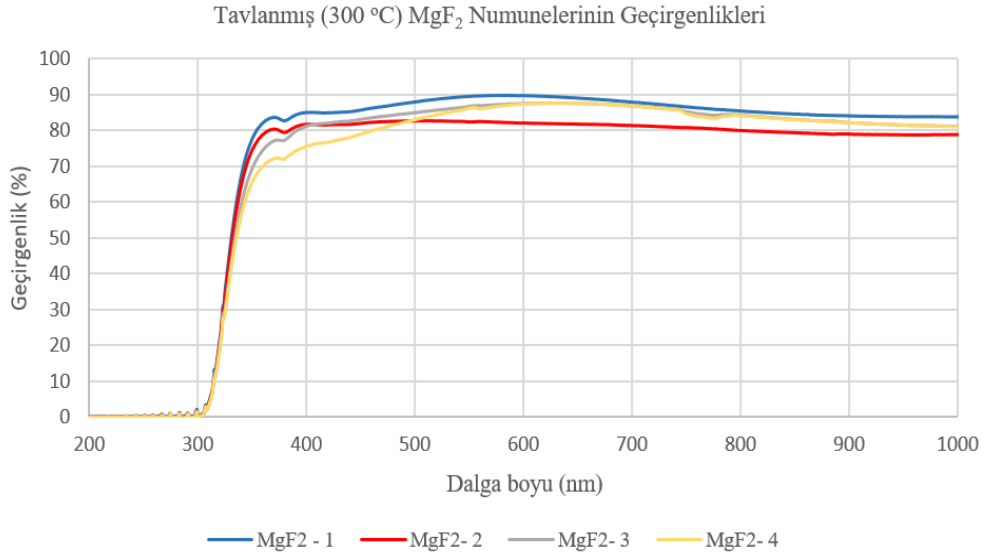
### 4.3. UV-Vis Spektrumları

#### 4.3.1. MgF<sub>2</sub> numunelerine ait geçirgenlik spektrumları

Şekil 4.6.'da verilen geçirgenlik spektrumundan; tavlansız MgF<sub>2</sub> numunelerinin UV bölgede yaklaşık 300 nm'ye kadar geçirgenliğe sahip olmayıp, 300 nm'den sonra, yani 400-700 nm dalga boyu aralığına sahip görünür bölgede (Vis) geçirgenlik artış göstererek %70'e ulaşmıştır.



Şekil 4.6. Cam üzerine kaplanan tavlansız MgF<sub>2</sub> numunelerinin UV-Vis geçirgenlik spektrumları.



Şekil 4.7. 300 °C’de tavlanan, cam üzerine kaplanmış MgF<sub>2</sub> numunelerinin UV-Vis geçirgenlik spektrumları.

Şekil 4.7.’de verilen geçirgenlik spektrumundan; tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerinin UV bölgede yaklaşık 300 nm’ye kadar geçirgenliğe sahip olmadığı, 300 nm’den sonra, yani 400-700 nm dalga boyu aralığına sahip görünür bölgede geçirgenliğin artış gösterdiği ve %90 olduğu görülmektedir. Aykut (2019), yapmış olduğu çalışmada gözlük camı üzerine RF Saçırma Yöntemiyle elde etmiş olduğu MgF<sub>2</sub> kaplaması için geçirgenliği %91 olarak bulmuş, MgF<sub>2</sub> ile kaplanan camların yüzey yansımalarını azalttığı sonucuna varmıştır.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7.’de verilen UV-Vis spektrumları karşılaştırıldığında; 400-700 nm dalga boyu aralığına sahip görünür bölgede (Vis) tavlannamış numunelerin geçirgenliğinin %70 geçirgenliğe sahip iken, 300 °C’de tavllanmış MgF<sub>2</sub> numunelerinin geçirgenliğinin %90 olduğu görülmektedir. Bu da numunelerin tavlama sıcaklığına bağlı olarak elektronların valans bandından iletkenlik bandına uyarılmasından dolayı geçirgenliklerinin artırılabilmiş olduğunu göstermektedir (Tan, 2017).

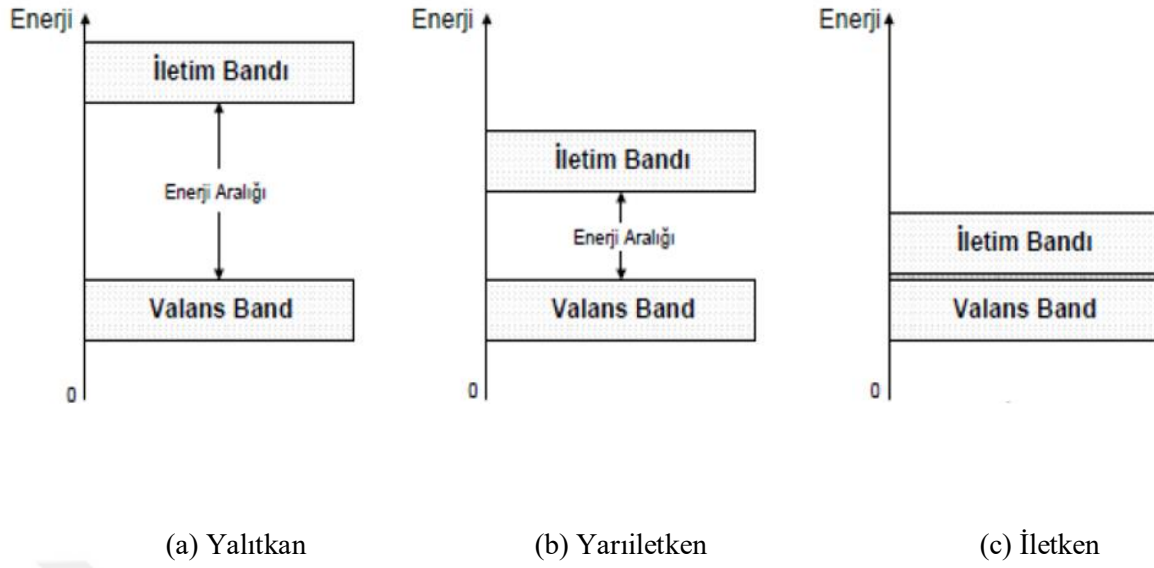
#### 4.4. Bant Yapısı ve Optik Geçirgenlik

Bir maddenin ışığı ne zaman geçirmeyip ya da ne zaman saydam davranarak üzerine düşen ışığın ne kadarını geçirdiği temel fizik sorusu, bu tezde ince film kaplama malzemesi olarak kullanılan  $MgF_2$  özelinde cevaplanmaya çalışılmaktadır.

Amaca göre belirlenen herhangi bir alttaş üzerine kaplanan malzemenin optik geçirgenlik miktarı, ince film üretme çalışmalarında önemli bir parametredir. Örneğin; silikon üzerine düşürülen ışığı geçirmez iken; elmasın ışığı neden geçirdiği ancak söz konusu maddelerin içerisindeki atomların üzerlerine düşen ışıkla, yani fotonlarla nasıl bir etkileşime girdiği ile açıklanabilir.

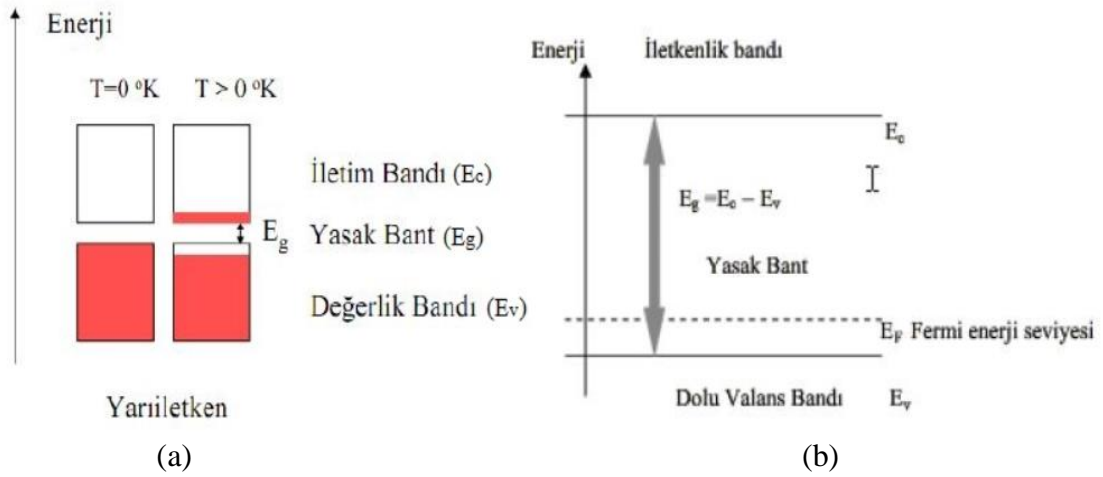
Bilindiği üzere; maddeler, elektrik iletkenliği bakımından, yalıtkan, iletken ve yarıiletkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Yalıtkan madde, elektrik yüklerinin madde içerisinde neredeyse hiç hareket edemediği, iletken madde ise içlerinde elektrik yüklerinin kolay hareket edebildiği maddelere denir. Yarıiletken maddeler ise normal şartlarda yalıtkan özelliğe sahip olup; ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında son yörüngelerindeki değerlikelektronlarını serbest hale geçirerek iletken hale gelirler. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kalktığında ise yine yalıtkan hale geri dönerler. Bu özellikleri onların elektronik alanında yoğun olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

Bant yapıları Şekil 4.8.'de görülmekte olduğu gibi; valans bandı tamamen dolu ve iletim bandı tamamen boş olan katılara "yalıtkan", valans bandının yarı dolu olduğu katılara "metal", valans ve iletim bantları arasındaki yasak enerji aralığı yalıtkanlarda olduğu kadar geniş olmayan katılara da "yarıiletken" adı verilir (Aksoy, 2011).



Şekil 4.8. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken malzemelerin bant yapısı (Cömert, 2015).

Yarıiletkenler, serbest yük taşıyıcılarının (elektron ve boşluklar) rahatlıkla hareket edebilecekleri geniş bantlara ve bu bantlar arasında farklı yasak enerji bant aralıklarına ( $E_g$ ) sahiptirler. Yarıiletkenlere ait elektronik ve enerji bant yapıları Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. (a) Yarıiletkenin elektronik bant yapısı, (b) Yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Aksoy, 2011).

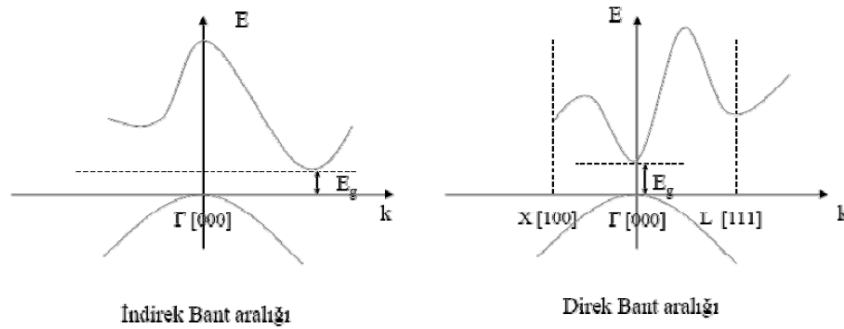
Herhangi bir atom üzerine foton (ışık) gönderildiğinde, o atomdaki bir elektron bu fotonu soğurarak bulunduğu yörüngeden enerjisi daha yüksek olan başka bir yörüngeye uyarılabilir. Daha sonra yaklaşık saniyenin milyarda biri kadar bir süre bu yörüngede kalan foton geriye, eski yörüngesine dönerken soğurmuş olduğu bu fotonu salar. Ancak, bunun için gerekli koşul gelen fotonun enerjisinin arada geçiş yapılan iki yörüngenin enerji düzeyleri arasındaki farka eşit olmasıdır. Bu fark; Denklem (4.1)'den hesaplanır.

$$E = E_c - E_v = hv = \hbar\omega \quad (4.1)$$

burada;  $E_c$ , iletim bandı enerjisini,  $E_v$  elektronlarla dolu valans bandı enerjisini,  $E_g$  yasak enerji band aralığını,  $\nu$  gelen uşığın frekansını,  $\omega (=2\pi f)$  açısal frekansı,  $\hbar (=h/2\pi)$  indirgenmiş Planck sabitini temsil etmektedir.

Eğer gelen fotonun enerjisi, içerisinde geçtiği o atomun enerji düzeyleri arasındaki farka eşitse atom o frekansı yutar, yani gelen ışık absorplanır dışarıya salınmaz. Böylelikle atomun elektronları o frekanstaki fotonları kullanarak üst yörüngelere uyarılmış olur.

Yarıiletkenler kendi aralarında, yasak enerji bant aralıkları ve değerlik bantlarıyla karakterize edilirler. Yarıiletkenlerdeki taşıyıcıların enerji-dalga vektörü grafiği (E-k) enerji bantlarının şekline göre yorumlanır. Değerlik bantlarının maksimum noktası ile iletim bantlarının minimum noktası enerji-momentum uzayında üst üste çakışıyorsa ( $k=0$ ) yarıiletken malzeme direk bant aralığına, değerlik bantının maksimumu ile iletim bantının minimumu üst üste çakışmıyorsa ( $k \neq 0$ ), indirek bant aralığına sahiptir denir. Direk ve indirek bant geçişleri Şekil 4.10.'daki gibidir.



Şekil 4.10. Yarıiletkenlerde direk ve indirek bant geçişleri (Karatay, 2011).



Direkt bant geçişinde değerlik bandında bulunan bir elektron, yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya bu değerden daha büyük olan bir fotonu ( $h\nu \geq E_g$ ) soğurarak iletkenlik bandına geçer. Bu geçiş sonrasında değerlik bandında bir boşluk meydana gelir. Geçiş sırasında elektronlar dalga vektörlerini değiştirmezler ( $k=0$ ), dolayısıyla momentum ve enerji korunmaktadır.

İndirek bant geçişlerinde iletim bandının minimumu ile değerlik bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı  $k$  değerine sahip olmadığından ( $k \neq 0$ ), elektron, değerlik bandının üst sınırından iletim bandının alt sınırına doğrudan geçiş yapamaz. Değerlik bandından iletim bandına bir elektronun momentumunu koruyarak geçiş yapabilmesi için bir fotonun soğurulması ve ardından da bir fononun salınması veya saçılması gerekir. Foton, elektronun iletim bandına geçebilmesi için yarıiletkenin yasak enerji aralığı değeri kadar ya da bu değerden daha büyük olan gerekli enerjiyi sağlarken, fonon, bu geçişte momentumun korunumunu sağlar.

#### 4.5. Yasak Enerji Değerinin Hesaplanması

Bilindiği üzere optik yasak enerji bandı aralığı ince filmlerin soğurma spektrumları ile ilişkilidir ve yasak enerji bant aralığı ( $E_g$ ) soğurma spektrumundan elde edilebilir.

Beer Lambert yasasından; UV-Vis spektrometre ile ölçülen optik geçirgenlik ( $T$ ) spektrumundan,  $d$  kalınlıklı bir ince film malzemenin optik soğurma katsayısı;

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln(T) \quad (4.2)$$

ile hesaplanır. Yarıiletkenlerde optik soğurma katsayısı ile yasak bant enerjisi ( $E_g$ ) arasında;

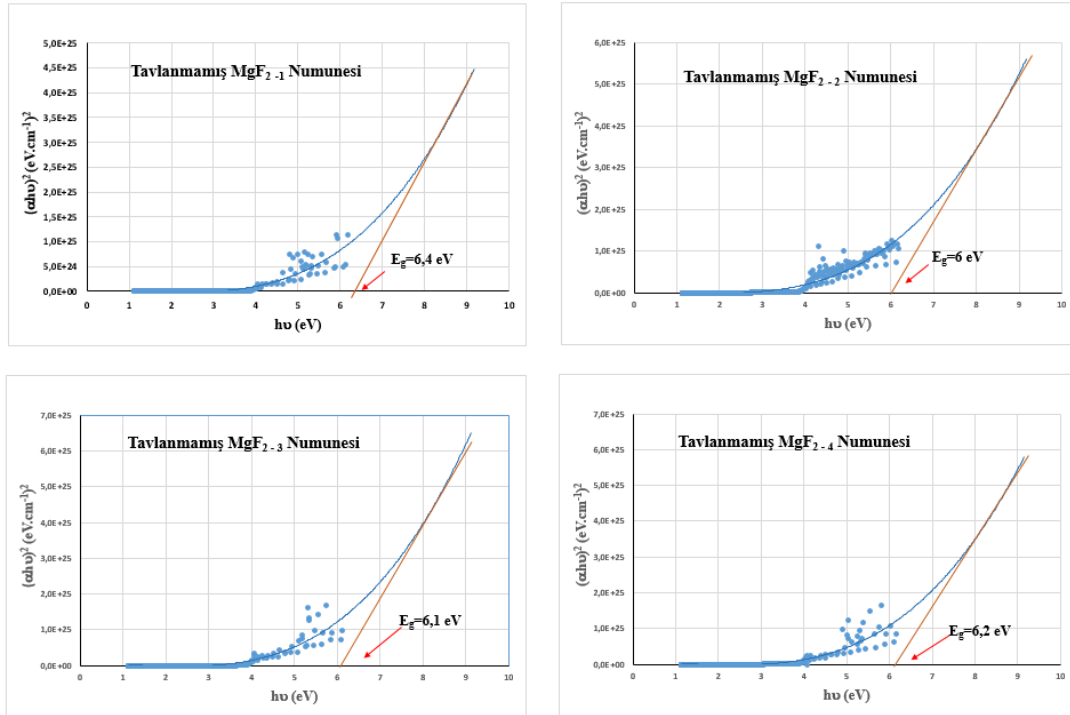
$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (4.3)$$

ilişkisi vardır (Tüzemen, 2007, Mahida vd., 2017).

Denklem (4.3)'te A bir sabit olmak üzere,  $\alpha$  soğurma katsayısı,  $h\nu$  uygulanan dalga boyundaki gelen fotonun enerjisini,  $E_g$  yasak enerji bant aralığını ve  $n$  ise  $1/2, 2, 3/2, 3$  gibi değerler alarak, direk veya indirek yasak enerji bant aralığını belirler.  $MgF_2$  direk bant aralığına sahip olduğundan hesaplamalardaki  $n$  izinli direk geçişler için  $1/2$  olarak alınmıştır (Mahida vd., 2017, Alsat, 2019).

Yasak enerji aralığının belirlenmesi için, Denklem (4.3) kullanılarak,  $\alpha h\nu$ 'ye karşılık gelen  $(\alpha h\nu)^2$  grafiği çizilir. Grafikte x-ekseni  $\alpha h\nu$ , y-ekseni  $(\alpha h\nu)^2$  olup, soğurma kenarına bitişik bir çizgi çekilerek, x-eksenine indirilir. Bu çizginin indigi noktada, x-eksenini kestiği noktanın enerji değeri, o malzemenin yasak enerji aralığını belirlemektedir (Aksoy, 2011).

Yasak enerji bant değerlerini belirleyebilmek için elde edilen  $MgF_2$  numunelerine ait Filmetrics F20 marka interferometre ile ölçülen kalınlık değerleri; sırasıyla  $d_{MgF_2-1}=150$  nm,  $d_{MgF_2-2}=110$  nm,  $d_{MgF_2-3}=120$  nm ve  $d_{MgF_2-4}=130$  nm'dir. Tavlanmamış  $MgF_2$  numunelerine ait yasak enerji değerlerini gösteren grafik çizimleri Şekil 4.11.'de,  $E_g$  yasak enerji bant değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.11. Tavlanmamış  $MgF_2$  numunelerine ait  $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$  grafikleri.

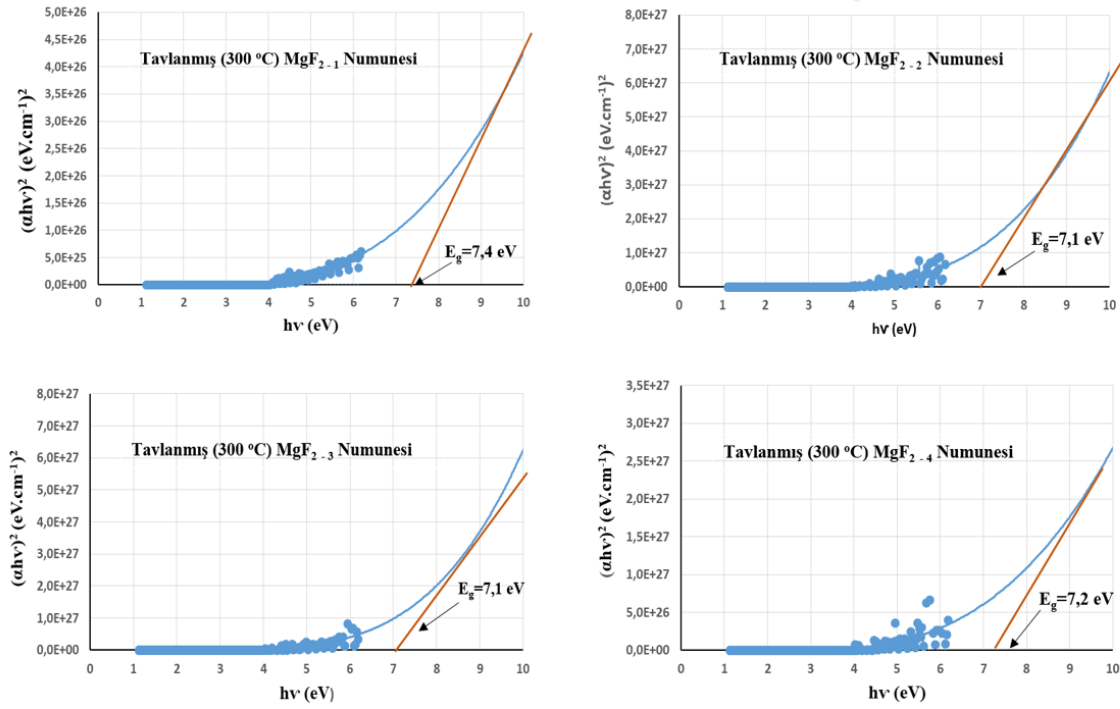
Farklı kalınlıklardaki numuneler için, Şekil 4.11.'de verilen  $(\alpha hv)^2 \sim hv$  grafiklerinin çizilebilmesi için; Denklem (4.2)'den hesaplanarak elde edilen soğurma katsayılarından; kalınlığı daha fazla olan filmler için hesaplanarak elde edilen soğurma katsayısının daha düşük değerler aldığı, dolayısıyla Denklem (4.3)'ten hesaplanarak elde edilen yasak enerji değerlerinin kalınlık arttıkça daha büyük değerler aldığı Çizelge 4.3.'te görülmektedir. (Yıldırım, 2013).

Çizelge 4.3. Tavlanmamış  $MgF_2$  numuneleri için yasak enerji bant ( $E_g$ ) değerleri.

<b>Tavlanmamış <math>MgF_2</math> Numuneleri</b>	<b>Yasak Enerji Bant Değerleri (<math>E_g</math>)</b>
$MgF_{2-1}$ ( $d_1=150$ nm)	6,4 eV
$MgF_{2-2}$ ( $d_2=110$ nm)	6 eV
$MgF_{2-3}$ ( $d_{31}=120$ nm)	6,1 eV
$MgF_{2-4}$ ( $d_4=130$ nm)	6,2 eV

Herhangi bir atomun değerlik bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için, bu iki bant arasındaki yasak bant aralığını geçmesi gerekir. Yarıiletkenlerde değerlik bandındaki elektronlar ısı, ışık, gerilim gibi uyarılmalarla iletkenlik bandına geçmektedirler (Caferov, 1998).

Tavlanmış  $MgF_2$  numunelerine ait yasak enerji değerlerini gösteren grafik çizimleri Şekil 4.12.'de,  $E_g$  yasak enerji bant değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Tavlanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerine ait  $(\alpha hv)^2 \sim hv$  grafikleri.

Yarıiletkenlerin yasak bant aralığı sıcaklık arttıkça artar. Bunun nedeni kristaldeki atomların ısıl titreşim genliğinin ve atomlar arası uzaklığın sıcaklıkla artmasıdır (Cömert, 2015). Tavlama sıcaklığının yasak bant aralığına artış yönündeki etkisi Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.'te verilen yasak enerji bant ( $E_g$ ) değerlerinden görülmektedir.

Çizelge 4.4. Tavlanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numuneleri için yasak enerji bant ( $E_g$ ) değerleri.

Tavlanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> Numuneleri	Yasak Enerji Bant Değerleri ( $E_g$ )
MgF <sub>2-1</sub> ( $d_1=150$ nm)	7,4 eV
MgF <sub>2-2</sub> ( $d_2=110$ nm)	7,1 eV
MgF <sub>2-3</sub> ( $d_3=120$ nm)	7,1 eV
MgF <sub>2-4</sub> ( $d_4=130$ nm)	7,2 eV

Çizelge 4.4.'ten 300 °C'de tavlanmış MgF<sub>2</sub> numuneleri için de Denklem (4.3)'ten hesaplanarak elde edilen yasak enerji değerlerinin de kalınlık arttıkça daha büyük değerler aldığı gözlenmektedir (Yıldırım, 2013).

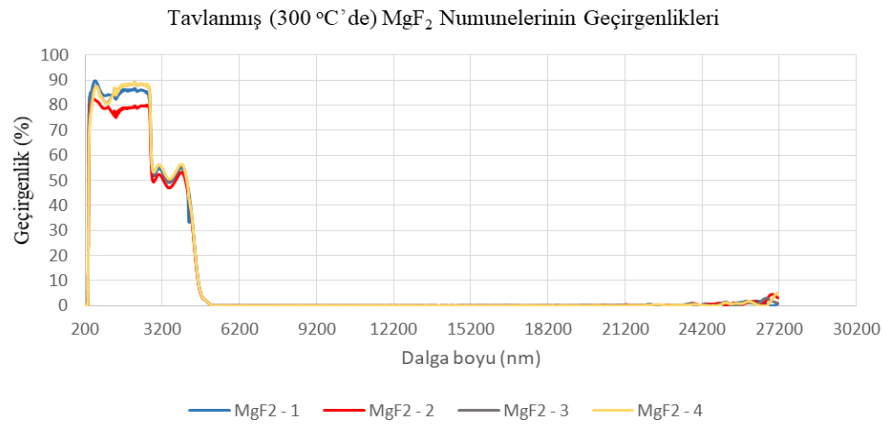
Çizelge 4.5.'te tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numuneleri için 550 nm'de Filmetrics F20 marka interferometre ile ölçülen kalınlık, kırılma indisi ve yasak enerji değerleri verilmiştir. Film kalınlığının artmasıyla kırılma indisinin hafifçe azaldığı Çizelge 4.5.'te görülmektedir (Li-ping, 2013).

Çizelge 4.5. Tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numuneleri için 550 nm'de ölçülen kalınlık, kırılma indisi ve yasak enerji değerleri.

Tavllanmış (300 °C) MgF <sub>2</sub> Numuneleri				
	MgF <sub>2</sub> -1	MgF <sub>2</sub> -2	MgF <sub>2</sub> -3	MgF <sub>2</sub> -4
Kalınlık Değeri (d)	150 nm	110 nm	120 nm	130 nm
Kırılma İndisi (n)	1,12	1,47	1,30	1,12
Yasak Enerji Değeri (E <sub>g</sub> )	7,4 eV	7,1 eV	7,1 eV	7,2 eV

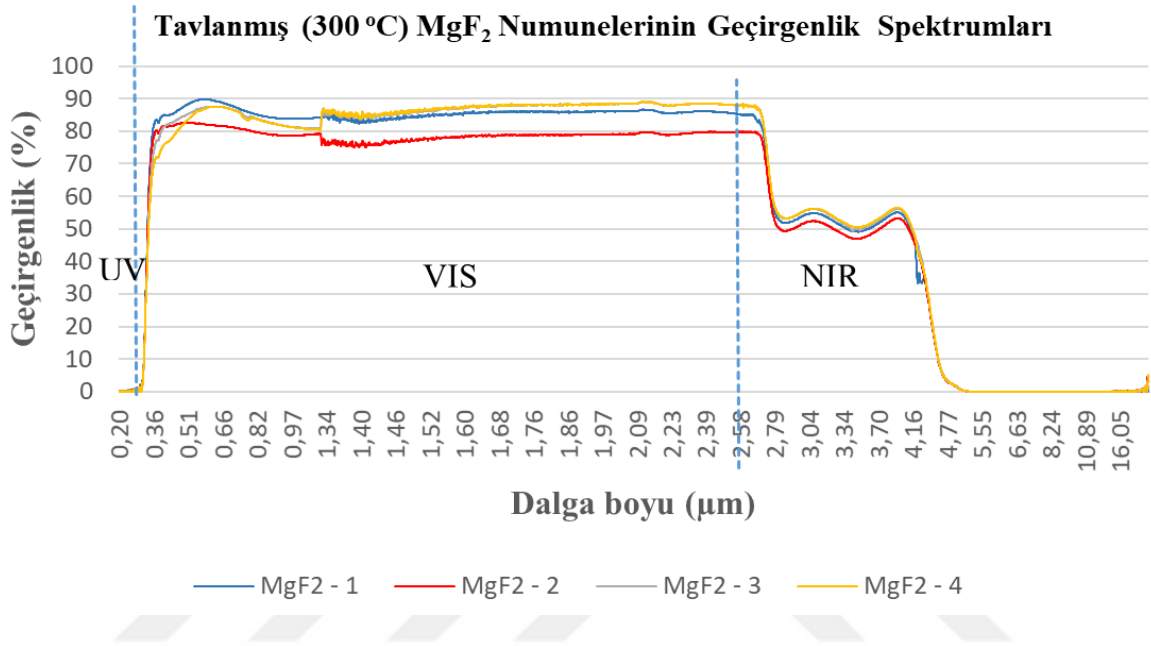
#### 4.6. FTIR Spektrum Analiz Sonuçları

Şekil 4.13.'ten, elde edilen MgF<sub>2</sub> numuneleri için, UV bölgede yaklaşık 300 nm'ye kadar geçirgenliğe sahip değilken, 400 nm-710 nm (0,4 µm-0,71 µm) dalga boyu aralığına sahip görünür (Vis) bölgede geçirgenlik %90 civarındadır. Geçirgenlik, 710 nm-2500 nm (0,7 µm-2,5 µm) dalga boyu aralığına sahip yakın kızılötesi (NIR) bölgede %50'ye düşerken, 2500 nm-25000 nm (2,5 µm-25 µm) dalga boyu aralığına sahip orta kızılötesi (MIR) bölgede giderek azalmaktadır. 25000 nm-2,5 m (25 µm-2500 µm) uzak kızılötesi (FIR) bölgede ise soğurma etkisinin maksimum değerlere ulaşarak geçirgenliğin sıfıra yaklaştığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 3.2.) (Anonim, 2020).

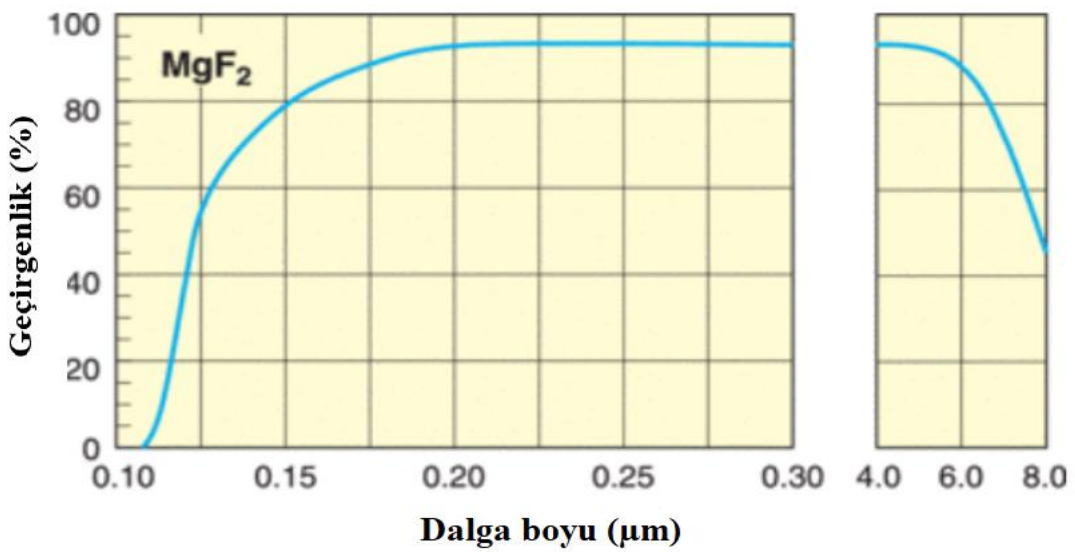


Şekil 4.13. Tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerinin geçirgenlik spektrumları.

Şekil 4.13.'te verilen tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerinin geçirgenlik spektrumları, dalga boyu değerleri mikro metre (µm) birimi kullanılarak çizildiğinde (Şekil 4.14.); endüstriyel alanda kullanılan, Şekil 4.15.'te verilen spektruma benzer bir spektrumun elde edildiği görülmektedir (Anonim, 2020).



Şekil 4.14. Tavllanmış (300 °C) MgF<sub>2</sub> numunelerinin endüstriyel alandaki kullanımına uygun olarak çizilen geçirgenlik spektrumları.



Şekil 4.15. MgF<sub>2</sub> ince film kaplamalarının endüstriyel alandaki kullanımına ait geçirgenlik spektrumu (Anonim, 2020).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; görünür (UV) ve kızılötesi bölge için yansımaya önleyici (AR) yarıiletken ince film geliştirilmesi amaçlanmıştır.

AR ince film kaplamalar, cep telefonlarının ekranlarında, saatlerde, fotoğraf makinası lenslerinde, araba camlarında, dürbün ve görüş kameralarında, güneş pillerinde ve gözlük camları gibi daha birçok alanda kısacası, optik ve optoelektronikle ilgili hemen her alanda kullanılmaktadır.

Çizilme, aşınma, dökülme gibi mekanik sağlamlık ve neme dayanıklılık bakımından tek katmanlı yansıtma kaplama (AR) malzemesi olarak en uygun malzemenin  $MgF_2$  olduğu bilinmektedir (Holland, 1961). AR kaplamaların özelliği yansımanın minimum, ışığın geçirgenliğinin ise maksimum değerlere sahip olmasıdır. AR ince film kaplama malzemesi Denklem (1.2) ile verilen kırılma indisleri arasındaki ilişki koşulunu sağlayacak şekilde seçilir. Camın kırılma indis değeri  $n_s=1,52$  ve havanın kırılma indisi olarak da  $n_o=1$  olarak alındığında; minimum yansıtma ve maksimum geçirgenlik için kullanılacak malzemenin kırılma indisinin  $n_1 = \sqrt{n_o n_s} = \sqrt{1,52} = 1,23$  olması gerektiği sonucu çıkar. Bu nedenle gözlük camlarında ya da optik sistemlerin görüntü verimliliğini artırmak için 1,23 değerine en yakın kırılma indisine sahip  $MgF_2$  ( $n=1,38$ ) kaplamaları (ince filmleri) tercih edilir. Bu çalışmada kaplama malzemesi olarak  $MgF_2$ , düşük kırılma indisine sahip olmasından dolayı seçilmiştir.

Kırılma indisi bilinen bir ince filmin kalınlığı değiştirilerek istenilen dalga boylarında yansıtmasız kaplamalar yapmak mümkündür (Öncel, 2002). Bu çalışmada 110-120-130 ve 150 nm olmak üzere 4 farklı kalınlık değerine sahip ince filmler elde edilmiş, tavlama sıcaklığının  $MgF_2$  ince filmlerin optik özellikleri üzerine etkisini gözlemek amacıyla filmler ayrıca 300 °C’de tavlansmıştır.

İnce film büyütme tekniği olarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarındaki Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi kullanılmıştır. TVA yöntemi; metal, seramik, yarıiletken gibi hemen hemen her materyalin plazmasını üretebilen bir yöntemdir. TVA yöntemi, pek çok yeni teknolojik uygulamada kullanılmaktadır. TVA plazması kullanılarak elde edilen filmler çok yapışkan, kompakt, pürüzsüz ve saftır.

Elde edilen tavlınmamış ve 300 °C'de tavlınmış MgF<sub>2</sub> ince filmlerin fiziksel özelliklerinin incelenebilmesi amacıyla kullanılan XRD, AFM, UV-Vis ve FTIR analizlerinin tümü Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

AFM analizlerinin sonuçlarından 300 °C'de tavlınmış MgF<sub>2</sub>-3 numunesi hariç tüm numunelerin üzerinde tanelerin tam oluşmayıp yer yer kümeleşmelerin olduğunu, sadece MgF<sub>2</sub>-3 numunesinin 300 °C'de tavlınması durumunda cam yüzey (alttaş) üzerinde homojen bir şekilde MgF<sub>2</sub> filminin oluştuğu görülmektedir.

Yapılan XRD analizlerinin sonuçları ise, elde edilen MgF<sub>2</sub> ince filmlerin literatürle uyumlu aynı rutil yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Quesnela E., 2000, Vassilyeva vd., 2010, Kürkcü, 2014, Lisitsyn V.M. vd., 2016).

Çalışmada; tavlınmamış ve 300 °C'de tavlınarak elde edilen MgF<sub>2</sub> ince filmlerin, film kalınlıklarından hesaplanan, literatür ile uyumlu yasak enerji bant (E<sub>g</sub>) değerleri ve geniş bant aralığında (vakum ultraviyolede kızılötesine) %90 olarak elde edilen geçirgenliği nedeniyle AR kaplama olarak, optik pencereler ve fiber kılavuzlarında kullanılabileceğini göstermektedir (Mahida vd., 2017).

Şekil 4.14.'te verilen 300 °C'de tavlınmış MgF<sub>2</sub> numunelerine ait geçirgenlik spektrumlarından; elde edilen ince filmlerin, UV bölgede çok düşük (hemen hemen gelen ışığın tamamı soğurulmaktadır), görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bölgelerinde %90'a varan geçirgenliğe sahip iken, orta kızılötesi bölgede geçirgenliklerinin azaldığı, uzak kızılötesi bölge için ise geçirgenliklerinin sıfıra yaklaştığı görülmüştür (Bkz Şekil 4.14. ve 4.15.).



%90'a varan geçirgenlik değeri ile, elde edilen  $MgF_2$  ince filmlerin, endüstriyel alanda günümüz teknolojisindeki güneş pilleri, UV lazer uygulamaları, organik ışık yayan diyotlar ve  $3\mu m$ 'ye kadar termal filtrelerde kullanılabilir olacağı değerlendirilmektedir. (Dodge, 1984; Ristau vd., 2002; Macleod, 2001; Perales vd., 2007; Aydoğmuş, 2013, Kedawat vd., 2013).

Bu çalışmada alttaş olarak cam kullanılmış, tek katmanlı  $MgF_2$  ince filmler elde edilmiştir. İleriki çalışmalarda; farklı alttaşlar (silicon vb) kullanılarak aynı ya da farklı kalınlıklarda, tekil ya da çoklu katmana sahip, lazer uygulamalarına yönelik yapılacak tasarımlar ile  $MgF_2$  ince filmlerin lazer ışığına dayanıklılık özelliği araştırılabilir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alsatt E., 2019, CdS Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. 71 s.
- Akan T., Ekem N., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., Vladioiu R., Musa G., 2006, Boron Thin Film Deposition by Using Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, Materials Letters 61,p.23–26.
- Akat E., 2012, Katıhal Fiziği Temelleri, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Akbar E., Morteza M., Abbas Ali A.,2018, Influence of Physical Plasma Etching Treatment on Optical and Hydrophilic MgF<sub>2</sub> Thin Film, Optik, 161, p.1-7.
- Aksoy Ç., 2011, (In<sub>10</sub>Ga<sub>90</sub>)Se Yarıiletken Kristalinin ve Amorf İnce Filmlerinin Doğrusal Olmayan Optik Soğurma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 70 s.
- Anonim, 2020, Optik Malzemeler, <https://www.newport.com/n/optical-materials>, erişim tarihi: 27.08.2020.
- Anonim, 2020, Tokamak Nükleer Füzyon Reaktörü ITER'in Montajına Fransa'da başlandı, <https://www.haberler.com/tokamak-nukleer-fuzyon-reaktoru-iter-in-montajina-13465760-haberi/>, erişim tarihi: 05.09.2020.
- Aydoğmuş T., 2013, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Optik Filtre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü, 69 s.
- Aykut E., 2019, RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilmiş MgF<sub>2</sub> İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 53 s.
- Balbag M.Z., 2009, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyumborür İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. 72 s.
- Balbag M.Z., Pat S., Ozkan M., N.Ekem N., Musa G., 2010, Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technique for Magnesium Thin Film Deposition, Physica B 405, p.3276–3278.
- Başköse Ü.C., 2016, Yansıtıcı ve Yansıma Önleyici Optik İnce Film Malzemelerin Üretimi Analiz ve Test Süreçleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 99 s.
- Binnig, G., Quate, C.F., Gerber, C. (1986), Atomic Force Microscope. Physical Review Letters, 56, 930.
- Büyüyıldız H.Z., 2012, Kaplamalar ve Renkli Camlar, Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Karabük, Turk J. Ophthalmol DO I: 10.4274/tjo.42.52724, p.359-369.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Caferov T., 1998, Yarıiletken Fiziği-1, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul, 200 s.
- Cox J.T., Hass G., 1968, Antireflection Coatings for Optical and Infrared Optical Materials, Physics of Thin Films, vol2, Eds.:G. Hass, and R.E. Thun, Academic Press, New York, p. 441.
- Cömert B., 2015, TiO<sub>2</sub> İnce Film Gaz Sensörlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 47 s.
- Cuillty B.D., 1996, X ışınlarının Difraksiyonu, (Çev. A. Sümer), İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Cunliang Z., Laifa S., Hongshen L., Nie P., Xiaogang Z., 2016, Journal of Electroanalytical Chemistry Volume, 762, p. 1-6.
- Çaycı D., 2010, Porfirin Langmuir Blodgett (Lb) İnce Filmlerin Gaz Etkileşme ve Yüzey Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 83 s.
- Çelik Y., 2005, Kimyasal Yöntemle Büyütülen Çinko Oksit İnce Filmlerin Yapısal, Optiksel ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 49s.
- Çetin N.E., Korkmaz Ş., Elmas S., Ekem N., Pat S., Balbağ M.Z., Tarhan E., Temel S., Özmumcu M., 2013, The Structural, Optical and Morphological Properties of CaF<sub>2</sub> Thin Films by Using Thermionic Vacuum Arc (TVA), Materials Letters 91, p. 175–178.
- Çırak O., 2017, Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR) ile Sütte Tür Tayini Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız teknik Üniversitesi, İstanbul, 49s.
- Dodge, M.J., 1984. Refractive Properties of Magnesium Fluoride. Applied Optic, 23(12), 1980-1985.
- Doğan Y.N., 2010, Yer Gözlem Uydularında Yansıtıcı Ve Yansıma Engelleyici Optik Kaplamalar, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 72 s.
- Dönmez M., 2015, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İnce Filmlerin Yapısal, Morfolojik ve Optiksel Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 71 s.
- Edmund Optics, 2019, <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/anti-reflection-coatings/>
- Elmas S., Pat S., Mohammadigharehbagha R, Musaoğlu C., Özgüra M., Demirkol U., Özen S, Korkmaz Ş., 2019, Determination of Physical Properties of Graphene Doped ZnO (ZnO:Gr) Nanocomposite Thin Films Deposited by a Thermionic Vacuum Arc Techniqu, Physica B: Condensed Matter 557, p. 27–33.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Enrich H., Schuhmann J., Musa G., Popescu A., Mustata I., 1998, Adhesive Metal Fillms Obtained by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Deposition, *Thin Solid Films* 333, p. 95-102.
- Holland L., 1961, *Vacuum Deposition of Thin Films*, Chapman & Hall Ltd., London, p. 542.
- Hua Y., Hongji Q., Yun C., Yanming S., JianDa S., Zheng X.G., 2007, Influence of Substrate Temperature on Properties of MgF<sub>2</sub> Coatings, *Applied Surface Science* 253, p. 6113–6117.
- Ionescu V., Osiac M., Lungu C.P., Pompilian O.G., Jecu I., Mustata I., Iacobescu G.E., 2010, Morphological and Structural Investigations of Co–MgF<sub>2</sub> Granular Thin Films Grown by Thermionic Vacuum Arc, *Thin Solid Films* 518, p. 3945–3948.
- Karatay A., 2011, In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Se Tek Kristalinin ve Amorf Yapıdaki İnce Filmlerinin Doğrusal Olmayan Optik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 54 s.
- Kavaklı G.İ. ve Kantarlı K., 2002, Cam Yüzeyleri İçin İnce Film Yansıtma Kaplamalar, *Anadolu University Journal of Science and Technology*, Vol.:3 – No: 1, p. 161-166.
- Kedawat, G., Srivastava, S., Jain, V.K., Kumar, P., Kataria, V., Agrawal, Y., Gupta, B.K., Vijay, Y.K., 2013. Fabrication of Artificially Stacked Ultrathin ZnS/MgF<sub>2</sub> Multilayer Dielectric Optical Filters. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 12:5(11), 4872-4877.
- Kılıç B.G. ve Karahan, G.A., 2010, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Laktik Asit Bakterilerinin Tanısında Kullanılması, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, GIDA, 35 (6): p. 445-452.
- Korkmaz Ş., Pat S., Ekem N., Balbağ Z.M., Temel S., 2012, Thermal Treatment Effect on the Optical Properties of ZrO<sub>2</sub> Thin Films Deposited by Thermionic Vacuum Arc, *Vacuum* 86, p. 1930-1933.
- Kouzehkonang O.T., 2014, Hidrojelendirilmiş Amorf Silisyum Tabanlı Yansıtma Kaplamaların Üretilmesi ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 76 s.
- Kürkçü C., 2014, MgF<sub>2</sub>'de Yüksek Basınç Etkisiyle Yapısal Faz Dönüşümleri ve Dönüşüm Mekanizmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, 58 s.
- Li-ping W., Pei-de H., Zhu-xia Z., Cai-li Z., Bing-she X., 2013, Effects of Thickness on the Structural, Electronic, and Optical Properties of MgF<sub>2</sub> thin films: The first-principles study, *Computational Materials Science* 77, p. 281–285.
- Li N., Li Y.D., Wang Y.B., Li M., Cheng Y.vd., 2013, Corrosion Resistance and Cytotoxicity of a MgF<sub>2</sub> Coating on Biomedical Mg–1Ca Alloy via Vacuum Evaporation Deposition Method, Wiley Online Library: (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/sia.5257.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lisitsyn V.M., Lisitsyna L.A., Popov A.I., Kotomin E.A., Abuova F.U., Akilbekov A., Maier J., 2016, Stabilization of Primary Mobile Radiation Defects in MgF<sub>2</sub> Crystals, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 374 (2016) p. 24–28.
- Macleod, H.A., 2001. Thin-Film Optical Filters. Institute of Physics Publishing, 3rd Edition, ISBN 0 7503 0688 2, 667s, Bristol.
- Macleod H.A., 2018, Thin-Film Optical Filters (5th Edition), e kitap, 3, <https://books.google.com.tr/books?id=rGIQDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=tr#v=onepage&q=Alexsandar%20Smakula&f=false>, erişim tarihi:25.07.2019.
- Mahida H.R., Singh D., Sonvane Y., Gupta S.K., Thakor P.B., 2017, MgF<sub>2</sub> Monolayer as an Anti-Reflecting Material, Solid State Communications 252,p. 22–28.
- Minhua C., Yonghui W., Yanjuan Q., Caixin G., Changwen H., 2004, Synthesis and Characterization of MgF<sub>2</sub> and KMgF<sub>3</sub> nanorods, Journal of Solid State Chemistry 177, p. 2205–2209.
- Mohammadigharehbagh R., Pat S., Özen S., Yudar H.H., Korkmaz Ş., 2018, Investigation of the Optical Properties of the Indium-Doped ZnO Thin Films Deposited by a Thermionic Vacuum Arc, Optik 157, p. 667–674.
- Musa G., Betiu N., Mustata I., Baltog A., Popescu A., 1984, Heated Cathode Arc in Vacuum Developed in the Vapors of the Heated Anode, XI th International Symposium on Discharges and Insulation in Vacuum, Berlin, p. 229 (Unpublished).
- Musa G., Baltog A., Popescu A., Betiu N., Mustata I., 1986, Electrical and Spectral Characteristics of a Heated Cathode Discharge in Metal Vapors, Contributions to Plasma Physics Vol.26, p.171.
- Musa G., Ehrich H., Mausbach M., 1994, Studies on Thermionic Cathode Anodic Vacuum Arcs, Journal of Vacuum Science & Technology, A 12, p.2887.
- Musa G., Ehrich H., Schuhman S., 1997, Pure Metal Vapor Plasma Source with Controlled Energy of Ions, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 25, No.2, p.386.
- Musset, A., Thelen, A., 1970, Multilayer Antireflection Coatings, Progress in Optics, volVIII, Ed.:E. Wolf, Noth-Holland Publ Co., Amsterdam, p.458.
- Mühendistan, 2018, <https://muhendistan.com/elektromanyetik-radyasyon-nedir/>, erişim tarihi:26.08.2020.
- Öncel S., 2002, Katodik Ark Fbb Yöntemi İle Dekoratif Amaçlı Cr-O-N Kaplamaların Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 76 s.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özkan İ., 2006, Nanoteknolojik Yöntemler ile Malzemeni Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 74 s.
- Özkan M., Ekem N., Pat S., Balbağ M.Z., 2012, ZnS Thin Film Deposition on Silicon and Glass Substrates by Thermionic Vacuum Arc Materials Science in Semiconductor Processing 15, p. 113–119.
- Özgür M., Pat S., Mohammadigharehbagh R., Musaoğlu C., Demirkol U, Elmas S., Özen S., Korkmaz Ş., 2019, Sn Doped ZnO Thin Film Deposition Using Thermionic Vacuum Arc Technique, Journal of Alloys and Compounds 774, p. 1017-1023.
- Pat S., Ekem N., Akan T., Küsmüş Ö., Demirkol S, Vladioiu R., Lungu C. P., Musa G., 2005, Study on Thermionic Vacuum Arc- a Novel and Advanced Technology for Surface Coat, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 7, No. 5, p. 2495 – 2499.
- Pat S., Korkmaz Ş., Özen S., Şenay V., 2015, GaN Thin Film Deposition on Glass and PET Substrates by Thermionic Vacuum Arc (TVA), Materials Chemistry and Physics 159, p. 1-5.
- Perales, F., Herrero, J.M., Jaque, D. Heras, C., 2007. Improvement of MgF<sub>2</sub> Thin Coating Films for Laser Applications. Opt. Mater. (Amst), 29(7), 783–787.
- Ristau, D., Günster, S., Bosch, S., Duparre, A., Masetti, E., Ferre-Borrull, J., Kiriakidis, G., Francesca Peiro, Quesnel, E., Tikhonravov, A., 2002. Ultraviolet Optical and Microstructural Properties of MgF<sub>2</sub> and LaF<sub>3</sub> Coatings Deposited by Ion-Beam Sputtering and Boat and Electron-Beam Evaporation. Applied Optics, 41(16), 3196-3204.
- Quesnela E., Dumas L., 2000, Optical and Microstructural Properties of MgF<sub>2</sub> UV Coatings Grown by Ion Beam Sputtering Process, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 18, No. 6.
- Surdu-Bob C., Mustata I., Iacob C., 2007, General Characteristics of the Thermoionic Vacuum Arc Plasma, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 9, No. 9, p. 2932 – 2934.
- Sönmezoğlu S., KOÇ M., AKIN S., 2012, İnce Film Üretim Teknikleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5):389-40.
- Şenay V., Özen S., Pat S., Korkmaz Ş., 2017, A Study on some Physical Properties of a Pb-doped GaAs Thin Film Produced by Thermionic Vacuum Arc Journal of Alloys and Compounds 720, p. 383-387.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tan T.-T., Liu B.-J., Wu Z.-H., Liu Z.-T., 2017, Annealing Effects on Structural, Optical Properties and Laser-Induced Damage Threshold of MgF<sub>2</sub> Thin Films, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, 30(1), 73–78.
- Toyran N., 2008, Fourier Transform Infrared Mikrospektroskopi Tekniği, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ankara, Türkiye Klinikleri J Med Sci 2008; 28:p. 704-714
- Tüzemen E.Ş., 2007, ZnO İnce Filmlerinin Eldesi ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 208 s.
- Vassilyeva A.F., Eglitis R.I., Kotomin E.A., Dauletbekova A.K., 2010, Ab Initio Calculations of MgF<sub>2</sub> (001)and(011) Surface Structure, *Physica B* 405, p. 2125–2127.
- Vassilyeva A.F., Eglitis R.I., Kotomin E.A., Dauletbekova A.K., 2011, Ab Initio Calculations of the Atomic and Electronic Structure of MgF<sub>2</sub> (011) and (111) Surfaces, *Cent. Eur. J. Phys.*, 9(2), p. 515-518.
- Yavuz M., 2010, Nano Yapılı Manyetik Şeritlerin Ve Tozların Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 135 s.
- Ye Y.H., Gub N., Zhang H.Q., Chena P.P., Tana X.L., 1997, Influence of Annealing on the Surface Topography of MgF<sub>2</sub>: an Atomic Force Microscopic Study, *Thin Solid Films* 346, 230-233.
- Yıldırım, 2013, ZnSe Yarıiletken İnce Filmlerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, 99 s.
- Waqar A.A., Nouman R., Asad A., Rafi-ud D., Wiqar H., 2017, Multilayer AR Coatings of TiO<sub>2</sub>/MgF<sub>2</sub> for Application in Optoelectronic Devices, *Optik*, 136, p. 564-572.

## ÖZGEÇMİŞ

1993 Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun olan Arzu Kırak, 1998 Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Daha sonra da 2016 Endüstri Mühendisliği Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2006 yılına kadar İzmir’de özel sektörde çalışmış, 2006 yılında Milli Savunma Bakanlığında Fizikçi ünvanıyla göreve başlamış ve halen çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

