

Katkılı ZnO İnce Filmlerin Optik ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi

İman Roknidoust Foumani

YÜKSEK LISANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Ocak 2022



Investigation of Optical and Surface Properties of Doped ZnO Thin Films

Iman Roknidoust Foumani

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

January 2022

Katkılı ZnO ince filmlerin optik ve yüzey özelliklerinin incelenmesi

İman Roknidoust Foumani

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Suat Pat

Ocak 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Suat PAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “ Katkılı ZnO ince filmlerin optik ve yüzey özelliklerinin incelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS 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. 24/01/2022

İman Roknıdoust Foumani

İmza

ÖZET

Bu tez çalışmada, Gadolinyum katkılı Çinko oksit (Gd: ZnO) ve Tungsten Oksit katkılı ZnO (WO₃: ZnO), termiyonik vakum arkı (TVA) yöntemi ile cam ve silikon alttaşlar üzerine çöktürülmüştür. TVA, yüksek vakum koşuluna ve ayrıca bir anodik plazma üretecine dayanan fiziksel bir biriktirme yöntemidir. Bu yöntemde katot olarak tungsten tel (filament) ve anot olarak istenilen malzemenin yerleştirildiği Molibden pota kullanılır. Bu yöntemin diğer bir avantajı, tampon gaza ihtiyaç olmaması ve hızlı biriktirmedir. İnce filmlerin morfolojik ve yüzey özellikleri, bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve bir Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile araştırıldı. İnce filmlerin optik özellikleri de UV-Vis spektrofotometre ile araştırıldı. Filmlerin bant aralığı enerjisi Tauc yöntemiyle elde edildi. Her iki deneyde de katkılı ince filmler için bant aralığı enerjisi saf çinko oksitten daha düşük elde edilmiştir. Dielektrik sabiti, yüzey derinliği ve sönme katsayısı gibi özellikler de araştırıldı.

Anahtar kelimeler: İnce filmler, Zinc oxide, WO₃, Gadolinium, TVA

SUMMARY

In this thesis, Gadolinium doped Zinc oxide (Gd: ZnO) and Tungsten three Oxide doped ZnO (WO₃: ZnO) were deposited on glass and silicon substrates by thermionic vacuum arc (TVA) method. The TVA is a physical deposition method that relies on high vacuum conditions as well as an anodic plasma generator. In this method, a tungsten wire (filament) is used as a cathode and a ladle in which the desired material is placed is used as an anode. Other advantages of this method are the lack of need for buffer gas and fast deposition. The morphological and surface properties of the thin films were investigated by an atomic force microscope (AFM) and Field emission scanning electron microscopy (FESEM). The optical properties of thin films were also investigated with a UV–Vis spectrophotometer. The bandgap energy of the films was obtained by the Tauc method. In both experiments, the bandgap energy for doped thin films was obtained lower than pure zinc oxide. Properties such as dielectric constant, skin depth, and extinction coefficient were also investigated.

Keywords: Thin films, Zinc oxide, WO₃, Gadolinium, TVA

İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ	15
3.1. TVA' nın Tarihi ve Çalışma Prensipi	15
3.2 Uygulanan voltajın elektrik deşarjına etkisi.....	18
3.3 Vakum ark deşarjlarının incelemesi.....	19
3.4 Vakum arkında farklı katot açılarının incelenmesi.....	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM	21
4.1. İnce Film Analiz Teknikleri.....	21
4.1.1. UV-Vis spektrofotometre.....	21
4.1.2. Filmetrics ince film analiz cihazı.....	25
4.1.3. Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM).....	27
4.1.4. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM).....	29
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
5.1. ZnO Temelli İnce Filmlerin Üretimi ve Üretim Parametreleri.....	32
5.2. ZnO Temelli İnce Filmlerin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi.....	32
5.2.1. WO ₃ katkılı ZnO EDX analizi.....	33
5.2.2. Gadolinium katkılı ZnO EDX analizi.....	35
5.3. ZnO Katkılı İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi.....	37
5.3.1. WO ₃ katkılı ZnO ince filmler.....	38

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3.2. Gadolinium (Gd) katkılı ZnO ince filmler.....	41
5.4. ZnO Temelli İnce Filmlerin Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi.....	44
5.4.1. WO ₃ katkılı ZnO ince filmler.....	45
5.4.2. Gadolinium (Gd) katkılı ZnO ince filmler.....	47
5.5. İnce filmlerin Urbach enerjisi.....	50
5.5.1. Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filme ait Urbach enerjisi.....	50
5.5.2. Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filme ait Urbach enerjisi.....	51
5.5.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filme ait Urbach enerjisi.....	52
5.5.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filme ait Urbach enerjisi	52
5.6. İnce filmlerin sönme katsayısı.....	53
5.6.1. Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filmlere ait sönme katsayısı	54
5.6.2. Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filmlere ait sönme katsayısı	54
5.6.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait sönme katsayısı.....	55
5.6.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait sönme katsayısı.....	56
5.7. Biriken ince filmlerin deri derinliği (δ).....	57
5.7.1. Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filmlere ait deri derinliği.....	57
5.7.2. Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO filmlere ait deri derinliği.....	58
5.7.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait deri derinliği.....	59
5.7.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait deri derinliği	59
5.8. Optiksel dielektrik sabitleri	60
5.8.1. Cam ve silikon alttaşlar üzerinde WO ₃ : ZnO'nun optik dielektrik sabitleri.....	61
5.8.2. Cam ve silikon alttaşlar üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitler.....	65
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR DİZİNİ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	<u>sayfa</u>
1.1 ZnO'nun kristal yapıları	2
1.2 Wurtzite yapısının iki farklı modu.....	2
3.1 Termiyonic vakum ark (TVA) cihazı	16
3.2 TVA cihazının farklı bileşenlerinin şeması	17
3.3 Uygulanan gerilime göre akım değişimi	19
4.1 UV-vis spektrometresinden şeması	22
4.2 Filmmetriks F20 cihazı	25
4.3 Işık ile saydam bir nesnenin tkileşimi.....	26
4.4 Cam üzerinde ince bir filme ışık radyasyonu	26
4.5 Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) şeması	28
4.6 Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) cihazı	29
4.7 AFM bilgileri toplanması	30
4.8 Uç yanal çözünürlüğün şemaları. (a) Parametre tanımı(b) AFM topografyasının beklenen sonucu	31
5.1 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu.	34
5.2 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.....	34
5.3 Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu	36
5.4 Si alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu.....	36
5.5 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki yansıma grafikleri.....	38
5.6 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki kırılma indisi, n grafikleri	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	<u>sayfa</u>
5.7 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si altaşlar üzerindeki soğurma enerji grafikleri	39
5.8 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si altaşlar üzerindeki geçirgenlik grafikleri.....	40
5.9 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin cam üzerindeki bant aralığı enerji grafikleri	41
5.10 Gd katkılı ZnO ince filmin cam altaş üzerinde soğurması ve geçirgenliği	42
5.11 Gd katkılı ZnO ince filmin cam ve silicon altaşlar üzerinde yansımaları	42
5.12 Gd katkılı ZnO ince filmin cam ve silicon altaşlar üzerinde kırılma indisi	43
5.13 Gd: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam üzerindeki bant aralığı enerji grafikleri	44
5.14 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmlerin a) cam ve b) silicon altaşlar üzerindeki AFM görüntüleri.....	46
5.15 WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmin (a) cam ve (b) Si altaşlar üzerindeki SEM görüntüleri.....	47
5.16 Gd: ZnO nanokompozit ince filmin (a) cam ve (b) Si altaşlar üzerindeki AFM görüntüleri	48
5.17 Gd: ZnO nanokompozit ince filmin (a-c) cam ve (b-d) Si altaşlar üzerindeki FESEM görüntüleri	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	<u>sayfa</u>
5.18 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi	51
5.19 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi	51
5.20 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.....	52
5.21 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.....	53
5.22 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO sönme katsayısı grafiği.....	54
5.23 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO sönme katsayısının katsayısı grafiği.....	55
5.24 Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO sönme katsayısının katsayısı grafiği	56
5.25 Si alttaş üzerinde Gd: ZnO sönme katsayısının grafiği	56
5.26 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO deri derinliği grafiği.....	58
5.27 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO deri derinliği grafiği.....	58
5.28 Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO deri derinliği grafiği.....	59
5.29 Si alttaş üzerinde Gd: ZnO deri derinliği grafiği.....	60
5.30 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı.....	62
5.31 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı	62
5.32 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı.....	63
5.33 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı	63
5.34 Cam alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri.....	64
5.35 Si alttaş üzerinde WO ₃ : ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	<u>sayfa</u>
5.36 Cam altaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı.....	65
5.37 Si altaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı	66
5.38 Cam altaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı	67
5.39 Si altaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı.....	67
5.40 Cam altaş üzerinde Gd: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri	68
5.41 Si altaş üzerinde Gd: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
4.1. Elektromanyetik dalgaların radyasyon spektrumu.....	21
5.1. Cam ve Si altlıklarda WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.....	33
5.2. Cam ve Si altaşları WO ₃ : ZnO nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.....	35
5.3. İnce filmlerin bant aralığı ve urbach enerjisi değerleri.....	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Amper
Å	Angström
k	Boltzman sabiti
λ	Dalga boyu
δ	Deri derinliği
ϵ_1	Dielektrik sabiti gerçel kısmı
ϵ_2	Dielektrik sabiti sanal kısmı
eV	Elektron volt
t	Film kalınlığı
ν	Frekans
T	Geçirgenlik
I_0	Gelen ışık şiddeti
H	Hamaker sabiti
σ	İletkenlik
K	Kelvin
L	Kristal büyüklüğü
n	Kırılma indisi
α	Lineer soğurma katsayısı
I	Malzemeyi geçen ışık şiddeti
μ	Mikrometre
Ω	Ohm
h	Planck sabiti
k	Sönüm katsayısı
Eu	Urbach enerjisi
E_g	Yasak enerji aralığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
θ	XRD’de gelen ışın ile yansıtıcı düzlem arasındaki açı
d	XRD’de paralel düzlemler arasındaki mesafe
V	Volt
A	Soğurma
°C	Santigrat derece

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
FESEM	Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu
AC	Alternatif akım
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
Zn	Çinko
DC	Doğru akım
WO ₃	Tungsten Oksit
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Gd	Gadolinium
Gd: ZnO	Gadolinium katkılı çinko oksit
g	Gram
LED	Işık yayan aygıt
2D	İki boyutlu
O	Oksijen
Skr	Kurtosis
MHz	Megahertz
µm	Mikrometre
mm	Milimetre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

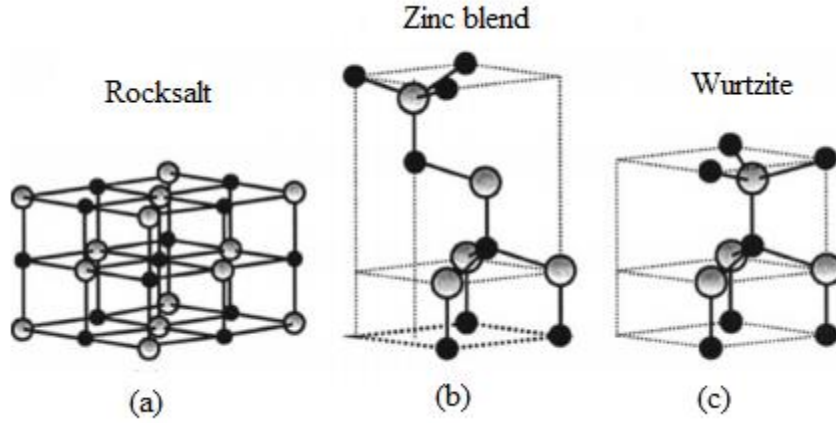
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
UV - Vis	Morötesi/Görünür
WO ₃ : ZnO	Tungsten oksit katkılı çinko oksit
nm	Nanometre
RMS	Ortalama karekök yüzey pürüzlülüğü
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
PET	Polietilen tereftalat
s	Saniye
Si	Silicon
Ssk	Skewness
NaCl	Sodyum klorür
FWHM	Tam genişlik yarı maksimum
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TVA	Termiyonik vakum ark
3D	Üç boyutlu
vd	Ve diğerleri
XRD	X- Işını kırınımı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yirminci yüzyılın başlarında çinko oksit araştırmacılar tarafından fark edildi ve üzerinde kapsamlı araştırmalar başladı (Bardeen ve Brattain, 1948). Toksik olmaması, kimyasal ve termo-mekanik stabilitesi, ucuzluğu ve belirli gaz türlerine karşı elektriksel hassasiyeti gibi bazı istisnai özellikleri nedeniyle bilimde daha yaygın olarak kullanımı genişledi (O'Brien vd., 2010 a). Bu araştırmalar zaman içinde, INSPEC (Mühendislik ve Teknoloji Enstitüsü tarafından yayınlanan, bilimsel ve teknikle ilgili önemli bir indeksleme veritabanı) verilerine göre 1969'dan 2004'e kadar yaklaşık 13500 ZnO ile ilgili girdi verdiği noktaya kadar arttı (Klingshirn vd, 2005). Örneğin 2002-2004 yılları arasında veri toplama sayısı 3300'ye ulaştı (O'Brien vd., 2010 b).

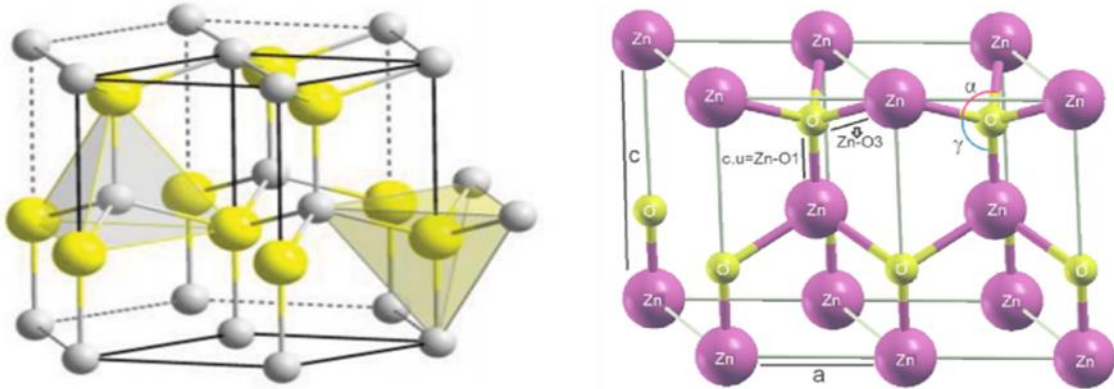
ZnO görünür aralıkta şeffaf bir madded olup 3.3 eV'lik bir bant aralığına ve 60 eV'lik bir eksiton bağlama enerjisine sahiptir (Clatot vd., 2011). ZnO 1-100 nm arasında boyuta sahip ZnO nanoparçacıkları, beklenmedik davranışından dolayı teknolojiye birçok uygulamaya sahiptir (Srivastava vd., 2013). ZnO fotokatalitik temsilciler, güneş pillerindeki pencereler, gaz sensörleri ve şeffaf elektrotlar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Jeong vd., 2006). Ayrıca piezoelektrik ve piroelektrik özelliklerinden dolayı enerji üretici, dönüştürücü ve seramik endüstrisinde kullanılabilir (Thomas ve Ambili, 2019).

ZnO'nun farklı yansıma düzlemleri vardır ve bazı önemli düzlemleri (0001) ve (000-1), (10-10) ve (11-20), ve (10-11) şeklindedir (Demyanets vd, 2005). ZnO'nun fiziksel yapısı hakkındaki raporlar 1935'ten itibaren başlamıştır. ZnO'nun yapısı Wurtzite, çinko blende ve kaya tuzu olabilir (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2). Ortam koşullarında, termodinamik olarak kararlı faz, her çinko atomunun dört oksijen atomu ile tetrahedral olarak koordine edildiği Wurtzite yapısıdır ve P63mc uzay simetri grubuna indekslenebilir.



Şekil 1.1 ZnO'nun kristal yapıları a)Rocksalt b)Zinc blend c)Wurtzite (Demyanets vd., 2005 a)

Daha detaylı; altıgen wurtzite yapısında ZnO, Zn^{2+} ve O^{2-} 'nin birbirine bağlı iki alt kafesi ile karakterize edilir, ve her Zn iyonu, O iyonlarından oluşan bir tetrahedral ile çevrilidir ve bunun tersi de geçerlidir (Demyanets vd., 2005 b).



Şekil 1.2 Wurtzite yapısının iki farklı modu (Khaksar vd., 2015)

1914'te Bragg, X-ışınlarını kullanarak birkaç faktör arasındaki ilişkiyi tahmin etti ve Bragg yasası olarak adlandırılan aşağıdaki formülü tanıttı (Bragg, 1914).

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (1.1)$$

burada λ , X-ışını dalga boyu, d ardışık atomik düzlemler arasındaki mesafe, θ ışının gelme açısı, ve n tamsayısı kırınım demetinin sırasıdır. Bu şekilde çinko oksit oluşturan düzlemler arasındaki mesafe (d) elde edilir. c -ekseni boyunca Zn ile O arasındaki mesafesi 190 nm'dir. bu mesafesi diğer üç komşu atom için biraz daha büyüktür ($=0,198$ nm). ZnO'nun kafes parametrelerinin aralığı, a parametreleri için 3.2475 ila 3.2501 Å ve c parametreleri için 5.2042 ila 5.2075 arasındadır. İdeal bir wurtzite yapısında altıgen birim hücrenin oranı $c/a = 1.633$ 'dir (Ellmer vd., 2007).

Wurtzite yapısı, çinko oksidin özelliklerinin temel nedenidir. Alternatif zıt yüklü iyon planları, pozitif (0001) -Zn ve negatif (000-1) -O, doğal olarak polar olmayan yüzeyler (10-10) ve (11-20) ile kapalı olan bu yüzeylerin bir polaritesini yaratır. Bu yapı, c eksenine boyunca bir polarizasyon ortaya koymaktadır. Bu polarizasyon ve wurtzite yapısının merkezi simetrisinin olmaması, ZnO piezoelektrik özelliklerini kendi kendine çalışan cihazlar için elektrik jeneratörleri alanında kullanılabilir hale getirir (Sood vd., 2008).

Bu tez çalışmasında, termiyonik vakum ark (TVA) yöntemi kullanılarak cam ve Si alttaşların üzerinde iki farklı WO_3 ve Gd katkılı ZnO ince filmlerin hazırlanmış ve optik, morfolojik, ve yapısal özellikleri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tungsten katkılı ZnO'nun (ZnO:W) son derece iletken ve şeffaf ince filmleri, düşük sıcaklıkta doğru akım (DC) magnetron püskürtme ile cam alttaşlar üzerinde hazırlandı. Film kalınlığının ZnO:W filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Biriktirilen tüm filmler, altıgen bir yapıya sahip polikristaldir ve alttaşa dik olan c eksenini boyunca tercih edilen bir yönelime sahiptir. Elektriksel özdirenç önce film kalınlığıyla azalır ve daha sonra film kalınlığındaki artışla artar. Elde edilen en düşük özdirenç, Hall hareketliliği 6.7 ve taşıyıcı konsantrasyonu 1.35 olan 332 nm kalınlık için 6.97 Ω cm idi. Bununla birlikte, filmlerin ortalama geçirgenliği, film kalınlığındaki bir artışla çok fazla değişmez ve biriktirilen tüm filmler, görünür aralıkta yaklaşık %90'lık yüksek bir geçirgenlik gösterir (Zhang vd., 2010).

İlgili çalışmada, RF magnetron sputtering yöntemi ile W katkılı ZnO ince filmler ve cihazlar üretilmiştir. W katkılı ZnO ince film transistörlerinin (TFT'ler) elektriksel özellikleri ve kararlılığı ile W katkılı ZnO ince filmin yapısal ve elektriksel özellikleri, W katkı konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak araştırıldı. Sonuç olarak, 9,2 cm^2/V s'lik makul bir alan etkisi hareketliliği, 10^6 'lık akım açma/kapama oranı, 4,5 V'luk düşük eşik voltajı ve 0,36 V/decade küçük alt eşik eğimi aynı anda elde edildi. Ayrıca, cihazlar, herhangi bir pasivasyon katmanı olmadan 60 dakika boyunca negatif öngerilim stresi altında - 1.8 V'luk küçük eşik voltaj kaymaları ile yüksek stabilite sergiler. X-ışını fotoelektron spektrometrisi ve Hall ölçüm karakterizasyonları, taşıyıcı konsantrasyonunun, oksijen boşluğu kusurlarının ve toplam tuzak yoğunluğunun W katkı konsantrasyonu ile verimli bir şekilde azaldığını gösterir. Sonuçlarımız, W katkılamanın ZnO ince film transistörlerinde yüksek performans elde etmek için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, burada mevcut olan yaklaşım, düz panel ekranlarda iyi stabilite ve düşük maliyetli indiyum içermeyen oksit ince film transistörlerinin (TFT'ler) için uygulanabilir olmalıdır (Abliz vd., 2019).

Ağırlıkça %1 olan yeni yüksek oranda c-yönelimli tungsten katkıli çinko oksit (WZO) ince filmler, 1737F cam alttaşının üzerinde pulsed laser deposition (PLD) tekniği ile büyütüldü. Lazer enerjisinin filmlerin yapısal, morfolojik ve optik iletim özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Filmler, 400 ile 2500 nm arasında uzanan dalga boyu bölgesinde %87'yi aşan ortalama geçirgenlik ile oldukça şeffaftır. X-ışını kırınım analizi (XRD) sonuçları, WZO filmlerinin wurtzite yapısı ile c eksenini tercihli yönelime sahip olduğunu göstermiştir. Filmlerin (002) piklerinin yarı maksimumda (FWHM) film kalınlığı ve tam genişliğinin lazer akışına bağlı olduğu bulundu. Doğrudan bir bant aralığı geçişi varsayılarak, sırasıyla 1, 1.7 ve 2.7 Jcm⁻²'lik karşılık gelen lazer akışı için 3.36, 3.34 ve 3.31 eV'lik bant aralığı değerleri elde edildi. Rapor edilen 3.37 eV'lik katılanmamış ZnO bant aralığı değeri ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada elde edilen gözlemlenen düşük bant aralığı değerlerinin, filmlerde tungsten katılımına ve ayrıca lazer akıcılığındaki artışa atfedilebileceği tahmin edilmektedir. Yüksek şeffaflık, filmleri optik pencereler olarak kullanışlı hale getirirken, yüksek bant aralığı değerleri, filmlerin optoelektronik uygulamalar için iyi adaylar olabileceği fikrini desteklemektedir (Ngom vd., 2009).

Bir diğer çalışmada, WO₃ içeriklerine sahip bir dizi WO₃-ZnO kompoziti, düşük sıcaklıkta basit bir sulu çözelti yolu ile başarıyla hazırlandı. Ürünler, X-ışını kırınımı (XRD), enerji dağılımlı spektroskopi (EDS), alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve UV-Vis diffuse reflectance spectra (UV-Vis DRS) ile karakterize edildi. Hazırlandığı gibi WO₃-ZnO kompozitlerinin fotokatalitik aktivitesi ve enerji depolama kabiliyeti, sulu çözeltide metil oranjin bozunmasıyla değerlendirildi. Saf ZnO ve P25 ile karşılaştırıldığında, WO₃-ZnO kompozitleri UV-Vis ışık ışıması altında daha yüksek bozunma verimliliği gösterir. Işık ışımasından sonra, kompozitin WO₃ içeriği %5 mol olduğundan karanlıkta maksimum bozunma verimliliği %17.2'ye ulaşabilir (Xie vd., 2014).

Siriwong vd., 2009'da alev püskürtmeli piroliz (FSP), %0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0 mol WO₃ içeren saf ZnO ve WO₃/ZnO nanokompozitlerini sentezlemek için kullanıldı. WO₃, en çok yönlü ve yaygın olarak uygulanan katalitik metal oksitlerden biridir. Etanol içindeki çinko naftenat ve tungsten etoksitin öncü çözeltileri püskürtüldü ve yakıldı, bu da kristal ve nano yapıları parçacıklar ile sonuçlandı. Nanopartiküllerin kristal fazı, morfolojisi ve boyutu, X-ışını kırınımı (XRD) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile karakterize edildi. Nanokompozitlerin spesifik yüzey alanı, nitrojen adsorpsiyonu (BET analizi) ile ölçülmüştür. ZnO nanokompozitleri, berrak küresel, altıgen ve çubuk benzeri morfolojilere sahip parçacıklar olarak gözlemlendi. Küresel ve altıgen ZnO parçacıklarının kristalit boyutları 5-20 nm aralığındaydı. ZnO nanoçubuklarının 5-10 nm genişliğinde ve 10-25 nm uzunluğunda olduğu bulundu. ZnO numunelerinin WO₃ bileşimleri, enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS) ile doğrulandı (Siriwong vd., 2009).

Chawarat Siriwong vd., 2009'da, %0.25, 0.50 ve %0.75 mol WO₃ içeren alevle üretilmiş (5/5) saf ZnO ve WO₃ katkılı ZnO nanoparçacıkları alev püskürtmeli pirolizi (FSP) ile başarılı bir şekilde sentezlendi. Bu malzemeler, kuru havada 300-400°C arasında değişen farklı gaz konsantrasyonlarında ve çalışma sıcaklıklarında NO₂, CO ve H₂ gaz algılaması için incelenmiştir. Nanopartiküllerin kristal fazı, morfolojisi ve boyutu, fiziksel özellikleri gaz algılama performansı ile ilişkilendirmek için XRD, BET, TEM, SEM ve EDS ile karakterize edildi. Gaz algılama sonuçları, WO₃ katkılamanın, ZnO nano parçacıklarının NO₂ gaz algılama performansını önemli ölçüde arttırdığını gösterdi. Ek olarak, %0.5 mol, NO₂'ye karşı en yüksek hassasiyeti veren optimal bir WO₃ konsantrasyonu olarak bulunmuştur (Chawarat Siriwong vd., 2009).

Chawarat Siriwong vd., 2009'da, hızlı anahtarlama enerjisi tasarruflu elektrokromik WO₃/ZnO çekirdek-kabuk nanoçubuk kanallarının elektron transfer mekanizmasını ve yük akışı modelini araştırmaktadır. 2-3 nm kalınlığında bir WO₃ Electrochromic katmanı, yüksek en-boy oranlı ZnO nanoçubukların üzerine düzgün bir şekilde kaplandı. Depolanan yükler hızla de-interkalasyona tabi tutuldu ve ağartma akımı 0.75 s'lik bir zaman sabiti ile katlanarak azaldı.

Ağartmadaki tepki süresi, renklendirmedekinden daha kısaydı, bu da ağartma altında etkili potansiyel bariyerin renklendirme altında olduğundan daha düşük olduğunu gösteriyor. Bu arada, ZnO/WO₃ arayüzünde sıkışan delikler, termiyonik alan emisyonu mekanizması ile elektron transferini arttırdı. EC cihazı için termal dengede ve renklendirme ve ağartma sırasında enerji-bant diyagramları ile bir yük akış modeli sunuldu. WO₃/ZnO nano çubuk kanalları, hızlı anahtarlama hızıyla birlikte, akıllı yeşil optik pencereler ve enerji tasarrufu için yüksek potansiyeli gösteren, 450 nm dalga boyunda %74'lük yüksek bir tersine çevrilebilirliğe ve 70.6 cm²-C⁻¹'lik bir renklendirme verimliliğine sahipti (Yang, S. H vd., 2019).

Liu vd., 2014'de, Pd/WO₃/Si ve Pd/WO₃/ZnO/Si yapısına dayalı Schottky diyot hidrojen gazı sensörlerinin karşılaştırmalı bir çalışması sunulmaktadır. Atomik kuvvet mikroskobu ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi, ZnO üzerinde büyütülen WO₃ algılama tabakasının, Si alt-tabakası üzerinde büyütüldüğünden daha pürüzlü bir yüzeye ve daha iyi stokiometrik bileşime sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı hidrojen konsantrasyonlarına ve çeşitli sıcaklıklara maruz kaldığında iki sensörün I-V özelliklerinin ve dinamik tepkisinin analizi, ZnO katmanının eklenmesiyle diyotun 4.0 V'luk daha büyük bir voltaj kayması, 10 kat daha yüksek hassasiyet sergileyebileceğini göstermektedir. ve 423 K'da 10.000 ppm H₂/havaya karşı daha kısa tepki ve geri kazanım süreleri (sırasıyla 105 s ve 25 s). uygulanan voltaja göre Pd/WO₃/ZnO/Si gaz sensörünün simetrik algılama özellikleri ile doğrulanabilir (Liu vd., 2014).

Mugunthan, E., et al, diklofenak'ın kalıcı bir farmasötik bileşik olduğu bilinmektedir ve bunların su kaynaklarından etkili bir şekilde uzaklaştırılması artan bir endişe kaynağı olmuştur. Bu çalışma, tungsten öncüsünün molar oranlarında değişiklik ile hidrotermal yöntemle hazırlanan ZnO-WO₃ karışık oksit katalizörleri kullanılarak diklofenakın görünür ışıkla ışınlanmış fotokatalitik bozunmasını bildirmektedir. Hazırlanan katalizörler, farklı bir teknik kullanılarak karakterize edildi ve fotokatalitik aktivite, görünür ışık ışınlaması altında test edildi. Karışık oksit katalizörünün tercihli adsorpsiyon yapısını aydınlatmak için adsorpsiyon izoterm çalışmaları yapıldı. Diklofenak ve hazırlanan karışık oksitlerin etkileşimi, çözelti pH 6'da pozitif yüklü ZnO-WO₃ yüzeyine ve anyonik diklofenak'a dayanmaktadır. Adsorpsiyon ve

fotodegradasyon kinetiği, sırasıyla Langmuir izoterm modeli ve yalancı birinci derece kinetik modeli ile en iyi şekilde ifade edilir. Sonuçlar, hazırlanan tüm katalizörlerin görünür ışık ışınlaması altında ZnO'dan daha iyi katalitik aktivite sergilediğini gösterdi. Molar oranı 10:1 ile hazırlanan katalizörün verimli bir katalizör olduğu kanıtlanmıştır ve ışınlama sırasında diklofenakta %76 mineralizasyon sağlanmıştır. pH, başlangıç diklofenak konsantrasyonu ve katalizör yüklemesi gibi çalışma değişkenlerinin etkisi araştırılmış ve rapor edilmiştir. ZnO-WO₃ karışık oksit katalizörleri daha iyi stabilite gösterdi ve sonuçlar fotokatalitik verimliliğin tekrarlanan reaksiyon döngüleri boyunca %80'e kadar korunduğunu ortaya koydu. Fotokatalitik reaksiyon sırasında oluşan birkaç ara bileşik, LC-MS (Liquid chromatography-mass spectrophotometry) kullanılarak analiz edildi ve bozunma yollarının öncelikle hidrosilasyon, klorosuzlaştırma ve dekarboksilasyon reaksiyonlarını takip ettiği bulundu (Mugunthan, E. Vd., 2019).

(Amakali vd., 2020, çinko oksit (ZnO), çeşitli bilimsel ve teknolojik alanlarda uygulanabilirliği olan geniş doğrudan bant aralığına sahip çok yönlü ve ucuz bir yarı iletkenidir. Bu alışmada, ZnO ince filmlerin sentezini iki basit ve düşük maliyetli sentez yolu, yani molecular precursor yöntemi (MPM) ve mikroskop cam alttaşları üzerinde başarılı bir şekilde biriktirilen sol-jel yöntemi ile rapor ediyoruz. Filmler yapısal ve optik özellikleri ile karakterize edildi. X-ışını kırınımı (XRD) karakterizasyonu, ZnO filmlerinin yüksek oranda c eksenini (002) yönelimli olduğunu göstermiştir, bu da piezoelektrik uygulamalar için ilgi çekicidir. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) analizinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü, MPM yoluyla hazırlanan filmlerin sol-jel yöntemiyle (Ra = 1.55 nm) hazırlananlara kıyasla ortalama pürüzlülüğü (Ra) 2.73 nm olan nispeten pürüzlü olduğunu gösterir. MPM ile hazırlanan ince filmler, sol-jel yöntemiyle hazırlananlara göre daha şeffaftı. Sol-jel yöntemiyle elde edilen ZnO ince filmlerin optik bant aralığı, diğer yazarlar tarafından bulunan aralığıa düşen 3.25 eV idi. Bununla birlikte, MPM'den türetilen ince filmlerde optik bant boşluğunda (3.75 eV) bir genişleme vardı (Amakali vd., 2020).

Dwivedi, 2020'de Çinko Oksit (ZnO) ince film dayalı etanol (C₂H₅OH) sensörünün tasarımı, üretimi ve test sonuçları açıklanmıştır. Saf ZnO (c eksenli yönelimli) ince filmler, gaz algılama uygulamaları için Silikon (Si)/Silikon dioksit (SiO₂) alttaş üzerinde oda sıcaklığında RF magnetron püskürtme teknikleri ile hazırlanmıştır. ZnO ince film ile birlikte, Pt mikro ısıtıcı, platin dirençli termometre (PRT) ve birbirine bağlı altın (Au) elektrotlar da eksiksiz bir C₂H₅OH sensör cihazı yapmak için dikey olarak üretildi. Biriktirilen ZnO ince film, 250 °C ila 450 °C aralığında farklı sıcaklıklarda tavlınır. Tavlanmış ZnO ince filmin özellikleri, yüzey profilometresi, XRD, EDX ve SEM gibi çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Pt mikro ısıtıcının performansını ve C₂H₅OH'ın farklı net konsantrasyonunda sensörün hassasiyetini ölçmek için bir ölçüm düzeneği de geliştirilmiştir. C₂H₅OH sensörünün en yüksek hassasiyeti 350 °C çalışma sıcaklığında elde edilmiştir. Etanol sensörü, 50 ppm (Parts-per-million) ila 200 ppm (Parts-per-million) arasında değişen C₂H₅OH konsantrasyonunda stabilite, hassasiyet, geri kazanım, tepki, tersinirlik ve tekrarlanabilirlik açısından iyi performans gösterir. Milyonda parça veya "ppm", konsantrasyon için kesirli bir ölçü birimi olarak yaygın olarak kullanılır. (Dwivedi, 2020).

Raship vd., 2019'de, Gadolinyum (Gd) katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmlerin fiziksel özellikleri üzerine biriktirme süresinin etkisi başarıyla araştırıldı. Filmler, bir cam alttaş üzerinde eşzamanlı doğru akım (DC) ve radyo frekansı (RF) püskürtme kullanılarak biriktirildi. Biriktirme süresi 15, 30, 45 ve 60 dakika olarak değişmiştir. Filmler XRD, FESEM ve UV-Vis spektrofotometre kullanılarak ölçüldü. XRD, tüm filmler için tercih edilen bir c eksenli yönelimi (002) fazı ile altıgen wurtzite yapısını gösterir. Filmlerin kristallığı, biriktirme süresinin 60 dakikaya kadar artırılmasıyla iyileştirilir. Film kalınlığı, biriktirme süresinin artmasıyla sırasıyla 15, 30, 45 ve 60 dakika boyunca 246, 315, 448 ve 491 nm'lik bir artış göstermektedir. Tüm filmler için UV-Vis spektrofotometre, görünür bölgede ortalama %82 - %95 ile iyi bir geçirgenlik gösterir. Gd katkılı ZnO ince filmlerin bant aralığı, biriktirme süresi sırasıyla 15, 30, 45 ve 60 dakika arttıkça 3.20, 3.23, 3.17 ve 3.13 eV idi (Raship vd., 2019).

Karmakar vd.,2012’de, Gadolinyum (Gd) katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmler sol-jel döndürme kaplama tekniği ile hazırlanmıştır. Çözelti, bir stabilizatör olarak çinko asetat dihidrat ve monoetanolamin (MEA) kullanılarak hazırlandı. Gd katkılı ZnO ince filmler, farklı alttaşlar üzerinde biriktirildi; cam, alüminyum katkılı ZnO (AZO), flor katkılı kalay oksit (FTO) ve silikon (Si). Gd katkılı ZnO'nun farklı alttaşlar üzerindeki yapısal ve optik özellikleri, X-ışını Kırınım (XRD), Alan-Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X-ışını (FESEM-EDX) ve Ultra Violet-Görünür spektrofotometre (UV-Vis) kullanılarak incelenmiştir. XRD verilerine göre filmlerin kristalit boyutunun 12.26 ~ 22.95 nm aralığında olduğu ve bu da altıgen wurtzite yapı gösterdiği tespit edilmiştir. AZO üzerinde biriktirilen filmlerin geçirgenlik spektrumları, cam ve FTO üzerinde hazırlanan numunelere kıyasla net bir sinüzoidal davranış gösterir. Tüm numuneler, Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM) aracılığıyla ölçülen oda sıcaklığında manyetik özellikler sergiler (Karmakar vd.,2012).

Che Ani vd., 2016’da, farklı Gd konsantrasyonlu (%1-8) katkısız ve gadolinyum katkılı çinko oksitten (Gd katkılı ZnO) oluşan ince filmler, sol-jel döndürme kaplama tekniği ile bir cam alttaş üzerine biriktirildi. X-ışını kırınımı (XRD, Bruker D8 Advance) çalışmaları, filmlerin doğasını tipik altıgen wurtzite yapısı ile polikristalin olarak doğruladı. Film ayrıca, farklı Gd konsantrasyonları üzerine kristalit boyutunda değişiklik ve nispi yoğunluklarda değişiklik gösterdi. Ayrıca, Gd konsantrasyonunun ZnO filmlerinin optik geçirgenliği üzerindeki etkisi, 300-800 nm dalga boyu aralığında ultraviyole görünür spektrofotometre (UV-Vis, Shimadzu UV 1800) kullanılarak incelenmiştir. Tüm filmlerin optik geçirgenliği görünür bölgede ~%95'ten yüksektir ve katkılı filmler daha şeffaf hale gelir. Elektrik direnci iki noktalı sonda (Keithley-2400) ile ölçülmüştür. %2'ye kadar artan Gd konsantrasyonu ile direnç azalır ve Gd konsantrasyonlarının daha da artması için artar (Che Ani vd., 2016).

$Zn_{1-x}Gd_xO$ ($x = 0, 2, 5, 10, 15 \%$) nano partiküller sol-jel yöntemiyle sentezlendi ve yapısal, morfolojik, optik ve manyetik özellikleri açısından analiz edildi. X-ışını kırınımı, sentezlenen nano parçacıkların altıgen wurtzite tek fazının oluşumunu doğrular. İletim elektron mikroskobu, küresel morfolojiye sahip olduklarını gösterir; UV-Vis spektroskopisi, bunların

kırmızıya kaymaya maruz kaldıklarını gösterir; enerji dağıtma tekniği, stokiometri oranında önkoşul unsurlara sahip olduklarını ortaya koymaktadır ve titreşen numune manyetometresi, oda sıcaklığındaki ferromanyetizmaya sahip olduklarını gösterir, bu da Gd-dopingini daha da geliştirir (Aggarwal vd., 2016).

Katkısız ZnO, Gd katkılı ZnO (GZO) ince filmler, cam alttaşlar üzerinde 350°C'de kimyasal spreylendirme yöntemiyle hazırlandı. Dopant konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak gadolinyum katkılamanın yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. X-ışını analizi, filmlerin polikristalin altıgen wurtzite yapısı ile çok iyi uyumunu ve [002] yönünde tercih edilen yönelime sahip olduğunu göstermiştir. AFM analizi, Gd katkılı ZnO filmlerin pürüzlülüğünün yanı sıra tane boyutunun artan katkı içeriği ile sürekli azaldığını göstermiştir. Biriktirilen filmler, görünür bölgede yaklaşık %85 civarında bir ortalama optik geçirgenlik göstermiştir ve ZnO:Gd filmlerinin optik bant aralığı, katkı içeriği arttıkça 3.27 eV'den 3.18 eV'ye düşmektedir. Hall Etkisi ölçümleri, % 1.5 Gd doping konsantrasyonundan sonra filmlerin elektriksel iletkenliğinin, hareketlilik taşıyıcılarının ve taşıyıcı konsantrasyonunun arttığını göstermiştir (Chaki vd., 2015).

Selvaraju vd., 2019'da farklı katkı konsantrasyonuna sahip Gd katkılı ZnO nano parçacıkları birlikte çöktürme yöntemi ile sentezlenmiş ve yapısal, morfolojik ve optik özellikleri açısından analiz edilmiştir. XRD profilleri, sentezlenen malzemenin iyi kristalli ve altıgen wurtzite yapıya nano kristalli ZnO olduğunu doğruladı. FESEM görüntüleri, ZnO nano parçacıklarında oluşan altıgeni betimlemiştir. 463 cm⁻¹ gözlemlenen asimilasyon bant aralığı, ZnO yayılan titreşimlere atırılır ve EDX, katkısız ve Gd katkılı ZnO nano parçacıklarının sentezini doğrular. Nano partiküllerin optik özellikleri fotoluminesans çalışması ile incelenmiş ve sentezlenen tüm malzemeler için açıklık ve içsel deformasyonların varlığından dolayı görünür bölgede ek emisyonlar ile bant kenarı emisyonunu ortaya çıkarmıştır. Gd katkılı ZnO nano parçacıklarının antibakteriyel etkinliği, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı araştırıldı (Selvaraju vd., 2019).

Rasid vd., 2016'da, nadir toprak Gd katkılı ZnO ince filmler, spintronikte potansiyel uygulama için yeni bir fonksiyonel seyreltilmiş manyetik yarı iletken aramak için basit bir sol-jel spin kaplama yöntemiyle hazırlandı. İnce filmler, sırasıyla başlangıç materyali, stabilizatör ve çözücü olarak çinko asetat dehidrat, monoetanolamin ve 2-metoksietanol ile cam altlıklar üzerine biriktirildi. Dopant yüzdesi %8'e yükseltildi. Optik inceleme, ince filmlerin kristalliğinin Gd konsantrasyonlarının artması nedeniyle değiştiğini ve Tauc'un modeli kullanılarak optik bant aralığı enerjisinin (E_g) değerinin 3.12 ~ 3.28 eV civarında olduğu tahmin edildiğini gösterdi. XRD spektrumlarından belirlenen kristalit boyutu ve sonuçlar, değer 14.42 ~ 21.98 nm aralığında olduğu bulundu (Rasid vd., 2016).

Raship vd., 2020'de Gd katkılı ZnO ince filmler, oda sıcaklığında cam alttaşlar üzerinde aynı anda RF ve DC püskürtme işlemi kullanılarak biriktirilmiştir. 50W ila 125W RF gücü Gd hedefine ayarlandı. Gd katkılı ZnO ince filmlerin biriktirilmesine karşı püskürtme gücünün etkisini araştırmak için yapısal ve optik özellikler analiz edildi. XRD sonuçları, (002) altıgen wurtzite yapılı tüm filmler için ZnO piklerinin baskın olduğunu göstermektedir. XRD modellerinde başka hiçbir tepe noktası görünmediğinden Gd'nin ZnO'ya dahil edildiği doğrulandı. Filmlerin kaplama hızı ve kalınlığı artarken, püskürtme gücünün artması üzerine kristalit boyutu FWHM ile ters orantılıydı. Gd katkılı ZnO ince film, görünür bir dalga boyu bölgesinde %80 geçirgenlik ile yüksek şeffaflık gösterir. Optik bant aralığı, Burstein-yosun etkisi ile sonuçlanan daha yüksek püskürtme gücüne doğru bir mavi kaymayı gösterir. Bu sonuçlar, Gd katkılı ZnO ince filmlerin yapısal ve optik özelliklerinin RF püskürtme gücünden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir (Raship vd., 2020).

Yi vd., 2017'de nanoyapılı Gd katkılı ZnO filmleri, RF magnetron püskürtme tekniği kullanılarak 600 °C'de biriktirildi. %0 ila %2.0 arasında değişen Gd konsantrasyonunun yapı ve morfoloji üzerindeki etkileri, optik ve fotokatalitik özelliklerdeki müteakip değişiklikler X-ışını kırınımı (XRD), transmisyon elektron mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X kullanılarak incelenmiştir. XRD ve seçilen alan kırınım sonuçları, tüm Gd katkılı ZnO filmlerinin yüksek oranda (002) tercih edilen yöneline sahip olduğunu ve altıgen wurtzite

yapısına sahip olduğunu göstermiştir. SEM görüntüleri, ZnO nanotellerinin/film yapılarının daha düşük bir Gd içeriği veya saf ZnO ile büyütüldüğünü ve film kristal boyutlarının Gd katkılanması ile azaldığını ortaya koydu. XPS sonuçları, Gd iyonunun +3 değerlik durumu olduğunu doğruladı. PL spektroskopisi, Gd dopingine bağlı olarak kusur konsantrasyonundaki artışa atfedilen muazzam bir gelişmiş derin seviye emisyon gösterdi. % Gd'de 1,6'lık bir kritik katkı konsantrasyonu ile, derin seviye emisyonu ve yakın bant kenarı emisyonu oranı, saf ZnO ile karşılaştırıldığında neredeyse beş kat artar. Filmlerin fotokatalitik aktiviteleri, UV ışığı altında sulu çözeltilerde metilen mavisinin bozunmasıyla değerlendirildi. Fotokatalitik sonuçlar, %0.7 oranında Gd katkılı ZnO nanotelleri/film yapısının en yüksek fotokatalitik aktiviteyi gerçekleştirdiğini göstermiştir (Yi vd., 2017)

Saf ve Gd katkılı ZnO ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri XRD ve UV-Vis spektrofotometre ile incelenmiştir. Farklı Gd yüzdelere sahip gadolinyum katkılı Çinko oksit ince filmler sprey piroliz yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, X-ışını kırınımı (XRD) ile karakterize edildi. Optik özellikler UV-Görünür spektroskopi tekniği ile incelenmiştir. Hazırlanan ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerine Gd katkı maddesinin etkisi, katkısız ve Gd katkılı ZnO ince filmlerin yapı modifikasyonu ve bant aralığı temel alınarak araştırılmış ve tartışılmıştır (Kluth vd., 2003).

Rasid vd, 2015'de gadolinyum (Gd) katkılı çinko oksit ince filmler, spin-kaplama tekniği kullanılarak atomik yüzde (at. %) olarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Çinko oksit filmlerine katkılı nadir toprak iyonlarının etkileri incelendi. Filmlerin fiziksel ve optik özellikleri üzerindeki etkileri alan emisyon taramalı elektron mikroskobu, x-ışını kırınımı, atomik kuvvet mikroskobu ve ultraviyole görünür spektrofotometre ile araştırıldı. Çinko oksidin özelliklerinin, Gd'nin fiziksel ve optik konsantrasyonunu değiştirerek ayarlanabileceği bulundu (Rasid vd, 2015).

Subramanian vd., 2010'de çok yönlü darbeleri püskürtmeli piroliz yöntemi kullanılarak sentezlenen ve oda sıcaklığında ferromanyetizma sergileyen nano kristalin Gd katkılı ZnO ince filmler üzerinde derinlemesine bir çalışma bildirmektedir. Ayrıntılı yapısal ve mikroyapısal çalışmalar, katkılı Gd iyonlarının Zn bölgelerini işgal ettiğini ve tepe kaymasının yük nötrlüğü ile açıklanabileceğini doğrulamaktadır. Optik inceleme, ZnO kafesindeki Gd katkısının, Gd 4*f* elektronları tarafından yeni boş durumların getirilmesi nedeniyle yakın bant kenar pozisyonunda bir azalmaya yol açtığını göstermektedir. Zn_{1-x}Gd_xO'nun 0 K kenarındaki elektronik yapısı, kupratlar ve manganitlere benzer ön kenar spektral özelliklerinin gelişimini gösterir ve ayrıca O 2*p*-Gd 4*f*/5*d* durumlarının güçlü hibridizasyonunu doğrular. Ayrıca, Gd M₅ kenarı, Gd iyonlarının üç değerli durumda olduğuna dair kanıt sağlar. Histerezis ölçümleri, Gd katkılı ZnO filmlerinin manyetik olarak anizotropik olduğunu ve oda sıcaklığında içsel ferromanyetik davranış sergilediğini göstermektedir. Düzlem içi yöne kıyasla numune yüzeyine dik olarak uygulanan bir alan için 3 kOe değerlerinde daha yüksek manyetizasyon gözlenir (Subramanian vd., 2010).

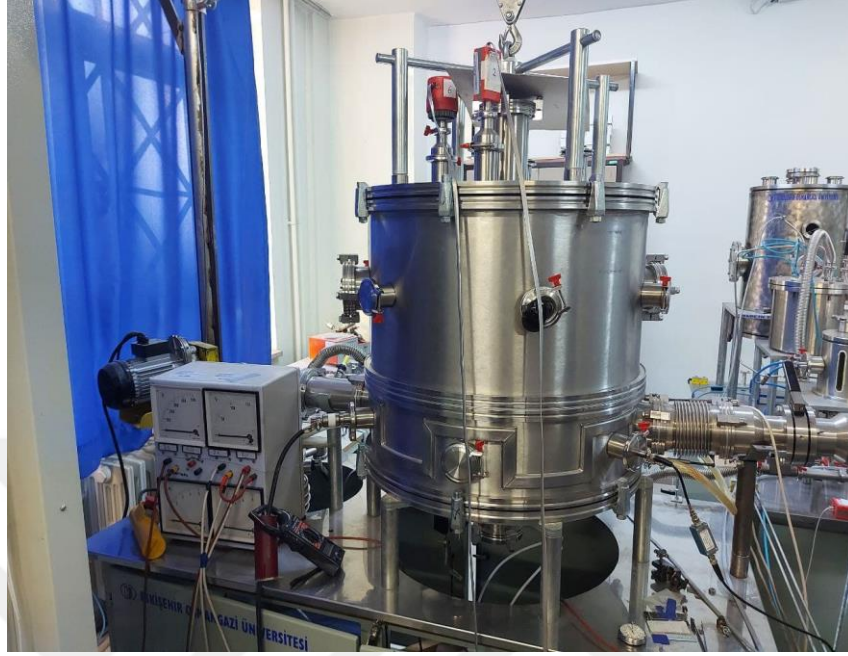
3. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ

3.1. TVA'nın Tarihi ve Çalışma Prensipli

Buhar biriktirme sistemleri, Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) iki yöntemi vardır. PVD, farklı metallerin buharının özel koşullarda farklı alt tabakalar üzerinde biriktirildiği bir işlemdir. Farklı türleri olan bu yöntem genellikle yüksek vakum koşullarında ve katot ark kaynağı kullanılarak yapılır. Öte yandan, kimyasal kaplama yöntemi, kaplama için kullanılan malzemelerin belirli bazı özel kimyasal reaksiyonlarla farklı yüzeylerde biriktirildiği bir yöntemdir (Baptista vd., 2018).

Elektrostatik bir alan kullanarak buharlaşan bir anot ve bir termiyonik katot ile elektron ışınını anot üzerine odaklamak için bir vakum ark deşarjı üzerine çalışmalar 1983'ten beri yayınlanmaktadır (Musa vd., 1994).

Fiziksel bir biriktirme yöntemi olan termal vakum arkı (TVA), biriktirilecek malzemenin buharlarında bir anodik ark deşarjıdır. TVA yöntemi ile silikon (Si), cam ve polietilen (PET) altlıkların üzerine istenilen katman düşük maliyet ve yüksek hızda yatırılabilir. Kaplama işlemi plazma ortamında ve yüksek vakumda tampon gazı ihtiyacı duymadan gerçekleştirilir. Bu yöntem'de, malzemelerin erimesi için enerji, odaklanmış bir elektron ışını aracılığıyla sağlanır (Pat ve Foumani, 2021). (Şekil 3.1) TVA cihazını göstermektedir.



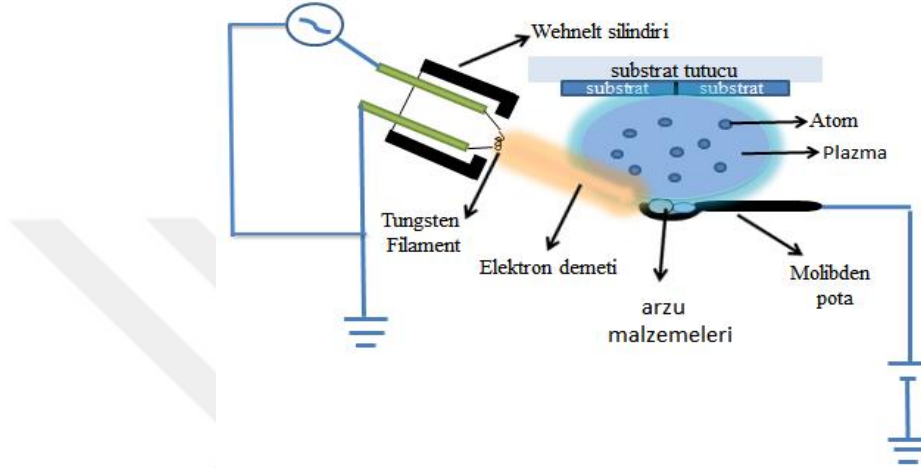
Şekil 3.1 Termiyonik vakum ark (TVA) cihazı

Vakum arkı, bir plazma üreten düşük voltajlı, yüksek akımlı bir elektrik boşalması olarak kabul edilir. plazma iyonize ve buharlaştırılmış elektrot malzemesinden oluşur. Deşarj/ark akımı belirli bir seviyenin üzerine çıkarıldığında, potadaki (Deşarjının anodunu temsil eden) malzemeler erir ve ark, biriktirilecek malzemenin buharlarında yanabilir. Anot malzemesi bir elektron demeti tarafından ısıtılıyor; elektron ışını ile değil (Vladoiu vd., 2020 a).

Plazma destekli biriktirme süreçleri, bir plazmanın yüksek kimyasal reaktivitesinden dolayı reaktif kaplamalar üretebilir ve ayrıca iyonize edilmemiş atomik buhar kullanan tekniklerle elde edilenlerden daha üstün özellikler sergiler (Randhawa, 1991).

TVA seti, vakum odası, vakum pompaları ve vakum odası, basınç göstergeleri ve elektronik ölçüm bileşenleri gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Genellikle vakum odasında sistem, pota, katot, alttaş tutucu, biriktirilecek malzeme, kalınlık monitörü ve wehnelt

silindirinden oluşur. Aşağıdaki şekil, cihazın genel bir şemasını göstermektedir (Vladoiu vd., 2020 b).



Şekil 3.2 TVA cihazının farklı bileşenlerinin şeması

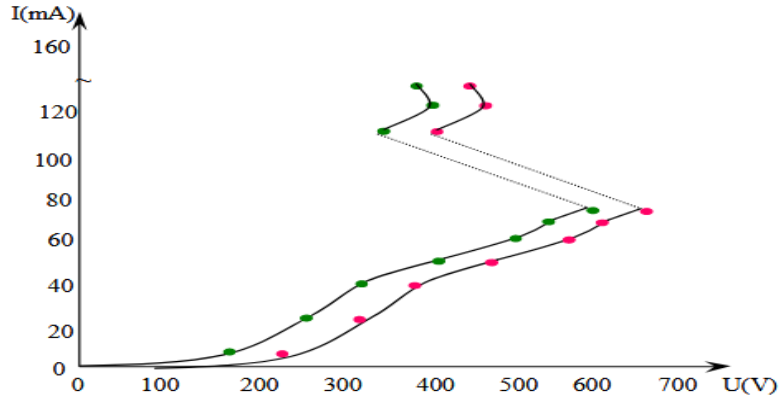
Termiyonik Vakum Ark, biriktirilecek malzemeyi içeren bir anot (tungsten pota) ile elektron odaklanan bir Wehnelt silindiri ile çevrili ısıtılmış bir katot arasındaki boşlukta ateşlenebilir. Topraklanmış katottan anoda (yüksek voltajda olan) doğru hızlandırılmış termo-elektronlar tarafından anodun elektron bombardımanı nedeniyle, anot malzemesi önce erir ve daha sonra buharlaşmaya başlar. Uygulanan yüksek voltajın daha da artmasıyla, vakumlanan kabın içinde anot malzemesinin buharlarında parlak bir deşarj oluşur.

Katot olarak, bir Wehnelt silindirinin içine monte edilmiş bir tungsten filamandan oluşan basit bir elektron ışını tabancası kullanılır ve genellikle karbon, metal veya alaşımdan yapılmış bir diskten oluşur. Katot, anoda karşı çeşitli pozisyonlarda monte edilebilir. Bu konumlar ϕ açısı ile tanımlanır. Anot, kaşık şeklinde bir tungsten potadır. Pota, buharlaştırılacak malzemenin parçacıkları ile doldurulur. anodun katot yüzeyine bakan ucu, bir ateşe dayanıklı metalden, örneğin tungstenden yapılmış iki kavisli çubuktan oluşur (Vladoiu vd., 2020 c).

Katot ve anot boşluğu üzerinde uygun bir şekilde uygulanan DC yüksek voltaj için, anot yüzeyinde erimiş bir nokta belirir ve katottan yayılan hızlandırılmış elektronlar nedeniyle anot malzemesinin bu erimiş noktadan sürekli buharlaşması sağlanır. Elektrotlar arası boşlukta metal buharlarının sabit durum yoğunluğu görünür. Uygulanan yüksek voltajın daha da artmasıyla, elektrotlar arası boşlukta aniden yeşil renkli parlak bir deşarj ortaya çıkar ve aynı anda deşarj üzerindeki voltaj düşüşü azalır ve ark akımı önemli ölçüde artar. Deşarj şekil, elektrik akımı değeri ve yayılan ışık yoğunluğu açısından stabildir (Vladoiu vd., 2020 d).

3.2 Uygulanan voltajın elektrik deşarjına etkisi

$R = 1 \text{ k}\Omega$ ve $R = 1.5 \text{ k}\Omega$ için volt-amper karakteristikleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Düşük deşarj akımları ve voltajları için, özellikler vakum diyotlarınınkilerle benzerdir. Isıtma akımına bağlı olarak uygulanan voltajın belirli bir seviyesinde ise, akımda ani bir artış gözlemlenebilir. Ani artış, elektrotlar arasındaki parlak metal buhar deşarjının tutuşmasıyla ilişkilidir. Düşük ark voltajı düşüşüne, parlak ışık emisyonuna ve artan deşarj akımına sahip olduğumuz volt-amper özellikleri aralığı için TVA'yı ark rejiminde olarak ele alacağız. Parametre değerlerindeki herhangi bir değişiklik: elektrotlar arasındaki mesafe, açılış ϕ veya katot ısıtma akımı I_f , elektrotlar üzerindeki ark voltajı düşüşünün değerini değiştirecektir (Vladoiu vd., 2020 e).



şekil 3.3 Uygulanan gerilime göre akım değişimi (Vladoiu vd., 2020 f).

3.3 Vakum ark deşarjlarının incelemesi

Isıtılmış katottan s¼rekli elektron emisyonu nedeniyle, bu ark kolayca tutuşur. Vakum ark deşarjlarında volt-amper ¼zellikleri, elektrotların g¼rel konumuna, termiyonik katodun sıcaklığına ve buharlaştırılmış anot malzemesine b¼y¼k ¼l¼de bağlıdır.

Termiyonik katot anodik vakum arkında, hızlandırılmış ve odaklanılmış elektron ışını anot malzemesini s¼rekli olarak buharlaştırır. Elektrotlar arası boşluk yeterince k¼¼k¼kse, elektrotlar arasındaki buhar yoğunluğu, bir vakum ark deşarjını tutuşturmak ve s¼rd¼rmek i¼in yeterince y¼ksektr.

Ayrıca deşarj koşulları iki temel parametre gerektirir. Bunlar;

(1) ısıtılmış anot y¼zeyinden buharlaşmadan kaynaklanan elektrotlar arasında yeterince y¼ksek yoğunlukta n¼tr atomların sağlanması

(2) elastik olmayan elektron-n¼tr atom ¼arpıřmalarından kaynaklanan y¼k taşıyıcılarının kaybını s¼rekli olarak telafi etmek i¼in elektrotlar arası boşlukta yeterli bir y¼k taşıyıcı yoğunluğunu korumak i¼in yeterli iyonların sağlanmasıdır.

3.4 Vakum arkında farklı katot açılarının incelenmesi

Katot, anoda farklı açılarda yerleştirilebilir. Katot, anoda sıfır derecelik bir açıda ise ($\varphi=0$), buna düz katot denir. Aksi takdirde dolaylı katot olarak ($\varphi\neq 0$) adlandırılır.

Arkının volt-amper özellikleri gösterilmektedir. Katot 90° bir açıda olduğunda, elektron ışınları pota çarpar ve malzemenin dolaylı olarak ısınmasına neden olur. Elektron ışını tamamen buharlaşan malzemeye ($\varphi = 75$) odaklandığında, bozulma voltajı ve ark voltajı düşüşü nispeten düşük bir seviyededir.

Katot doğrudan ve dolaylı olarak ısınabilir. Doğrudan ısıtmada, ısıtılmış filamana hafif bir hasar verilmesi, bu hasarlı noktanın daha fazla ısınmasına neden olur, bu da filaman bu hasarlı noktada eriyene veya buharlaşana kadar bu hasarın uzamasına neden olur. Dolaylı ısıtma, yüksek deşarj akımları taşıyabilen geniş alanlı katotların kullanımına izin verir ve ayrıca çok daha uzun ömür sağlar. Ayrıca Dolaylı ısıtmada, Wehnelt silindiri üzerinde buharlaşmış malzemenin birikmesini önlemesidir. Sonuç olarak, dolaylı katot daha fazla avantaja sahiptir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. İnce Film Analiz Teknikleri

4.1.1. UV-Vis spektrofotometre

Elektromanyetik dalgaların radyasyon spektrumu süreklidir. Aşağıdaki tablo bu dalgaların farklı aralıklarını göstermektedir.

Çizelge 4.1 Elektromanyetik dalgaların radyasyon spektrumu

Aralık	dalga boyu (nm)
uzak ultraviyole	10 - 200
yakın ultraviyole	200 - 400
gözle görülür	400 - 700
yakın kızılötesi	700 - 3000
orta kızılötesi	3000 - 3×10^4
uzak kızılötesi	3×10^4 - 3×10^5
mikrodalga	3×10^5 - 3×10^9

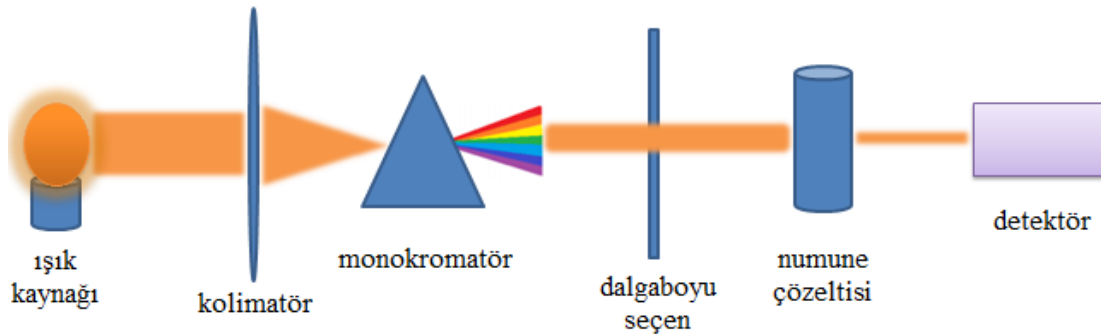
400 ila 700 nanometre aralığı, insan gözünün ışığı görebildiği bölgedir ve görünür bölge olarak adlandırılır. Elektromanyetik radyasyon bölgeleri, her bölge yavaş yavaş bir sonrakine birleşir. Moleküler dönüşlerin toplamı, her elektronun enerjilerinin toplamı ve atomik titreşimlerden kaynaklanan enerji, bir molekülün iç enerjisini oluşturur. Kızılötesi radyasyon, molekülün titreşim durumlarını etkileyebilir. Öte yandan, uzak kızılötesi ve mikrodalga

aralıklarındaki radyasyon, dönme enerji durumlarında değişikliklere yol açar. Bu sürekli spektrumda görünür ışığı ve ultraviyole, moleküllerde elektronik geçişlere neden olabilir. Bir molekül enerji soğurduğunda, bir elektron daha yüksek bir boş yörüngeye uyarılır. Sadece belirli miktarda enerjiye sahip radyasyon soğurulur ve elektronların bir seviyeden diğerine geçişlerine neden olabilir. Molekül tarafından soğurulan her bir fotonun enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E = hv \quad , \quad c = \lambda v \quad \text{Öyleyse} \quad E = hc/\lambda \quad (4.4)$$

Burada, h Planck sabiti, v fotonun frekansı, c ışık hızı ve λ dalga boyudur (Rizos vd., 2017).

Görünür ışık numuneden geçtiğinde, fotonların enerjisi numune elektronlarına aktarılır ve elektronların üst yörüngelere aktarılmasına neden olur. Numuneden gelen ışık çıkışı farklı bir enerji sahiptir. "Absorbance" indeksi olarak adlandırılan bir numunenin ışık absorpsiyon kapasitesini ölçmek için, bir UV-vis spektrometresi kullanılabilir. Bu cihazın şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir (Mäntele ve Deniz, 2017).



Şekil 4.1 UV-vis spektrometresinden şeması

Spektrometrenin ana bileşenleri şunlardır: bir ışık kaynağı (genellikle döteryum ve tungsten/halojen lambaların bir kombinasyonu), ışığı kaynaktan bir monokromatöre yönlendirmek için ışığı yönlendirmek için bir kolimatör, ışıkları ayrı dalga boylarında bölmek için bir monokromatör, tek bir dalga boyu seçme için bir yarık (şeffaf bir küvette bulunan numuneye çarpacak dalga boyunu seçme için bir dalga boyu seçici kullanılır) ve bir detektör (Lazar vd., 2006) vardır.

Kaynaktan gelen görünür ışık, bir kolimatör tarafından prizmaya odaklanır. Prizma ışığı ayırıştırır ve bir seçici istenen dalga boyunu ayırır. Bu monokromatik ışık bir küvetten geçer ve dedektöre ulaşır. Dedektör, gelen ışığı yüksek yoğunluklu bir akıma dönüştürür, böylece absorpsiyon karşı dalga boyuna grafiğini elde eder.

Işık kaynağı olarak ksenon, tungsten ve halojen lambalar kullanılabilir. Ksenon lambalar hem görünür hem de UV aralıkları için bir ışık kaynağı olarak kullanılabilse de, bu lambalar pahalıdır ve düşük stabiliteye sahiptir. Tungsten veya halojen lambalar da görünür aralık için iyi bir kaynaktır. Tungsten lambaların ile birlikte, UV ışık kaynağı olarak bir döteryum lambası da kullanılabilir (Łobiński ve Marczenko, 1992 a).

Bir "monokromatör", kırınım ağıdır. Monokromatör" genellikle giriş ve yansıma açıları döndürülerek ayarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bunu yaparak ışığın istenen dalga boyunu seçebilirsiniz. Kırınım ağının yiv frekansı genellikle mm başına yiv sayısı olarak ölçülür. "Monokromatör" üzerinde genellikle milimetre başına 1.200 yiv vardır.

Genellikle Küvet erimiş kuvars veya cam gibi şeffaf bir malzemeden yapılmıştır. Küvetler, spektroskopik ölçüm için numuneleri tutmak üzere tasarlanmıştır. Geçirgenliği veya absorbansı ölçmek için küvet içindeki numuneden bir ışık huzmesi geçirilir (Łobiński ve Marczenko, 1992 b).

İlk ışığın yoğunluğu (I_0), numune absorbansı (A) ve numuneden geçen ışık (I) arasındaki ilişki şu şekilde verilir (Kumar vd., 2017):

$$A = \log \frac{I}{I_0} \quad (4.5)$$

Bu denklemde, numune tarafından ışığın emilmesi nedeniyle, I değeri her zaman I_0 'ten küçüktür.

İstenilen madde bir çözeltide çözünür ve küvetin içine yerleştirilir. Çözeltideki bir maddenin absorpsiyonu ve konsantrasyonu Beer-Lambert yasası ile ifade edilebilir (Tolbin vd., 2017):

$$A = ecl \quad (4.6)$$

burada A absorpsiyon, l küvetin boyutu (cm), c çözelti konsantrasyonu (mol/l) ve e molar soğurma katsayısı (l/mol.cm).

Işık dedektöre ulaştıktan sonra ışık okunabilir bir elektronik sinyale dönüşmelidir. Dedektörler genellikle iki temel üzerinde çalışır. Fotoelektrik kaplamalı dedektörler ve yarı iletken kaplamalı dedektörler. Bir fotoelektrik kaplama ışığa maruz kaldığında, ışık elektronları fırlatır. Bu elektronlar bir elektrik akımı oluşturur. Üretilen elektrik akımı ışık yoğunluğu ile orantılıdır. photomultiplier tube tüp (PMT), en yaygın fotoelektrik dedektörlerden biridir ve UV-Vis spektroskopisinde kullanılır. PMT dedektörleri, çok düşük ışık seviyelerini tespit etmek için kullanışlıdır. Ayrıca, yarı iletkenler ışığa maruz kaldığında bir elektrik akımı üretilir. Fotodiyotlar ve şarj bağlantılı cihazlar (CCD'ler), yarı iletken kaplamalara dayalı en yaygın dedektörlerdir. Son olarak, elektrik akımı tarafından üretilen sinyaller, tanımlama için bir bilgisayara veya monitöre gönderilir (van den Broeke vd., 2006).

Makalelerde ve tezlerde UV-Vis spektroskopi bilgilerinden elde edilen bilgiler, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak absorpsiyon ve geçirgenliğin bir grafiği olarak sunulur. Bununla birlikte, bilgi daha çok dikey y ekseninde bir absorpsiyon grafiği ve yatay x ekseninde dalga boyunun bir grafiği olarak sunulur. Bu grafik tipik olarak bir absorpsiyon spektrumu olarak adlandırılır.

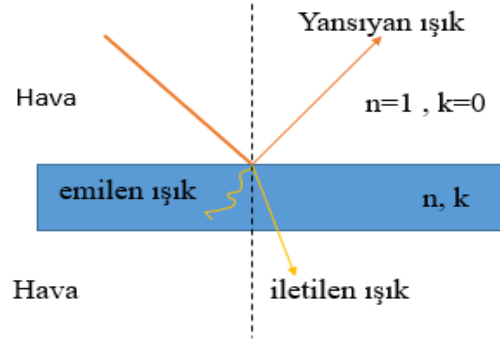
4.1.2. Filmetrics ince film kalınlık ölçüm cihazı

İnce filmlerin kalınlığını ölçmek, ayrıca kırılma indisi (n) ve sönme katsayılarını (k) elde etmek için bir Filmmetrik F20 cihazı kullanılabilir. Bu cihazın görüntüsü Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Kırılma indisi, ışığın boşluktaki hızının malzeme içindeki hızına oranı olarak tanımlanır ve sönme katsayısı, malzemede ne kadar ışığın emildiğinin bir ölçüsüdür. Filmetrics F20'nin çalışma prensibi, ışığın film yüzeyi ile etkileşimine bağlıdır. F20 ile ölçülen filmler optik olarak opak olmamalı ve şeffaf olmalıdır. Aslında metal ve çok pürüzlü filmlerin kalınlığı bu cihazla ölçülemez. Bu cihazla, çok çeşitli yarı iletkenlerin yanı sıra dielektriklerin kalınlığı hesaplanabilir.



Şekil 4.2 Filmmetriks F20 cihazı

Bir ışık huzmesi saydam bir malzemenin yüzeyine çarptığında, yüzey bir sınır görevi davranır. Işık bir kısmı yüzeyden yansır, bir kısmı malzemeye nüfuz eder, bir kısmı malzeme tarafından emilir ve bir kısmı diğer taraftan daha az yoğunlukta geçer. Bu işlem aşağıdaki şekil 4.4'te gösterilmiştir.

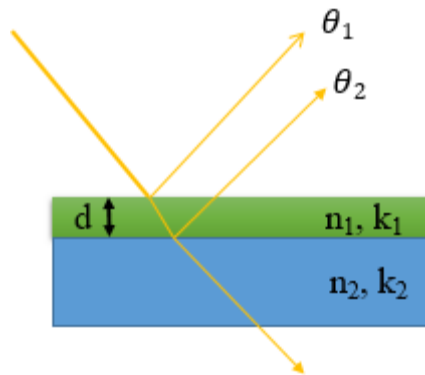


Şekil 4.3 Işık ile saydam bir nesnenin etkileşimi

Yansıyan ışığın oranı n ve k 'ye bağlıdır ve aşağıdaki denklemlerle tanımlanır (Dimopoulos, 2012).

$$R = \frac{((n-1)^2 + k^2)}{((n+1)^2 + k^2)} \quad (4.7)$$

Alttaş üzerine bir ince film yerleştirildiğinde, ışık hem ince filmde hem de alttaştan yansıtılır. Bu nedenle, yansıyan iki ışığın yol uzunluğundaki fark ölçülerek ince filmin kalınlığı elde edilebilir. Işığın dalga doğası nedeniyle, yansıyan bu iki ışın yıkıcı veya yapıcı bir şekilde birleştirilebilir ve iki yansımanın toplamı toplam yansımayı temsil eder. Aşağıdaki şekilde elde edilir:



Şekil 4.4 Cam üzerinde ince bir filme ışık radyasyonu

Yansımalar faz içinde ve faz dışı ise, sırasıyla Denklem 4.8 ve 4.9'yi kullanırız.

$$2nd = m\lambda \quad (4.8)$$

$$2nd = (m+1/2) \lambda \quad (4.9)$$

Burada m bir tamsayıdır, n yansıma indeksidir ve d ince filmi kalınlığıdır.

Filmetrics F20 cihazının mekanizması, ince film ve alttaşından yansıyan ışığın ölçülmesine dayanır. Seçilen alttaşın da şeffaf bir malzeme olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Cam genellikle bu amaç için uygun bir alttaş olarak kullanılır. Filmetrics F20 cihazlarında, görünür ve UV dalga boyu aralığındaki ışık tungsten-halojen ampul ile sağlanır. Kaynak tarafından üretilen ışık, bir optik fiber ile numuneye iletilir. Yansıyan ışık daha sonra bir mercekle toplanır ve yoğunluğu farklı dalga boylarında bir spektrometre ile ölçülür. Filmetrics F20 spektrometresi, ışığı dağıtmak için bir kırınım ağı ve ışığı farklı dalga boylarında ölçmek için linear bir fotodiyot dizisi kullanır.

4.1.3. Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM)

Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM), fizik, kimya, biyolojide, malzeme ve hücre yüzeylerinde 1 nanometre kadar küçük yapıları gözlemlemek için kullanılır. İlk elektron mikroskobu (EM) 1931'de Berlin Üniversitesi'nde Max Knoll ve Ernst Ruska tarafından yapıldı. Elektron mikroskoplarında ışık yerine hızlandırılmış elektronlar kullanılır. Işık yerine elektron kullanmanın temel farkı, dalga boylarındaki farkıdır. Dalga boyu görünür ışık için 400 ile 700 nm arasındadır ve elektron için Planck sabiti bölü elektron momentumudur (Erlandsen vd., 2000).

Elektronların numuneden taranması gibi zorlukların ortaya çıkması, 1938'de ilk taramalı elektron mikroskobunun (SEM) yapılmasına yol açtı. Aslında, elektron üretim sistemlerinin

ile kaplamak gerekir. Alan yayan tabanca ve lenslerin yerleştirildiği FESEM'in ana bileşenlerinden biri elektron demeti kolonudur (Akhtar vd., 2018).

4.1.4. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

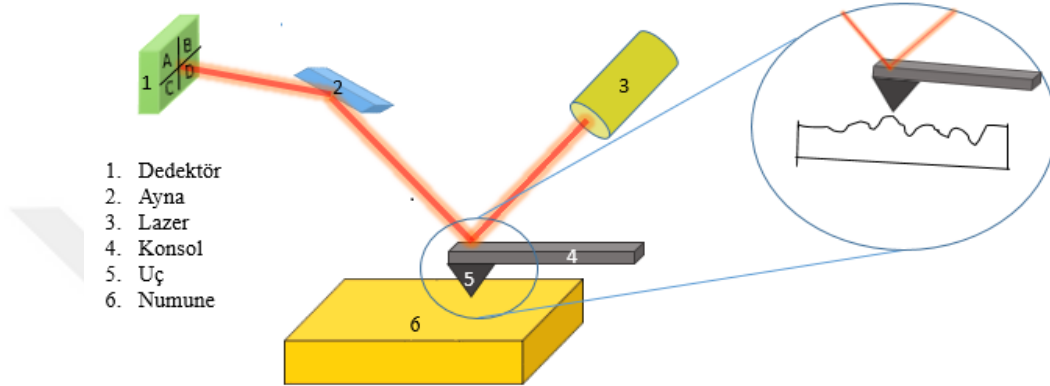
Atomic force microscopy (AFM) 1986 yılında Binnig, Gerber ve Quate tarafından taramalı tünelleme mikroskobunun (STM) kullanımışılığını yalıtkan numunelere genişletmek için icat edildi. Aslında AFM, optik kırınım sınırından 1000 kat daha iyi, bir nanometrenin kesirlerinde çok yüksek çözünürlüğe sahip bir tür taramalı prob mikroskobudur. (Şekil 4.7) AFM'yi göstermektedir (Parot vd., 2007 a).



Şekil 4.6 Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) cihazı.

AFM'de, kuvvet ölçümleri kullanılarak görüntüleme yapılır ve bu, yalıtkindan görüntü alınmasını sağlar. AFM'nin çalışması, son derece ince uçlu küçük bir piezoelektrik konsolun bir numunenin yüzeyi boyunca hareketidir. Bu, numune yüzeyinden topografik bilgilerin

oluşturulmasına yol açar. (Şekil 4.8), numune yüzeyinden nasıl bilgi toplanacağını gösterir (Parot vd., 2007 b).



Şekil 4.7 AFM bilgilerin toplanması

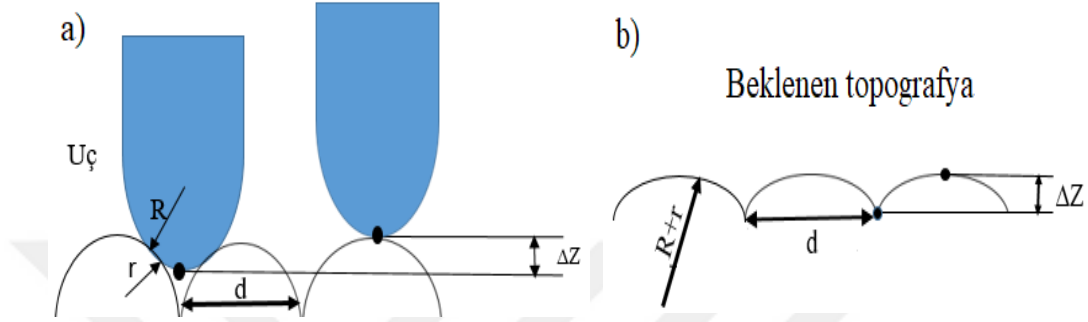
Resimde gördüğümüz gibi keskin uç bir konsolun ucuna takılmıştır. Numuneye yaklaşıldığında, numunenin atomları ile ucun atomları arasındaki itici ve çekici etkileşimler konsolu saptırır. Konsol saptması, konsol tarafından yansıtılan bir lazer ışını kullanılarak kaydedilir. Konsol saptmaları bir geri besleme döngüsü ile sabit tutulur. Aslında geri besleme döngüsünün işlevi, uç ile numune arasındaki kuvveti sabit tutmaya sebep olur. Numune ile prob arasındaki mesafe genellikle 0,2 ile 10 nm arasında ayarlanır ve konsolun sertliği Hooke yasası olarak bilinen aşağıdaki denklemi takip eder.

$$F = - K.x \quad (4.10)$$

F kuvvet olduğunda, k konsolun yay sabitidir (tipik olarak $\sim 0.1-1$ N/m) ve x konsol saptmasıdır. Ek olarak, ucun şekli (ucun eğrilik yarıçapı) yanal çözünürlüğü etkileyebilir. Bu bağımlılık aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$d = \sqrt{8(R + r)\Delta Z} \quad (4.11)$$

d yanal çözünürlük sınırı, ΔZ dikey çözünürlük sınırı, R uç eğrilik yarıçapı ve r algılanan nesne eğrilik yarıçapı. Uçun eğrilik yarıçapının çözünürlük üzerindeki etkisine "uç konvolüsyonu" denir (Polyakov vd., 2006).



Şekil 4.8 Uç yanal çözünürlüğün şemaları. (a) Parametre tanımları (b) AFM topografyasının beklenen sonucu

AFM ile görüntülemenin toplamda üç modu vardır. Bu üç mod, Temas Modu, Tıklatma Modu ve Temassız Modları içerir. Temas modunda uç yüzeyle fiziksel temas halindedir. Bu modda, iki tür sabit yükseklik taraması ve sabit kuvvet taraması vardır. Hareket, sürtünme ve yapışma kuvvetlerinden güçlü bir şekilde etkilenir. Tıklatma modunda, konsol (bir piezoelektrik aktüatör tarafından yönlendirilir) rezonans frekansında veya yakınında titreşir. Kuvvet duyarlılığı, salınımlı konsolun kalite faktörüne (Q faktörü) bağlıdır. Tıklatma modunun, altaşa zayıf bağlı olan malzemelerin veya yumuşak nanomalzemelerin görüntülenmesinde temas modundan daha az zarar verir. Temassız modda uç numuneye dokunmaz, ancak tarama sırasında yüzeyin üzerinde salınım yapar. Çekici Van der Waals kuvvetleri nedeniyle genlikteki değişiklikleri izlemek için geri besleme döngüsü kullanır, böylece yüzey topografisi izlenebilir. Bu mod, yumuşak yüzeye en az zararı verir (Jalili ve Laxminarayana, 2004).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. ZnO İnce Filmlerin Üretimi ve Üretim Parametreleri

Bu çalışmada, Sigma-Aldrich'ten WO_3 ve ZnO kimyasalları satın alınmıştır. Cam ve Si alttaşlar, etil alkol ile temizlendi ve sıcak hava akımıyla kurutuldu. Vakum kabının basıncı $6 \cdot 10^{-5}$ torr ve çökeltme basıncı $8 \cdot 10^{-5}$ torr idi. Filament akımı 20 ampere ayarlandı. $WO_3:ZnO$ nanokompozit için ateşleme voltajı 800 volt bulundu. Kaplama işlemi 5 dakika sürmüştür. Nanokompozitler, nano boyutlu parçacıkları standart malzeme matrisine dahil eden malzemelerdir. Nanoparçacıkların eklenmesinin sonucu, mekanik mukavemet, dayanıklılık ve elektriksel veya termal iletkenliği içerebilen özelliklerde büyük bir gelişmedir. Nanopartiküllerin etkinliği, eklenen malzeme miktarının normalde ağırlıkça sadece %0.5 ila %5 arasında olacağı şekildedir.

Gd: ZnO için başlangıçta, substratlar deiyonize su kullanılarak birkaç kez dikkatlice temizlendi. Bunu yaparak, alttaşlar yüzeyindeki tüm kalıntı kontaminasyon giderildi. Daha sonra ZnO tozu (% 99 saflıkta) ve Gd tozu (% 99 saflıkta) 0,5 cm kalınlığında ve 1 cm çapında palet şeklinde preslenerek kroze içerisine yerleştirilmiştir. Deney sürecinde katot ile anot arasındaki mesafe ve katot açısı 4 cm ve 45 olarak kabul edilmiştir. Uygulanan filament voltajı ve akımı sırasıyla 800 V ve 20 A olarak ölçüldü. Kaplama işlemi 5 dakika sürmüştür.

5.2. ZnO Temelli İnce Filmlerin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Biriktirilen ince filmlerin element oranları enerji dağılımlı x-ışın (EDX) analizi ile belirlendi. EDS veya EDAX'da olarak adlandırılan EDX,, malzemelerin temel bileşimini belirlemek için kullanılan bir analiz tekniğidir. Uygulamalar, malzeme ve ürün araştırması,

sorun giderme, deformasyon ve daha fazlasını içerir. EDX sistemleri, mikroskobun görüntüleme kapasitesinin ilgilenilen numuneyi tanımladığı elektron mikroskopi aletlerine eklenir. EDX analizi tarafından üretilen veriler, elementlere karşılık gelen tepe noktalarını gösteren spektrumlardan oluşur. EDX tekniği tahribatsızdır bir numune analiz tekniğidir.

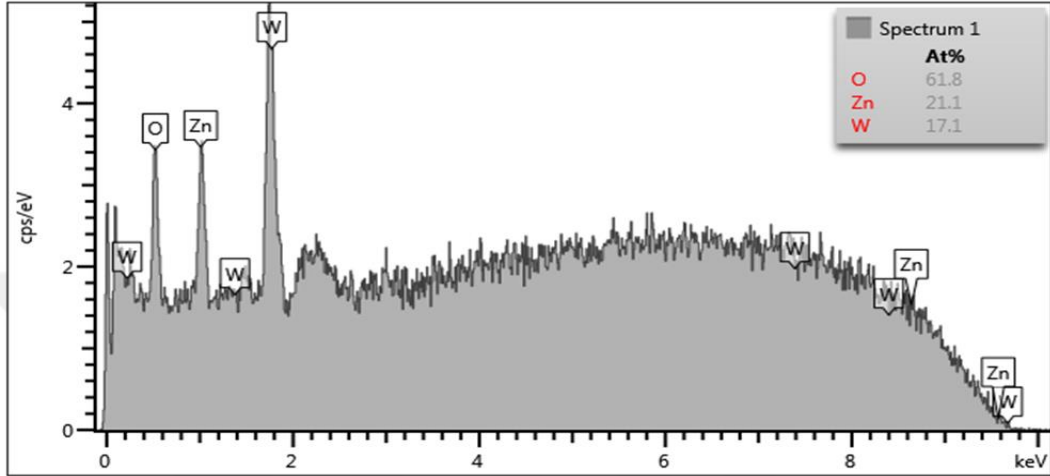
5.2.1. WO₃ katkılı ZnO EDX analizi

Biriktirilen filmlerin O, Zn ve W elementlerinin oranları EDX analizi ile belirlenmiş ve Çizelge 5.1'de tablo olarak ve şekil 5.2'de spektrum olarak verilmiştir. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmin cam ve Si alttaşlar üzerindeki oksijen oranı sırasıyla %70 ve %61 olarak bulundu. Cam alttaş için oksijen oranlarının bir kısmı, alttaş malzemesinden geldi şeklinde yorumlandı.. Cam ve Si alttaş uygulanan ince filmler için Zn/W oranları sırasıyla 0.7 ve 0.4 bulunmuştur. Cam ve Si alttaşlara uygulanan kaplanmış ince filmler için Zn: W oranları sırasıyla % 20:10 ve % 21:18 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Cam ve Si altlıklarda WO₃: ZnO nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.

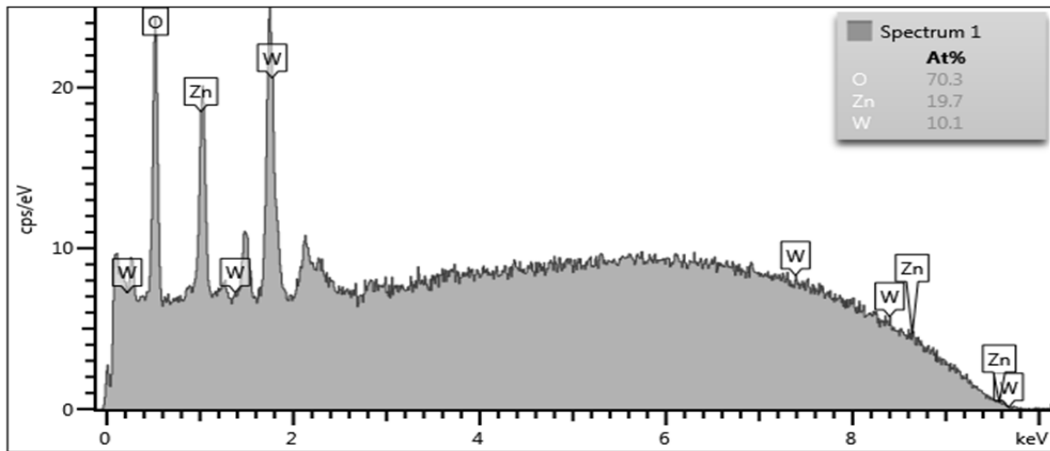
	WO ₃ :ZnO/glass	WO ₃ :ZnO/Si
O (at%)	70	61
Zn (at%)	20	21
W (at%)	10	18
Zn/W	0.7	0.4
Total (wt%)	100.00	100.00

şekil 5.1'de cam alttaş üzerine biriktirilen $WO_3: ZnO$ ince filminin enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.1. Cam alttaş üzerinde $WO_3: ZnO$ 'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu.

şekil 5.2'de Si alttaş üzerine biriktirilen $WO_3: ZnO$ ince filminin enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.2. Si alttaş üzerinde $WO_3: ZnO$ nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.

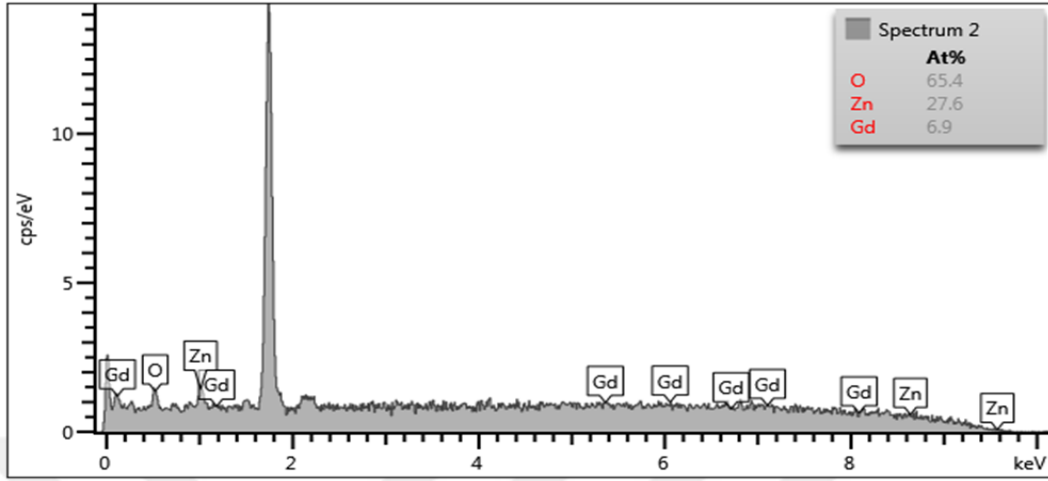
5.2.2. Gadolinium katkılı ZnO EDX analizi

Biriktirilen filmlerin O, Zn ve Gd element oranlarını elde etmek için EDX analizi kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Cam ve silikon alttaşlar üzerindeki ince filmin oksijen oranı sırasıyla %75 ve %65 idi. Cam alttaş üzerinde bazı oksijen elementlerinin bulunması muhtemelen alttaştan kaynaklanmaktadır. Cam ve silikon alttaşlar için Zinc oranı sırasıyla %25 ve %28 idi. EDX spektrumları ile Şekil 5.3 ile 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Cam ve Si alttaşları WO₃: ZnO nanokompozit ince filmin EDX analiz sonuçları.

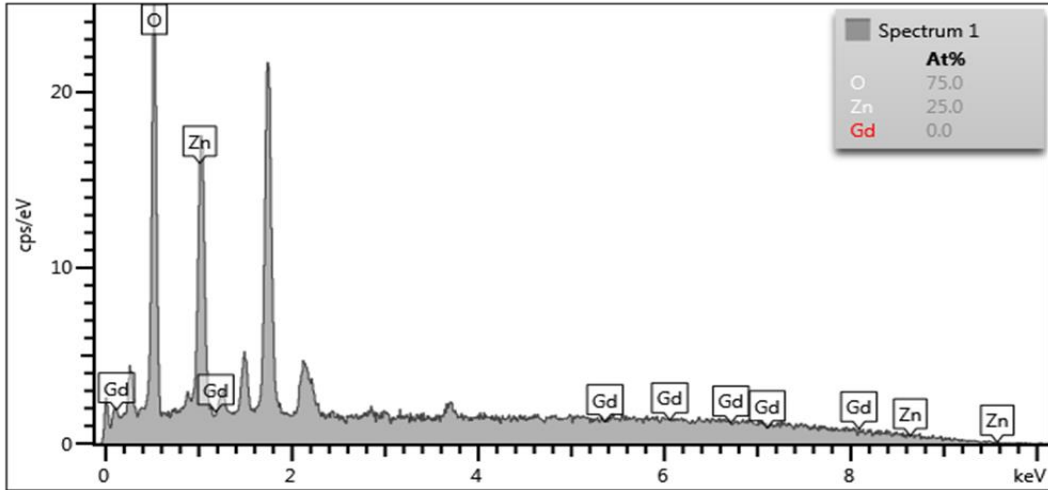
	Gd: ZnO/glass	Gd: ZnO/Si
O (at%)	75	65
Zn (at%)	25	28
Gd (at%)	0	7
Zn/Gd		4
Total (wt%)	100.00	100.00

Şekil 5.3'te cam alttaş üzerine biriktirilen Gd: ZnO ince filminin enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu.

şekil 5.1'de cam alttaş üzerine biriktirilen WO_3 : ZnO ince filminin enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) spektrumu.

5.3. ZnO Katkılı İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Bu çalışmada optik analizler UV–Vis spektrofotometri ve Filmetrics F20 cihazları kullanılarak yapılmıştır. Geçirgenlik ve soğurma değeri ölçümü için Unico 4802 çift ışıklı UV–Vis spektroskopi cihazı kullanıldı. Cam alttaş üzerine biriktirilen film analiz edildi. Kaplanmış numunelerin kalınlığını, yansımasını ve kırılma indisini belirlemek için Filmmetrics F20 ince film kalınlık ölçüm sistemi kullanıldı. Bir yarı iletkenin bant aralığı enerjisi, bir elektronu değerlik bandından iletim bandına uyararak için gereken enerjiyi tanımlar. Biriktirilen ince filmlerin cam alttaş üzerindeki bant aralığı enerjisi optik bir yöntemle tahmin edildi. Bu yöntemde, hesaplama için soğurma ölçümleri kullanılmıştır. α soğurma katsayısıdır ve aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$\alpha = 2.303 A/t \quad (5.1)$$

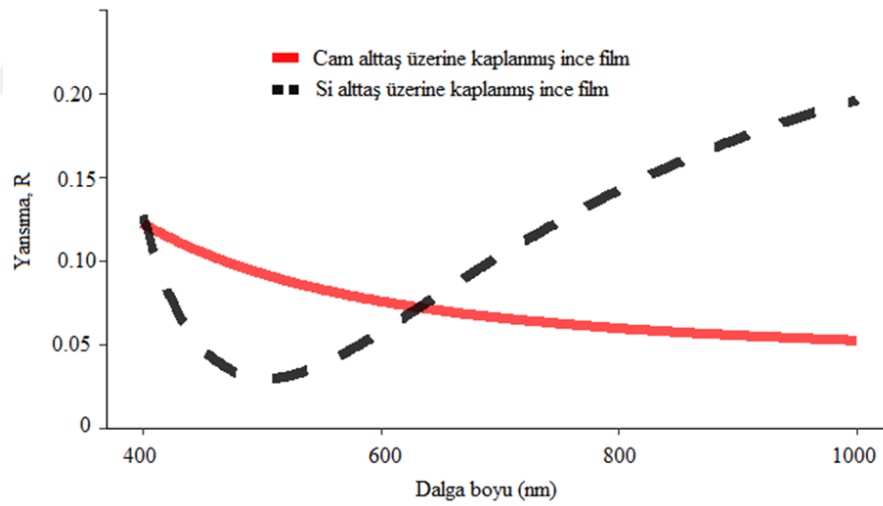
Burada A, biriktirilen ince filmlerin cam üzerindeki soğurmanın ölçülen değeridir ve t, biriktirilen ince filmlerin kalınlığıdır. Ayrıca filmin bant aralığı “Tauc yöntemi” olarak adlandırılan aşağıdaki denklem ile elde edilmiştir:

$$(\alpha h\nu)^m = A (h\nu - E_g) \quad (5.2)$$

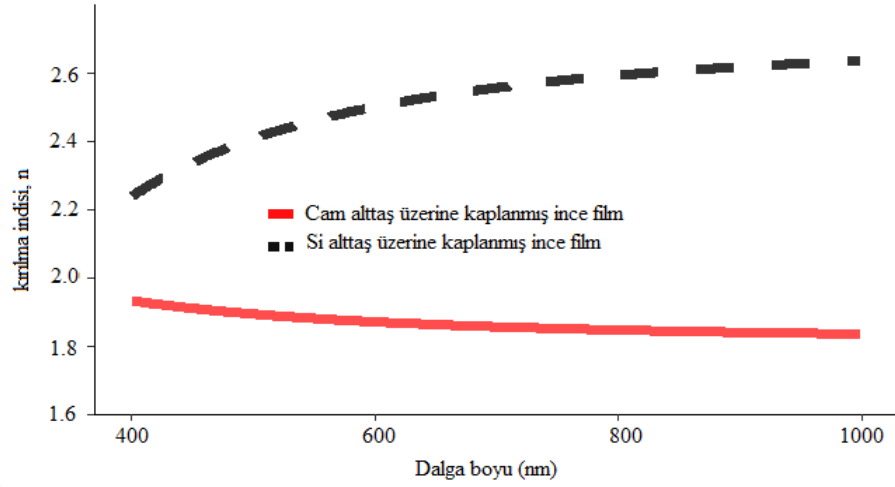
Burada h Planck sabiti, ν gelen fotonun frekansı, E_g bant aralığı enerjisi ve A bir sabittir. Ayrıca m maddeden elektron geçişine bağlıdır ve sırasıyla doğrudan izinli, doğrudan yasak, dolaylı izinli ve dolaylı yasak için sadece 2, 2/3, 1/2 ve 1/3 gibi değerleri alabilir. Bizim Çalışmada ZnO'nun dolaylı doğası nedeniyle m değeri 2 için uygundur. Yarı iletkenlerin fotofiziksel ve fotokimyasal özelliklerini tahmin etmede bant aralığı enerjisinin doğru bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Bu yaklaşım, alt bant boşluk enerjisinin ışığı absorbe etmeyen tüm yarı iletken malzemeler için uygulanabilir (Makuła et al., 2018).

5.3.1. WO₃ katkılı ZnO ince filmler

WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin dalga boyu karşı yansıma (R) ve kırılma indisi (n) grafikleri cam ve Si alttaşları üzerine Şekiller 5.5 ve 5.6'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin yansıma değeri cam alttaş üzerine dalga boyu arttıkça azalmakta ve değeri %5 olarak bulunmuştur. Si alttaş üzerine biriktirilen film için 500 nm'de R değeri %3 bulundu. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaş üzerine kırılma indisi değeri sırasıyla 1.90 ve 2.5 olarak ölçülmüştür. Silikon alttaş üzerine kaplanmış ince film, cam alttaş üzerine biriktirmiş filmde daha yoğundur. Bu nedenle, yoğun filmin kırılma indisi, cam alttaş üzerine biriktiren filmde daha büyüktür.

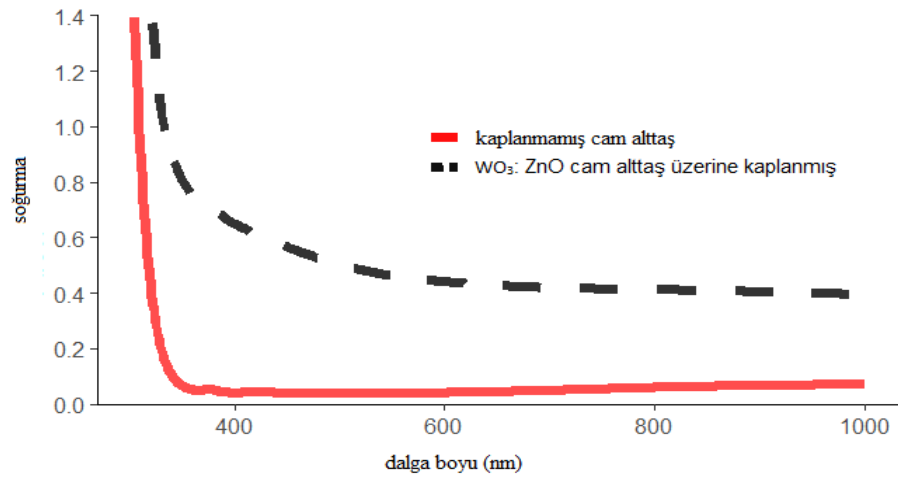


Şekil 5.5. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki yansıma grafikleri

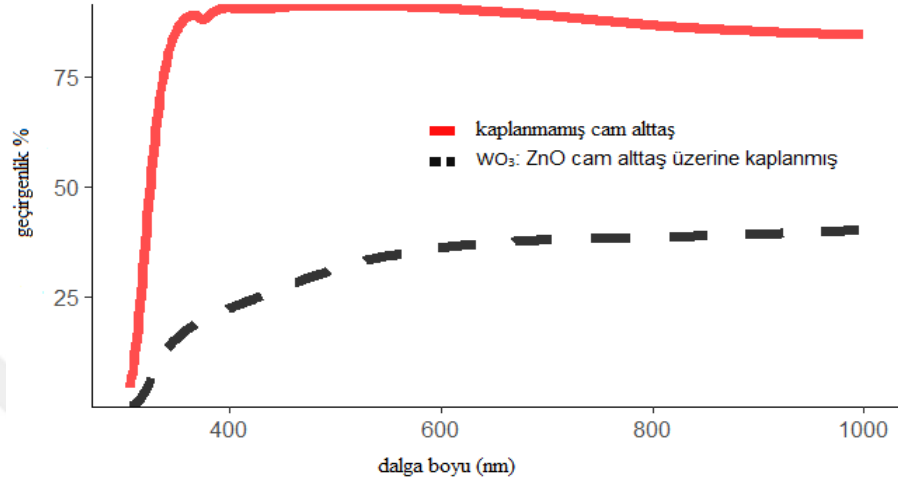


Şekil 5.6. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki kırılma indisi, n grafikleri

WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam alttaş üzerindeki dalga boyu karşı soğurma ve geçirgenlik Şekil 5.7 ve 5.8'de gösterilmektedir ve kaplanmamış cam verileriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 5.7'de görülebileceği gibi, WO₃: ZnO nanokompozit ince film için gelen ışık soğurma, kaplanmamış camdan daha fazladır. Şekil 5.7'de, WO₃: ZnO filmler için geçirgenlik değeri çok düşüktür.

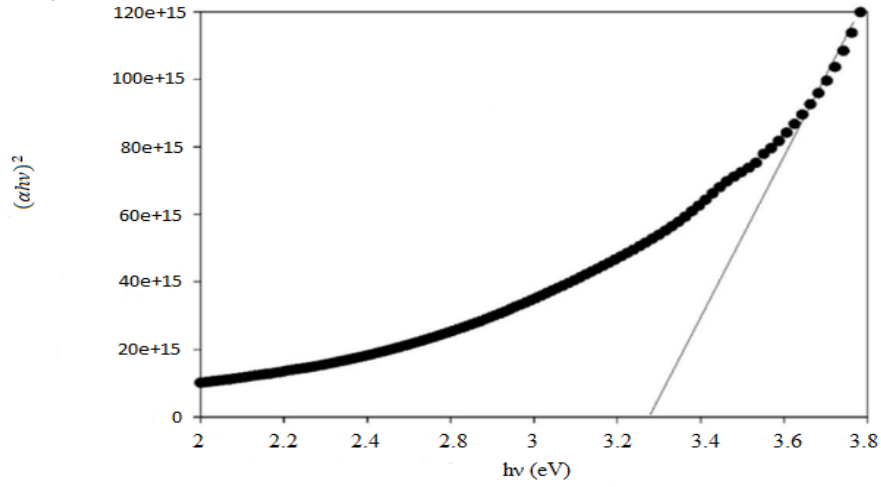


Şekil 5.7. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki soğurma grafikleri



Şekil 5.8. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam ve Si alttaşlar üzerindeki geçirgenlik grafikleri

WO₃: ZnO ince filmlerin cam alttaş üzerindeki bant aralığı şekil 5.9'deki elde edilmiştir. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam alttaş üzerine bant aralığı enerjisi 3.08 eV olarak elde edildi. katıksız ZnO ince filmin bant aralığı enerjisi 3.37 eV'dir. ZnO ince filmlerin bant aralığı enerjisi, WO₃'un katkılanarak daha düşük bir değere düşürülmüştür. ZnO yarı iletkenleri, malzemenin benzersiz özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Şekil 5.8'de, WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerde doğrudan geçiş gözlemlenmiştir. W oranı, WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin bant aralığını değiştirir.

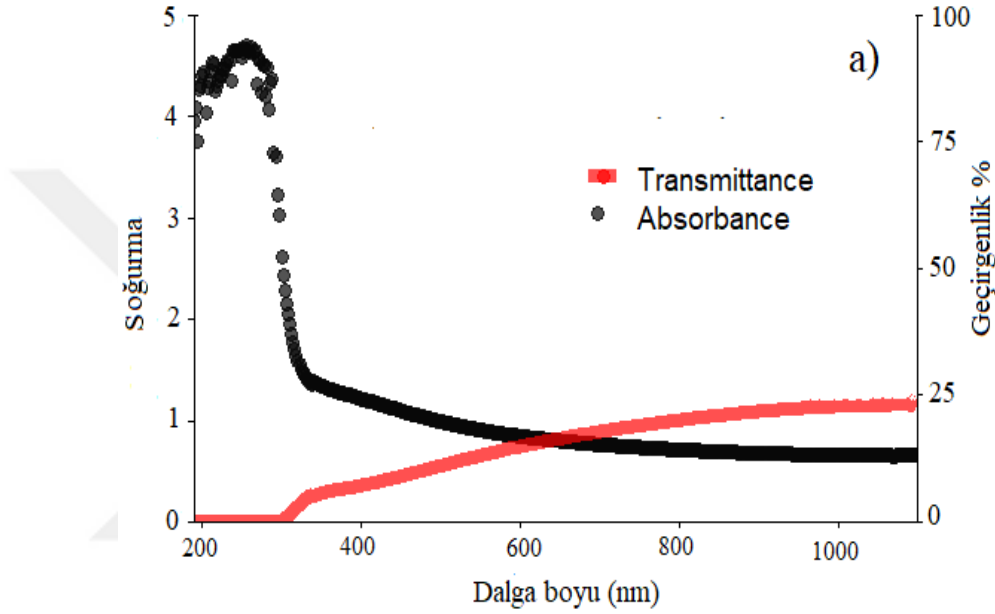


Şekil 5.9. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam üzerindeki bant aralığı grafikleri

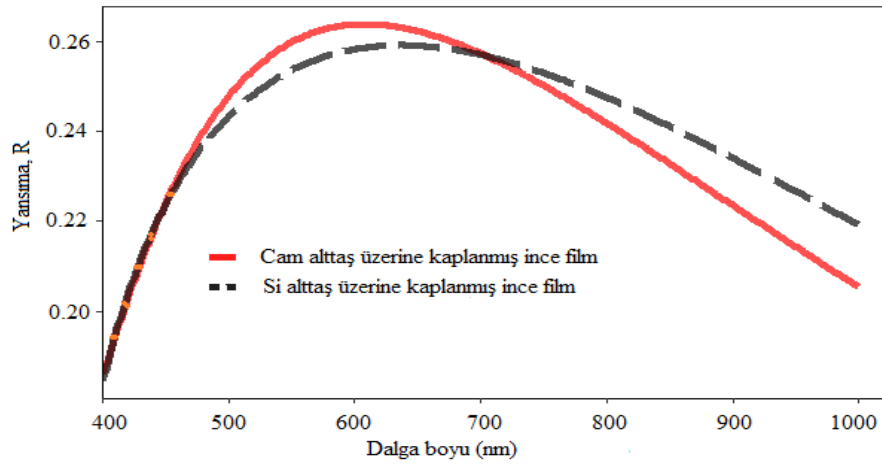
5.3.2. Gadolinium (Gd) katkılı ZnO ince filmler

Gd katkılı ZnO ince filmin soğurması ve geçirgenliği, 200 ile 1100 nm arasında Unico UV–Vis spektrofotometre uygulanarak ölçülmüştür. İnce filmlerin optik sonuçları şekil 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13'te gösterilmektedir. (Şekil 5.10), cam alttaş üzerinde birikmiş Gd katkılı ZnO ince filmin soğurmasını göstermektedir. Kısa dalga boylarında (yaklaşık 200 ile 280 nm arasında) absorbands yüksektir. katkisız çinko oksit ve Gd katkılı ZnO'nun absorbands diyagramları karşılaştırılarak, gadolinyum eklenerek düşük dalga boylarındaki pikin keskinliği azaltılır. Zirvenin keskinliğindeki bu azalma, kristalliliğin azalmasına bağlı olarak gadolinyum miktarının artırılmasıyla devam ediliyor (Aggarwal vd., 2016). Ayrıca 300 nm civarında ani bir düşüşe tanık oluyor. Yaklaşık 320 nm'de, geçirgenlik dik bir eğimle arttı ve 360 ila 450 nm aralığında hafif bir eğimle bir artış görüldü. İnce filmin geçirgenlik değeri, görünür spektrum aralığında yaklaşık %15 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, yansıma ve kırılma indisi ölçüm sonuçları sırasıyla (Şekil 5.11) ve (Şekil 5.12)'de gösterilmektedir. (Şekil 5.11), her iki numunenin yansıma spektrumunun yaklaşık 600 nm'de en yüksek değere sahip olduğunu göstermektedir. Bu parametre, 500 ila 700 nm aralığında cam alttaş üzerindeki kaplanmış film için silikon alttaştan daha yüksektir. (Şekil 5.12), her iki alttaş üzerine bırakılan katmanların

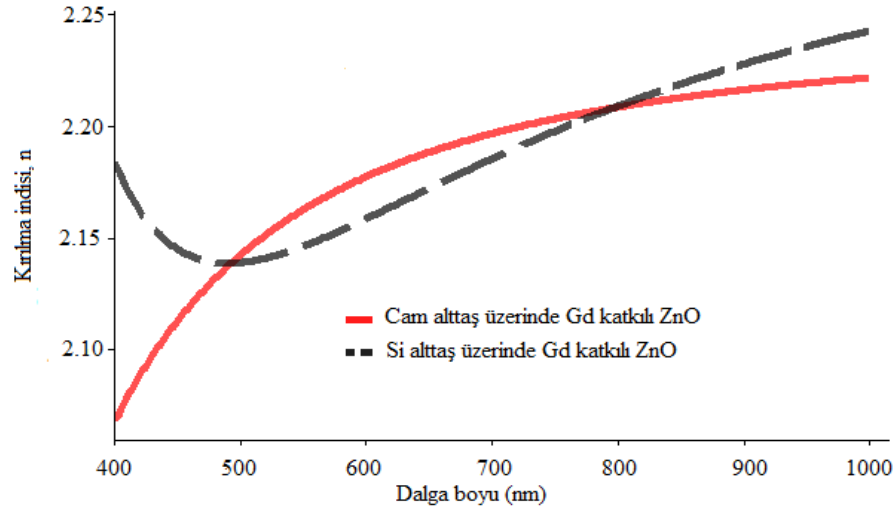
kırılma indisini göstermektedir. Cam altaş üzerine kaplanmış filmin kırılma indisi 400 ile 490 nm arasında bir düşüş gördü ve 490 nm'den 800 nm'ye bir artış gösterdi. Ayrıca grafikler 490 nm'de Birbirlerini kesişiyor.



Şekil 5.10 Gd katkılı ZnO ince filmin cam altaş üzerinde soğurması ve geçirgenliği

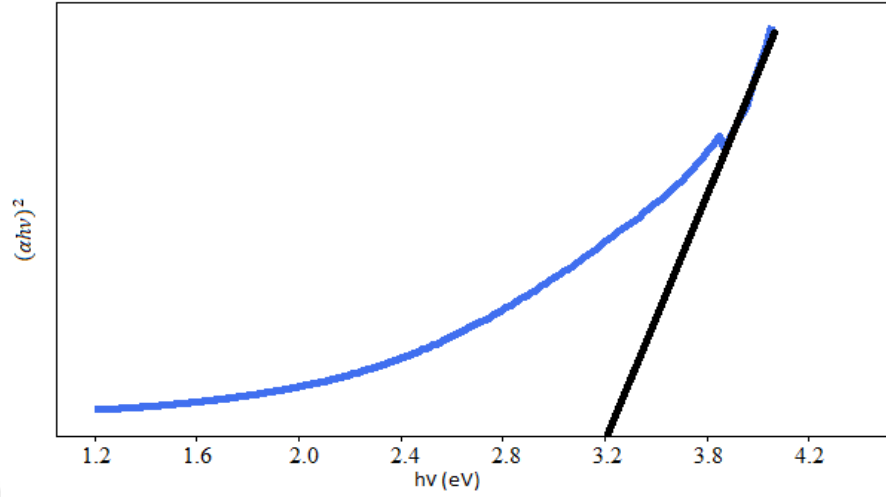


Şekil 5.11 Gd katkılı ZnO ince filmin cam ve silikon altaşlar üzerinde yansımaları



Şekil 5.12 Gd katkılı ZnO ince filmin cam ve silikon alttaşlar üzerinde kırılma indisi

ZnO'nun izin verilen dolaylı geçişine göre, $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşı gelen foton enerji eğrisi Şekil 5.13'te gösterilmektedir. Basitçe, kesme enerjisi değeri verildiğinde y ekseninin doğrusal ekstrapolasyonu numunelerin optik bant aralığını verir. Eğriyi analiz ederek, ince film 2.4 ile 3.8 eV arasında yüksek soğurmaya ve daha düşük enerjilerde daha az soğurmaya sahiptir. E_g , eğri üzerine teğet bir çizgi çizilerek 3.2 eV elde edildi. Gd katkılı ZnO'nun elde edilen E_g 'sinin saf ZnO'nun E_g 'sinden daha düşük olduğu açıktır. E_g 'nin azaltılması, uygulanan gadolinyum miktarı ve kaplama yöntemi gibi faktörlere bağlıdır.



Şekil 5.13 Gd: ZnO nanokompozit ince filmlerin cam üzerindeki bant aralığı enerji grafikleri

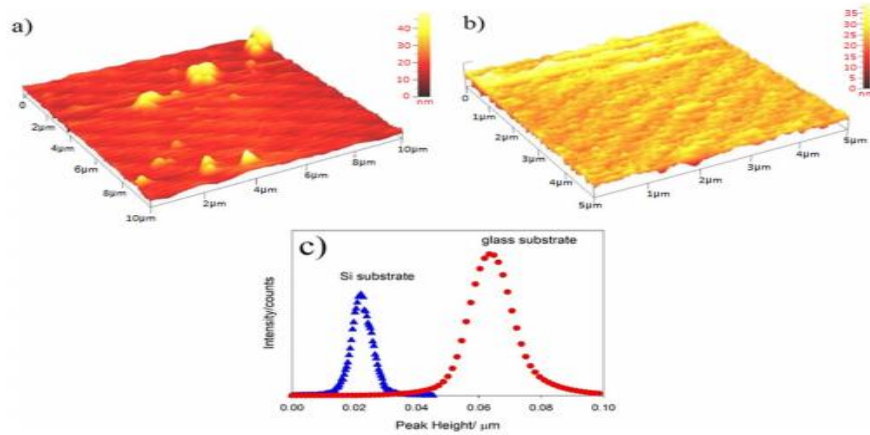
5.4. ZnO Temelli İnce Filmlerin Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi

Katkılı ZnO ince filmlerin yüzey özelliklerini araştırmak için Ambios Q-Scope atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve Zeiss SUPRA 55 alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanılmıştır. Daha iyi analiz için Zeiss SUPRA 55 FESEM ile silikon ve cam alttaşlar üzerindeki ince filmlerin farklı büyütmede görüntülenmesi gerçekleştirilmiştir. Cam ve Si alttaşlar üzerine

üç boyutlu olarak biriktirilen ince filmlerin topografi yüzey görüntüleri, bir Ambios Q-Scope atomik kuvvet mikroskobu cihazı (AFM) kullanılarak elde edildi. AFM ve yüzey istatistiksel veri ölçümleri, oda sıcaklığında temassız moda yapıldı. AFM bir taramalı prob analiz yöntemi olup, tahribatsız bir analiz yöntemidir. Skewness, Kurtosis, kök-ortalama-kare (nm), tanecik boyutu ve yüzeyde çatlama olmaması gibi önemli veriler elde edildi ve bu da yüzey hakkında önemli bilgiler ortaya koyuyor (Torrent-Burgués ve Sanz, 2014).

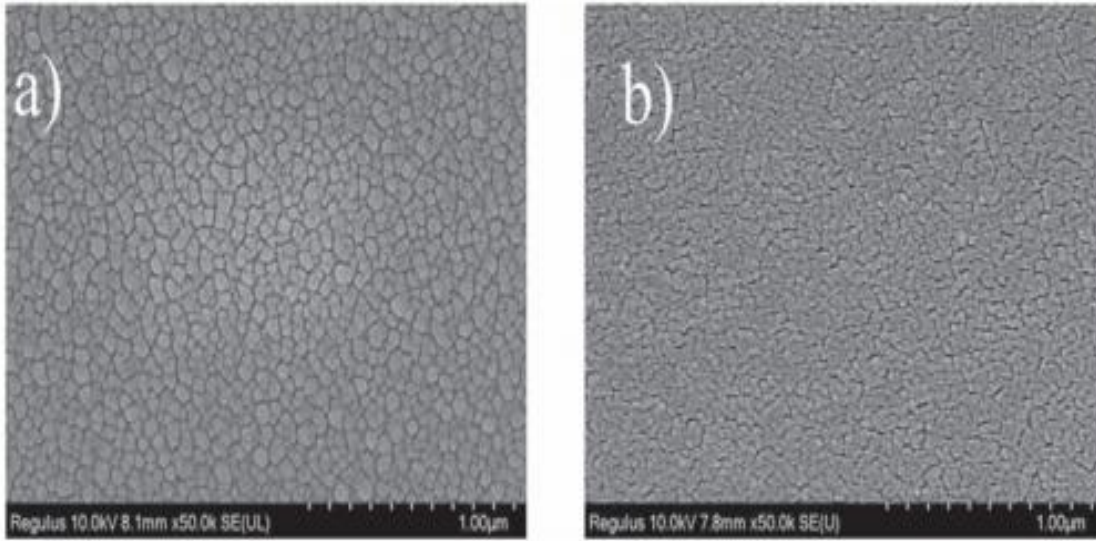
5.4.1. WO₃ katkılı ZnO ince filmler

Filmin yüzey ve morfolojik özelliklerini temassız modda incelemek için bir atomik kuvvet mikroskobu (Ambios Q-scope Atomic Force Microscope) uyguladık. Cam ve Si alttaşlar üzerine bırakılan WO₃: ZnO nanokompozit ince film için tüm ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. AFM'den elde edilen görüntüler ve sonuçlar, Şekil (5.14.a) ve (5.14.b)'de gösterilmektedir. Görüntüler sırasıyla 10 µm × 10 µm ve 5 µm × 5 µm'de elde edildi. Örnekler için görüntü ölçekleri farklıdır çünkü en iyi görüntüler elde edilmiştir. AFM görüntülerinin yüzeyinde tanecikler ve kristalitler açıkça görülmektedir. Silikon alttaş üzerine bırakılan film için kristalitler, cam alttaşın değerinden daha küçüktür ve homojenlidir. Silikon alttaş üzerine bırakılan filmin kristalitleri, cam alttaşın değerinden daha küçüktür ve daha homojendir. Yüzey görüntülerinin kristalit dağılım fonksiyonu Şekil (5.14.c)'de verilmiştir. Cam ve Silikon alttaşlar üzerine bırakılan filmin ortalama kristal yüksekliği sırasıyla yaklaşık 70 nm ve 20 nm bulundu. Silikon alttaş ile kristalit boyutlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Kök ortalama kare (RMS) değeri, pürüzlü bir yüzey belirtmek için önemli bir parametredir. Cam ve Si alttaşlar için elde edilen değerler sırasıyla 3.4 ve 3.3 nm'dir. Silikon alttaş üzerine kaplanmış WO₃: ZnO nanokompozit ince filmin camdan biraz daha pürüzsüz olduğunu gösterir. AFM görüntülerini göz önünde bulundurarak, cam alttaş üzerinde keskin tepe noktalarının varlığını fark ederiz. Yüzey simetrisi ve yüzeydeki malzemelerin dağılımı da skewness (Ssk) ve kurtosis(Skr) gibi boyutsuz parametrelerle tanımlanır. Skewness değeri, yüzeyde oluşan tepeler ve vadiler ile sonuçlanır ve ayrıca kurtosis, kaplamadan sonra çivi benzeri büyümenin büyümesiyle ilgilidir. Cam ve Silikon alttaşlar üzerindeki filmler için skewness miktarı sırasıyla 1.1 ve 0.062 idi. WO₃ katkılı ZnO filmlerin Skr değerleri cam ve Si alttaşlarda sırasıyla 8.6 ve 5.7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.14. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmlerin a) cam ve b) silikon alttaşlar üzerindeki AFM görüntüleri

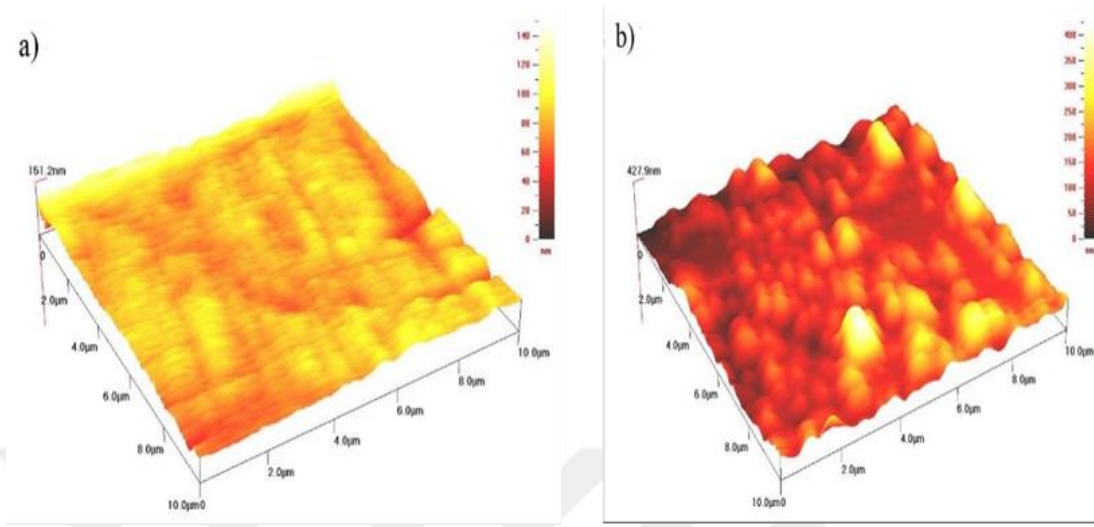
Şekil 5.15'te görüldüğü gibi, hem cam hem de Silikon alttaşların yüzeyinde homojen dağılımlı bir kaplama vardır. Görüntüler, her iki alttaş için kaplanmış WO₃: ZnO nanokompozit ince filmler üzerinde boşluk ve çatlak oluşumunun olmadığını göstermektedir. FESEM resimlerinin yanı sıra camdaki tanecik boyutunun silikondaki tanecik boyutundan daha büyük olduğunu da göstermektedir. AFM ve FESEM görüntülerinden elde edilen bilgileri karşılaştırarak, elde edilen bilgilerin tutarlı olduğunu yorumu yapılabilir. Cam için RMS parametresi silikondan daha büyük olduğundan, FESEM görüntülerinde camdaki tane boyutu silikondan daha büyüktür. Sonuç olarak, silikon alttaş üzerindeki kaplama malzemesinin yüzeyi, rakibi olan camdan daha pürüzsüzdür.



Şekil 5.15. WO₃: ZnO nanokompozit ince filmin (a) cam ve (b) Si alttaşlar üzerindeki SEM görüntüleri.

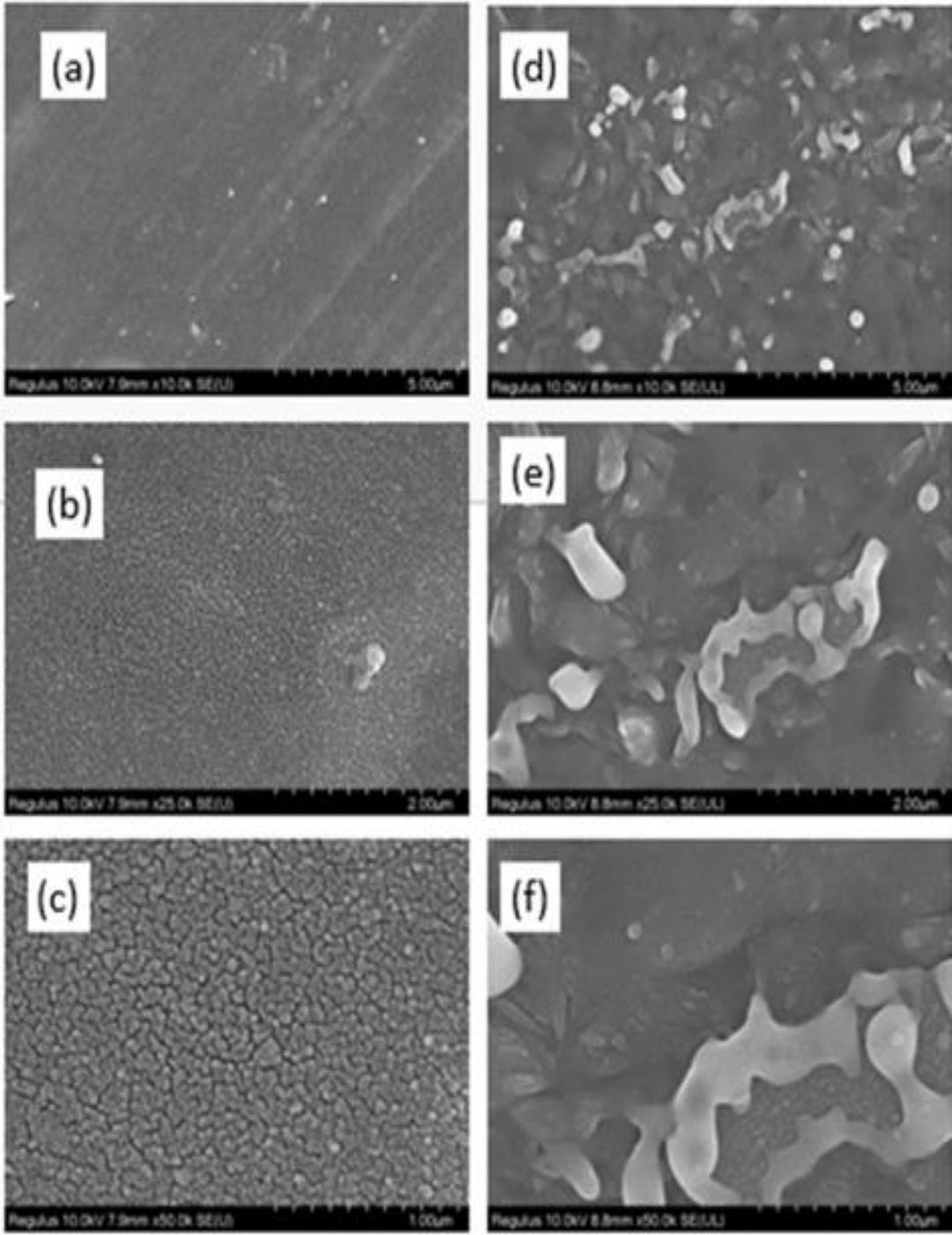
5.4.2. Gadolinium (Gd) katkılı ZnO ince filmler

Numunelerin yüzey morfolojisi Ambios Q-Scope AFM tarafından temassız modda incelendi ve sonuçlar şekil (5.16.a) ve (5.16.b)'de gösterildi. Görüntüler 10 μm × 10 μm alanda elde edildi. Bu cihaz ile RMS sapması (Sq), skewness, kurtosis ve ortalama sapma (Sa) gibi değerli detaylar elde edildi. Silikon alttaşı üzerinde, AFM görüntüsü yüksek bir tane yoğunluğunu temsil eder. Ayrıca yaklaşık 38 nm'lik yüksek bir yüzey pürüzlülüğü gösterir ve cam için olan yüzeylerde (6 nm) yüzey pürüzlülüğünden çok daha büyüktür. Ayrıca Kurtosis (Skr) ve Skewness (Ssk), düzlük ve asimetri gösteren diğer iki önemli parametredir. Gd katkılı ZnO ince filmlerin silikon ve cam alttaşları üzerinde Skewness değerleri 0.9 ve 0.1 idi. Cam üzerinde biriken katman, silikon alttaştan daha pürüzsüzdür. Ayrıca, kaplanmış katmanların kurtosis parametresi, cam üzerinde 0.2 ve silikon alttaşlar üzerinde 1.8 elde edilmiştir. Skewness and kurtosis parametreleri analiz edilerek, silikon alttaş üzerindeki tabakanın pürüzlü ve dikenli bir yüzeye sahip olduğu ve cam alttaş üzerinde çok daha pürüzsüz ve yumuşak olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.16. Gd: ZnO nanokompozit ince filmin (a) cam ve (b) Si substratlar üzerindeki AFM görüntüleri.

Seçilen alttaşlar üzerinde büyütülen Gd katkılı ZnO ince film birikiminin FESEM görüntüleri Şekil (5.17)'te gösterilmiştir. Daha iyi inceleme için görüntüler üç farklı büyütmede hazırlanmıştır. Şekil (5.17.a-c) ve (5.17.d-f), sırasıyla cam ve silikon alttaşlar üzerinde biriktirilen filmler içindir. Görüntüler, cam alttaşlar üzerine bırakılan ince film için daha düzenli ve tek biçimli bir tane boyutunu göstermektedir. Şekil 5.17.c'te tane sınırları ve tane boyutları numune yüzeyine yakınlaştırılarak görünür hale gelmektedir. Cam alttaş üzerine bırakılan film, herhangi bir çatlak ve anormal şekil içermez ve düzenli tanelere sahiptir. Silikon alttaş üzerindeki ince film oldukça farklı morfolojilere sahipken, olasılıkla rasgele yönelimli çekirdekler ilk olarak yüzeyde oluşmuş ve biriktirme sırasında bu çekirdekler büyümeye başlamıştır.



Şekil 5.17. Gd: ZnO nanokompozit ince filmin (a-c) cam ve (b-d) Si altaşlar üzerindeki FESEM görüntüleri.

5.5. Ince filmlere ait Urbach enerjisi

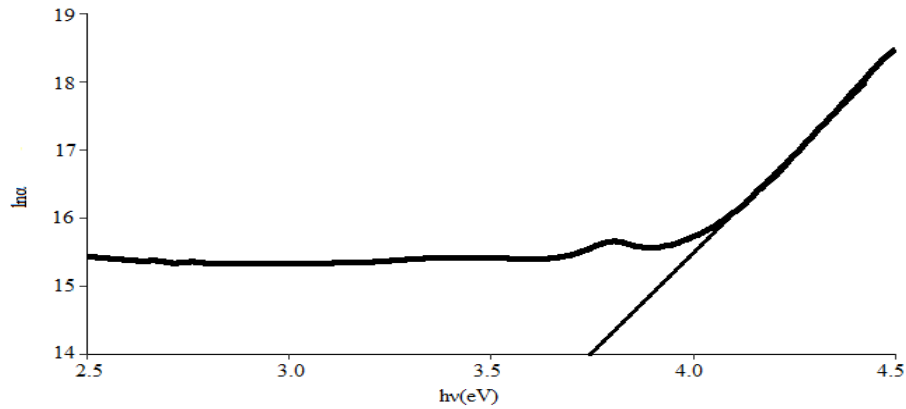
Urbach enerjisi E_u , bant yapısını bozan bir malzemedeki yüksek kusur durumlarının bir ölçüsüdür. Tauc bölgesinde, yani güçlü soğurma zirvesi ve zayıf soğurma dizisi arasında, soğurma katsayısı α , foton enerjisi $h\nu$ ile üssel olarak değişir. $\ln\alpha$ ve $h\nu$ arasında doğrusal bir ilişki Urbach tarafından rapor edilmiştir ve genellikle Urbach kuralı olarak bilinir. Bu, matematiksel ifadeyle açıklanır:

$$\alpha = \alpha_0 e^{\left(\frac{h\nu}{E_u}\right)} \quad (5.3)$$

burada α_0 bir üstel sabittir. E_u değerini belirlemek için, $\ln\alpha$ parametresi $h\nu$ 'nin bir fonksiyonu olarak çizildi. $\ln\alpha - h\nu$ grafiğinin doğrusal kısmının eğiminin tersi, belirli bir ince film için E_u değerini sağlar. Aslında Şekil 18 a-d, ince filmler için foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak soğurma katsayısının değişimini göstermektedir. Bu şekilde elde edilen Urbach enerjisi değerleri Çizelge 5.3'te listelenmiştir. Değerler, bu ince filmlerde bir bozukluğun varlığını kanıtladı. Bir malzemenin Urbach enerjisi ne kadar düşükse, malzemenin daha iyi kristal kalitesine sahip olduğu anlamına gelir.

5.5.1. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO filme ait Urbach enerjisi

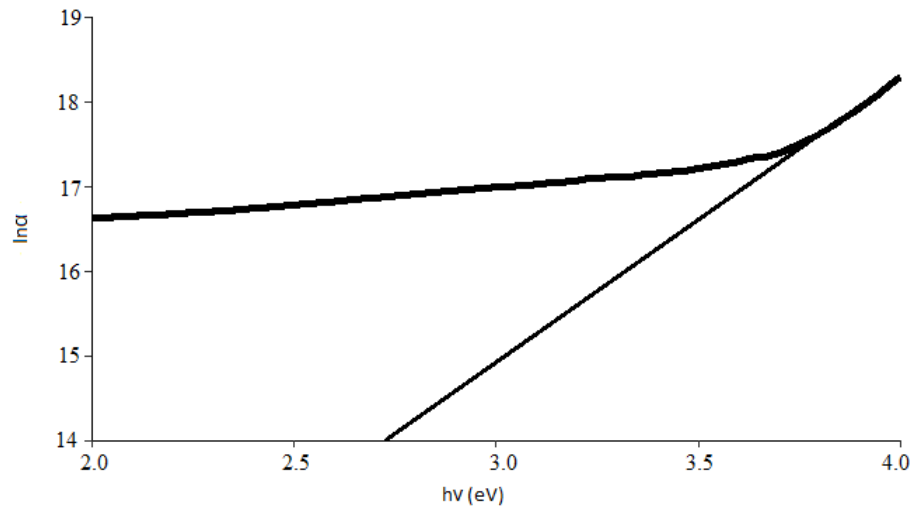
(Şekil 5.18), cam alttaş üzerine bırakılan WO₃: ZnO'nun $\ln(\alpha) - (h\nu)$ eğrisini göstermektedir. İnce filmin Urbach enerjisi, x eksenlerini kesen düz çizginin karşılıklı değeri alınarak tahmin edilmiş ve değerler Çizelge 5.3'te tablolştırılmıştır. Diyagramdan elde edilen bilgilere göre istenilen malzeme için Urbach enerjisi 0.17 eV elde edilmiştir. Dabus vd. Çinko yapısında artan tungstenin E_u 'yu azalttığını gösterdi. Bu sonuçlar araştırmamızla tamamen uyumludur (Dabbous etal., 2014).



Şekil 5.18. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.

5.5.2. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO filme ait Urbach enerjisi

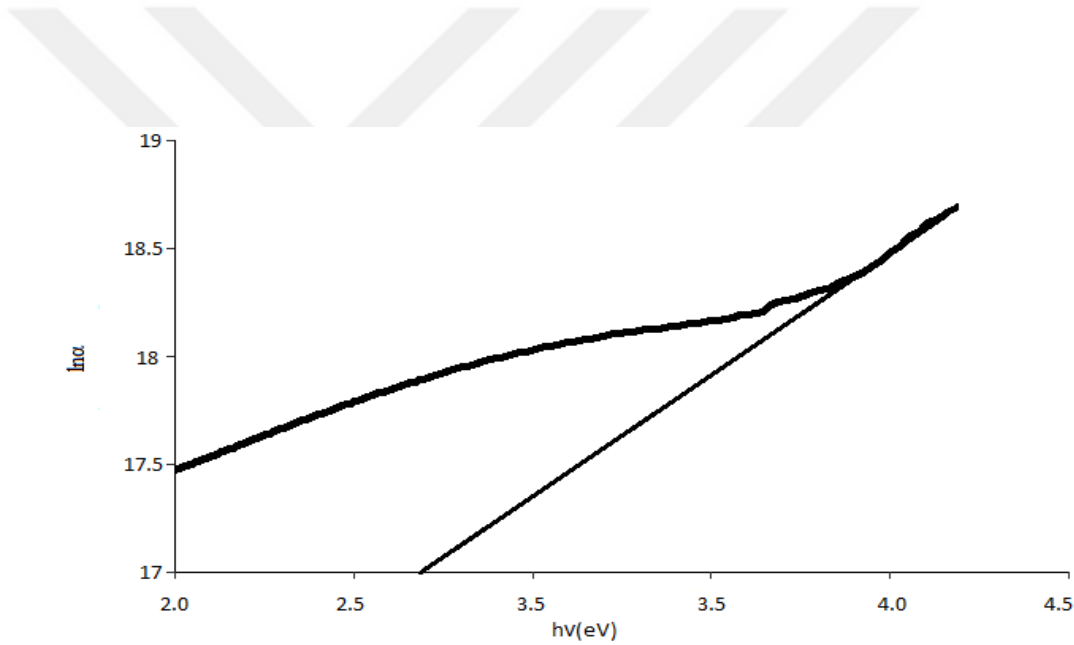
(Şekil 5.19), Si alttaş üzerine bırakılan WO₃: ZnO'nun $\ln(\alpha) - (h\nu)$ eğrisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi teğet doğru X eksenini 2.7 eV'da kesmiştir. Grafikten elde edilen değerleri formüle yerleştirerek Urbach enerjisi silikon 0.53 eV için elde edildi.



Şekil 5.19. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.

5.5.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filme ait Urbach enerjisi

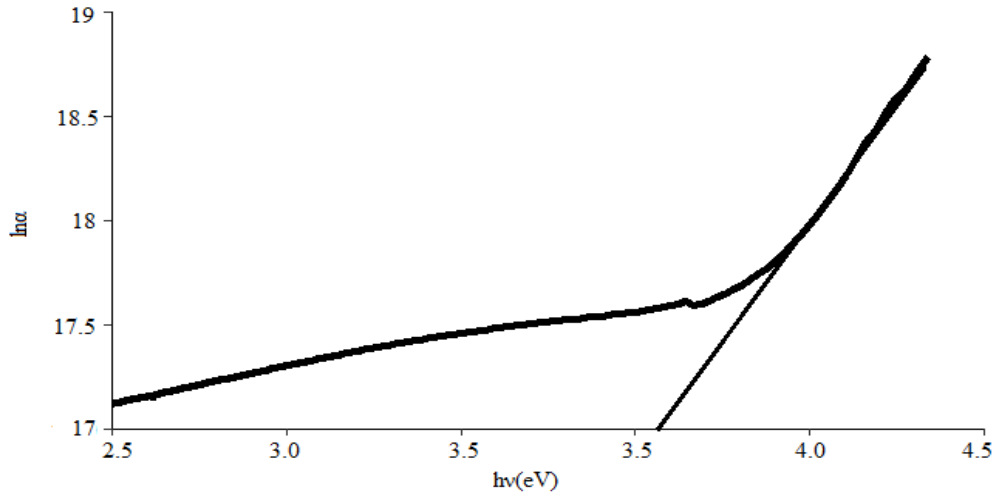
Şekil (5.20), cam alttaş üzerine bırakılan Gd: ZnO'nun $\ln(\alpha) - (h\nu)$ eğrisini göstermektedir. $3.7 \text{ eV} < h\nu < 4.1 \text{ eV}$ aralığında teğet doğru X eksenini 2.7'de kesmiştir. Grafiğe göre, α_0 'nin değeri 14.9'dur. Grafikten elde edilen değerleri formüle yerleştirerek Urbach enerjisi silikon 1.15 eV için elde edildi.



Şekil 5.20. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.

5.5.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filme ait Urbach enerjisi

Şekil (5.21), Si alttaş üzerine bırakılan Gd: ZnO'nun $\ln(\alpha) - (h\nu)$ eğrisini göstermektedir. Şekile göre $h\nu$ 'nün değeri 3.6 eV elde edilir. Grafiğe göre, α_0 'nin değeri 9.75'dir. Gd: ZnO için Urbach enerjisi 0.5 eV elde edilir.



Şekil 5.21. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO için Urbach enerjisinin belirlenmesi.

Çizelge 5.3. İnce filmlerin bant aralığı ve Urbach enerjisi değerleri

	E _g eV	E _u eV
WO ₃ : ZnO-cam	3.2	0.17
WO ₃ : ZnO-Silisyum	--	0.53
Gd: ZnO-cam -cam	3.2	1.15
Gd: ZnO-cam - Silisyum	--	0.5

5.6. İnce filmlerin sönme katsayısı

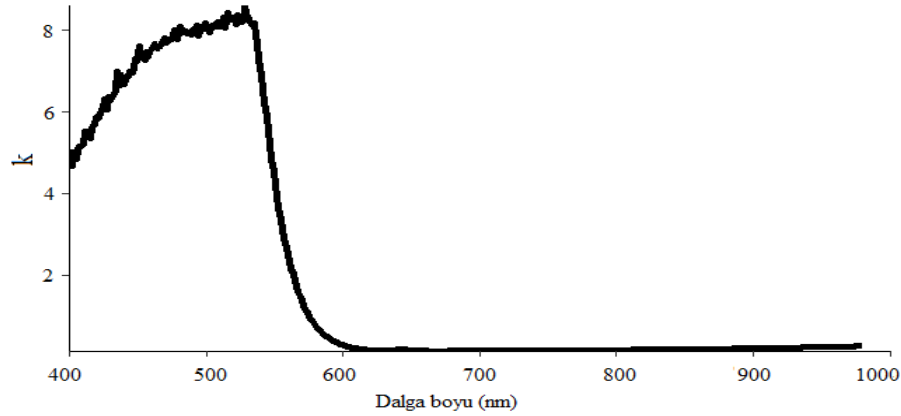
Hazırlanan gibi filmlerin sönme katsayısı (k) aşağıdaki formülden belirlendi.

$$\kappa = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (5.4)$$

burda α soğurma katsayısı ve λ dalga boyudur. Hazırlanan filmler için, sönme katsayısının λ ile değişimi Şekil 22'de ekte gösterilmektedir (Behera vd., 2019).

5.6.1. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO filmlere ait sönme katsayısı

400 ila 560 nm dalga boylarında, sönme katsayısı sabit bir eğimle artar. Yaklaşık 580 nm dalga boyunda çok keskin bir şekilde azalır ve sıfıra düşer. Görünür dalga boyları aralığında (400 ila 700 nm), ortalama sönme katsayısı 1,85'tir. 400 ila 1000 nm aralığında, ortalama sönme katsayısı 1.28'dir.

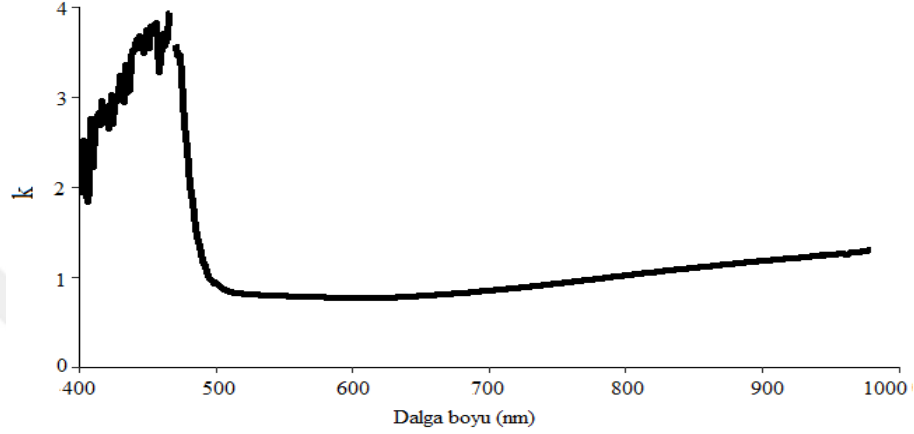


Şekil 5.22. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO sönme katsayısı grafiği

5.6.2. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO filmlere ait sönme katsayısı

580 nm'de silikon alttaş üzerindeki çinko ince film için maksimum sönme katsayısı yaklaşık 4'tür. Görünür dalga boyunda, ortalama sönme katsayısı 1.13'tür ve bu, cam alttaş üzerinde katkılı ince filmde daha azdır. Ölçülen tüm dalga boyu aralığında, sönme katsayısının ortalaması 0.63'tür ve bu, cam substratın ortalamasının yaklaşık yarısıdır. Görünür ve yakın kızılötesi bölgedeki sönüm katsayısının düşük değeri, filmlerin yüzey düzgünlüğünü ve yüksek geçirgenliğini göstermektedir (Vinodkumar vd., 2018). Bu, AFM'den elde edilen görüntülerle

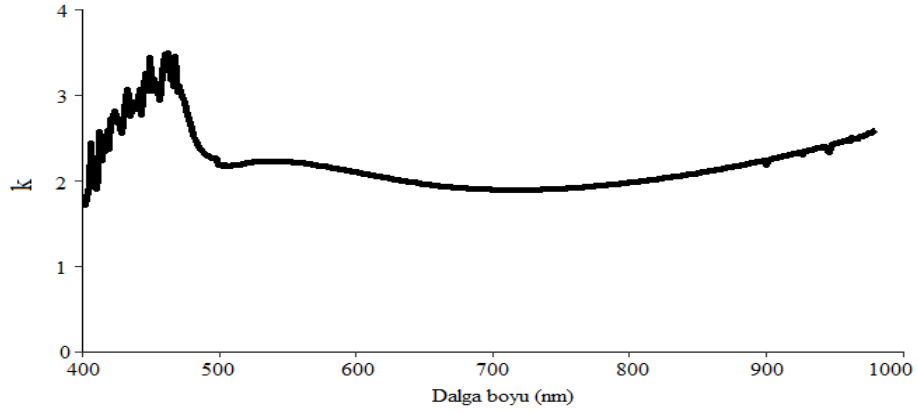
tamamen tutarlıdır. Elde edilen görüntülere göre silikon alttaş üzerindeki ince film daha pürüzsüz bir yüzeye sahiptir.



Şekil 5.23. Si alttaş üzerinde WO_3 : ZnO filmlere ait sönme katsayısının katsayısı grafiği

5.6.3. cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait sönme katsayısı

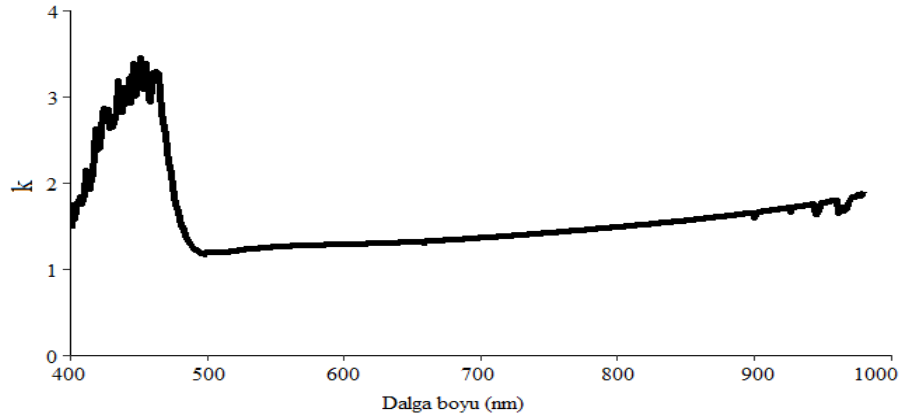
Aşağıdaki şekilde cam alttaş üzerine Gadolinyum katkılı ZnO ince filmin sönme katsayısı çizilmiştir. 400 ila 490 nm aralığında, sönme katsayısı artar. Yaklaşık 490 nm'de, sönme katsayısı dik bir eğimle azalır ve 500 ila 1000 nm aralığında 2'de nispeten sabit bir eğimle kalır. Görünür aralıkta ortalama sönme katsayısı 2.25 ve ölçülen tüm dalga boyunda 2.17'dir. Sönme katsayısının maksimum değeri 490 nm'de dir ve değeri 3,7'dir.



Şekil 5.24. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait sönme katsayısı grafiği

5.6.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO ince filmlere ait sönme katsayısı

Aşağıdaki şekilde Si alttaş üzerine Gadolinyum katkılı ZnO ince filmin sönme katsayısı çizilmiştir. 400 ila 470 nm aralığında grafik yükseliş gösteriyor. Bu diyagramı cam üzerindeki sönme katsayısı diyagramıyla karşılaştırdığımızda, diyagramların neredeyse benzer olduğu sonucuna varıyoruz ve alttaşlar, sönme katsayısı üzerinde hiçbir etkisi yoktur.



Şekil 5.25. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait sönme katsayısı grafiği.

5.7. Biriken ince filmlerin Deri derinliği (δ)

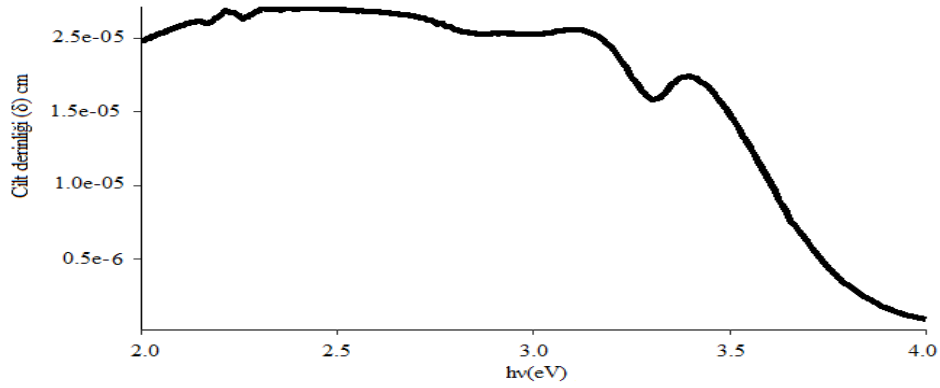
Elektromanyetik dalganın genliği, belirli bir birim kalınlığa nüfuz ettikten sonra azalır, buna deri derinliği (δ) denir. Daha basit bir şekilde Yüzey derinliği değeri, ışığın bir yarı iletkene nüfuz ettiği mesafenin tahmin edilmesini sağlar. δ değeri, yarı iletken özelliklerinin yanı sıra frekansa (dalga boyunun tersi) bağlıdır. Farklı kalınlıklardaki ince filmlerin deri derinliği aşağıdaki bağıntı ile değerlendirilmiştir:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi k} \quad (5.5)$$

burada λ fotonun dalga boyu ve κ sönme katsayısıdır. İnce filmlerin foton enerjisine karşı deri derinliği şekil 5.26, 5.27, 5.28, 5.29'da gösterilmektedir. İnce filmlerin δ değerlerinin, film kalınlığının artmasıyla azaldığı bulunmuştur. Bu, deri derinliği ile soğurma katsayısı arasındaki ters orantılı ilişkiden kaynaklanmaktadır (El Radaf vd., 2020).

5.7.1. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO filmlere ait deri derinliği

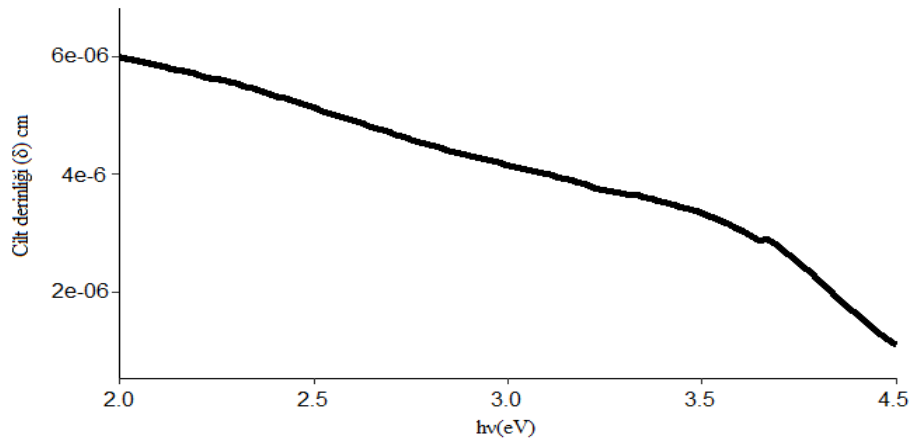
2 ila 3.4 eV enerji aralığında, ışığın malzemeye nüfuz etme derinliği yaklaşık olarak sabittir ve, 5×10^{-5} cm'e eşittir. 3 eV'den itibaren deri derinliği azalır. 2 ila 3.4 eV enerji aralığında ortalama deri derinliği 1.69×10^{-5} cm'dir. 2 ila 4 eV enerji aralığında ortalama deri derinliği 1.37×10^{-5} cm'dir.



Şekil 5.26. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO deri derinliği grafiği.

5.7.2. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO filmlere ait deri derinliği

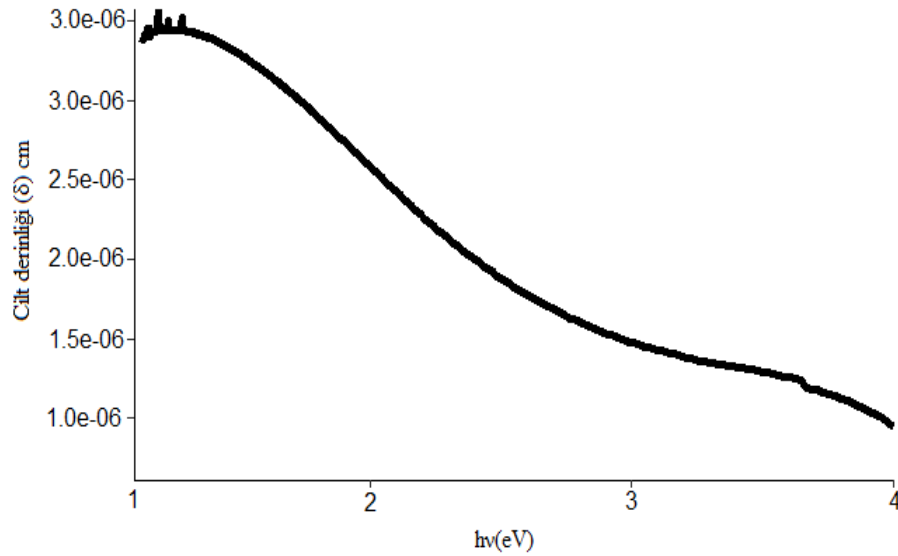
Aşağıdaki şekilde Si alttaş üzerine WO₃ katkılı ZnO ince filmin deri derinliği çizilmiştir. Enerji arttıkça, deri derinliği düzgün bir şekilde azalır. Ayrıca, ölçülen tüm enerji aralığında ortalama deri derinliği 5×10^{-6} cm'dir. Silisyum alttaş üzerindeki ince filmin deri derinliğinin cam alttaştan daha az olmasına neden olan bir faktör, ince tabakanın kalınlığıdır. Çünkü filmmetrics cihazı ile yapılan ölçümlere göre silikon alttaş üzerindeki ince filmin kalınlığı cam alttaşından daha fazladır.



Şekil 5.27. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO deri derinliği grafiği.

5.7.3. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait ideri derinliği

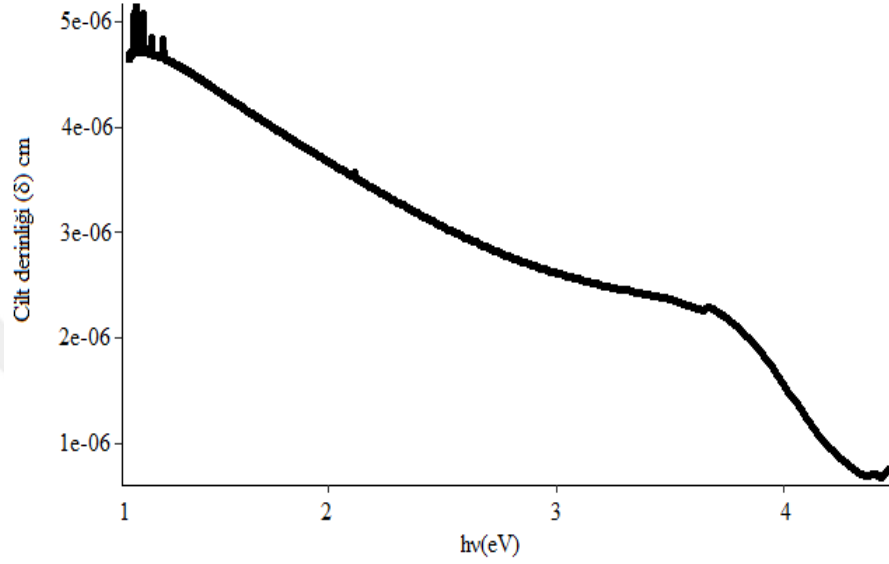
Aşağıdaki şekilde cam alttaş üzerine Gadolinium katkılı ZnO ince filmin deri derinliği çizilmiştir. Diyagramdan da anlaşılacağı gibi enerji arttıķa, deri derinliği azalır. Cam alttaş üzerinde Gd katkılı ZnO için ölçülen tüm enerji aralığında ortalama deri derinliği 5×10^{-6} cm'dir.



şekil 5.28. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO ince filmlere ait deri derinliği grafiği.

5.7.4. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait deri derinliği

Aşağıdaki şekilde Si alttaş üzerine Gadolinium katkılı ZnO ince filmin deri derinliği çizilmiştir. şekilden anlaşılacağı gibi, enerji arttıķa, deri derinliği azalır. Silicon alttaş üzerinde biriken Gadolinyum katkılı çinko oksit ince filmlerinin deri derinliği, foton enerjisinin artmasıyla, kesim dalga boyuna ulaşana kadar azaldı. Gd: WO₃ rneklerinin kesme enerjisinin değeri, E_{cut-of} değeri yaklaşık 4.5 eV idi ve λ_{cut-of} değeri yaklaşık 454 nm idi.



Şekil 5.29. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO filmlere ait deri derinliği grafiği.

5.8. Optiksel dielektrik sabitleri

Bir katının polarize edilebilirliği, yasak bant aralığı içindeki durumların yoğunluğu ile ilişkilidir. katının karmaşık dielektrik fonksiyonu (ϵ^*) aşağıdaki gibi dir:

$$\epsilon^* = \epsilon_1 + i\epsilon_2 = (n^*)^2 = (n + ik)^2 \quad (5.6)$$

Burada ϵ_1 dielektrik sabitinin gerçek kısmıdır, yani katı içinde depolanan enerji ve ϵ_2 katı içindeki dağılma enerjisiyle bağlantılı dielektrik sabitinin sanal kısmıdır. Denklem'den (5.6), aşağıdaki ilişkileri elde ederiz:

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (5.7)$$

$$\epsilon_2 = 2nk \quad (5.8)$$

İnce filmler için ε_1 ve ε_2 değerleri Denklem (5.7) ve Denklem (5.8) kullanılarak hesaplandı ve λ 'nın bir fonksiyonu olarak çizildi. ε_1 ve ε_2 değerleri tüm filmler için aynı şekilde λ ile değişir.

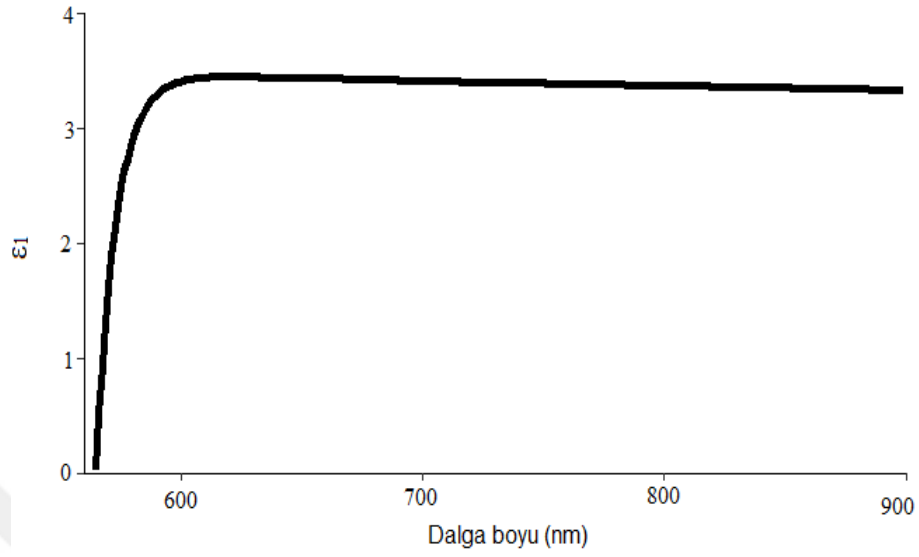
Ayrıca ince filmler için dielektrik kayıp faktörünü ($\tan\delta$) dalga boyuna (λ) karşı çizebiliriz. Dielektrik kaybının hesaplanmasında kullanılan bağıntı şu şekilde verilir:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (5.9)$$

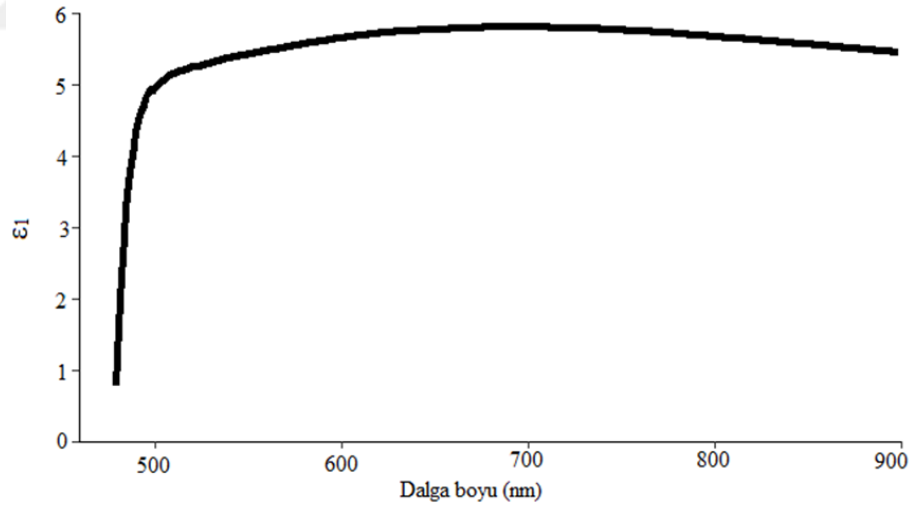
dielektrik kaybı, dielektrik katıdaki güç kaybının bir ölçüsüdür. Kafesteki safsızlıklar ve yapısal kusurlar nedeniyle polarizasyon uygulanan elektrik alanının gerisinde kaldığında meydana gelir. Dielektrik kaybının düşük değerleri, filmlerin içindeki enerji dağılımının çok düşük olduğunu ve bu da filmlerin iyi optik tepkisine işaret ettiğini gösterir (Behera vd., 2019).

5.8.1. Cam ve silikon alttaşlar üzerinde WO₃: ZnO'nun optik dielektrik sabitleri

Cam ve Silikon alttaşlar üzerindeki ince filmin dielektrik sabitlerinin gerçek (Şekil 5.30) ve (Şekil 5.31) ve sanal (Şekil 5.32) ve (Şekil 5.33) kısımlarını karşılaştırarak silikon alttaş üzerindeki dielektrik sabitinin, cam alttaş üzerindekiinden daha büyük olduğu sonucuna varıyoruz. Dielektrik parametreler, film kristalizasyonunun iyileştirilmesi ve atomik düzlemler arası mesafelerin azaltılmasının yanı sıra kristal kusurlarının ve boşlukların en aza indirilmesi nedeniyle film kalınlığı arttıkça artan kırılma indeksi değerlerine bağlıdır.



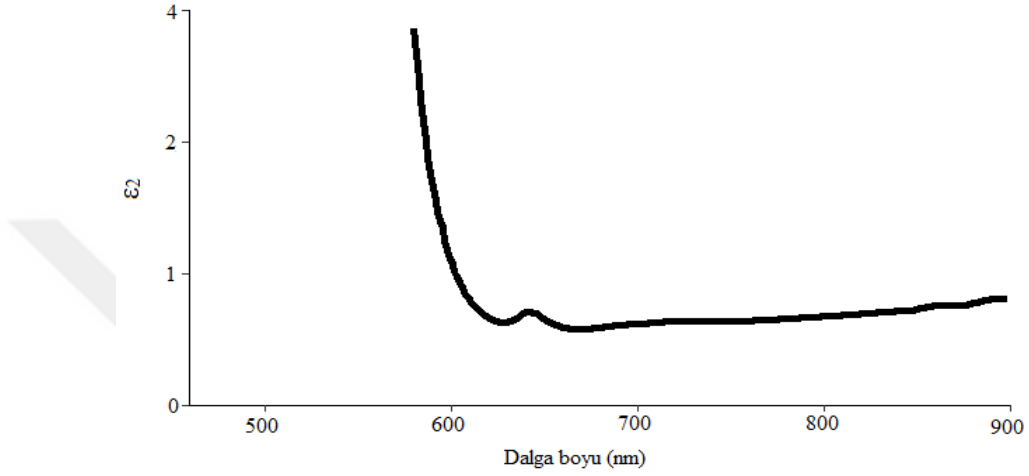
Şekil 5.30. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı



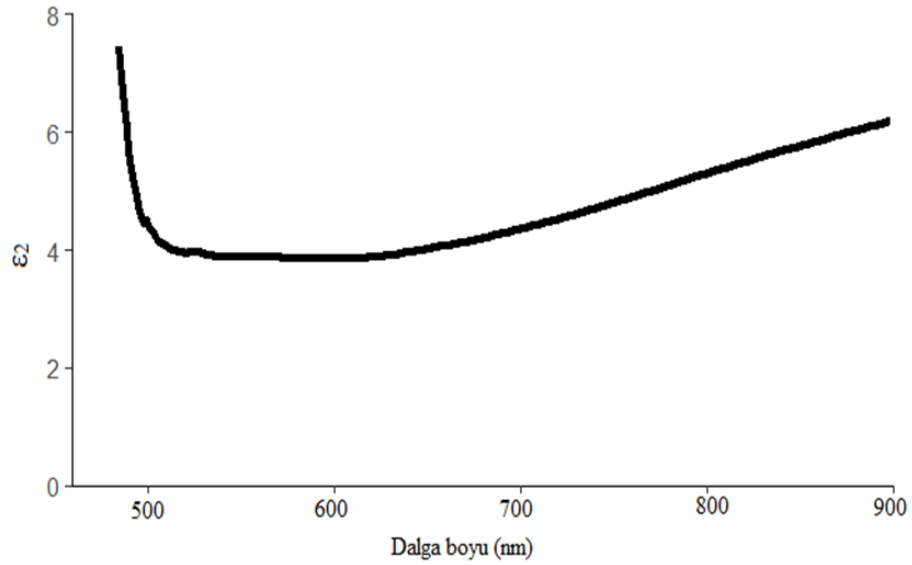
Şekil 5.31. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı

Filmlerin dielektrik sabitinin sanal kısımları sırasıyla Şekil 5.32 ve 5.33'te gösterilmiştir. (Şekil 5.32) ve (Şekil 5.33), ϵ_1 ve ϵ_2 değerlerinin dalga boyunun bağımlılığını göstermektedir.

Filmlerin ϵ_1 ve ϵ_2 değerleri dalga boyu ile azalmaktadır. Filmlerin dielektrik sabitlerinin Gd katkı maddesi ile değiştirilebileceği değerlendirilmiştir.

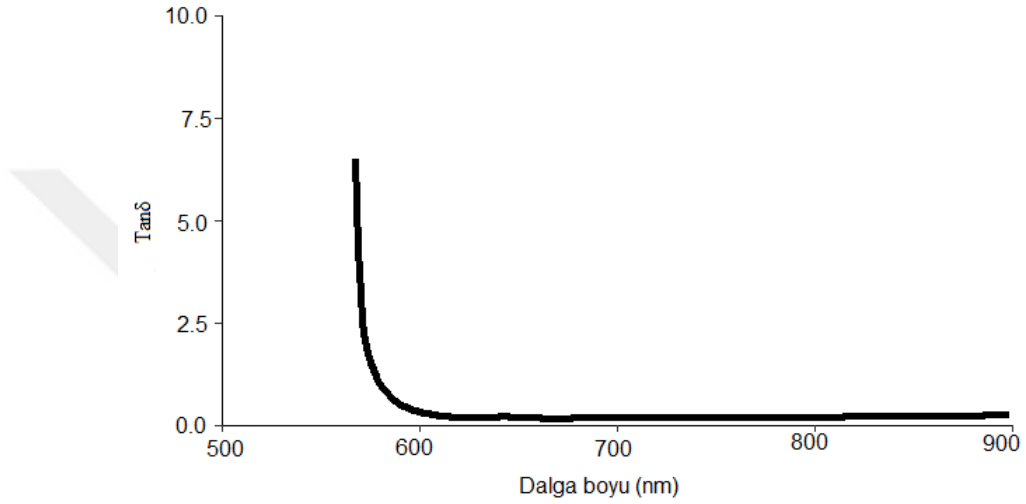


Şekil 5.32. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı

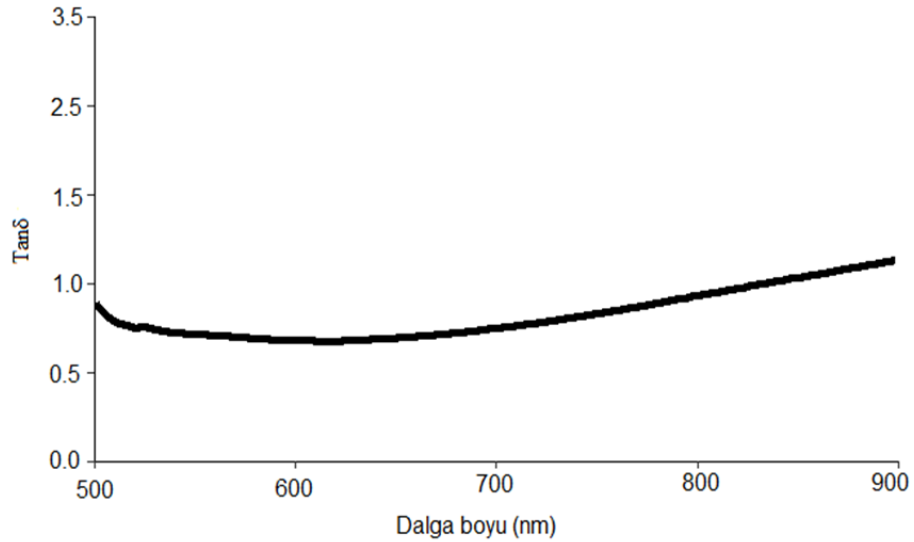


Şekil 5.33. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı

Şekil 5.34 ve 5.35'ta dielektrik kaybının düşük değerleri, belirtilen dalga boyunda filmlerin içindeki enerji yayılımının çok düşük olduğunu ve bu da filmlerin iyi optiksel tepkisine işaret ettiğini gösterir.



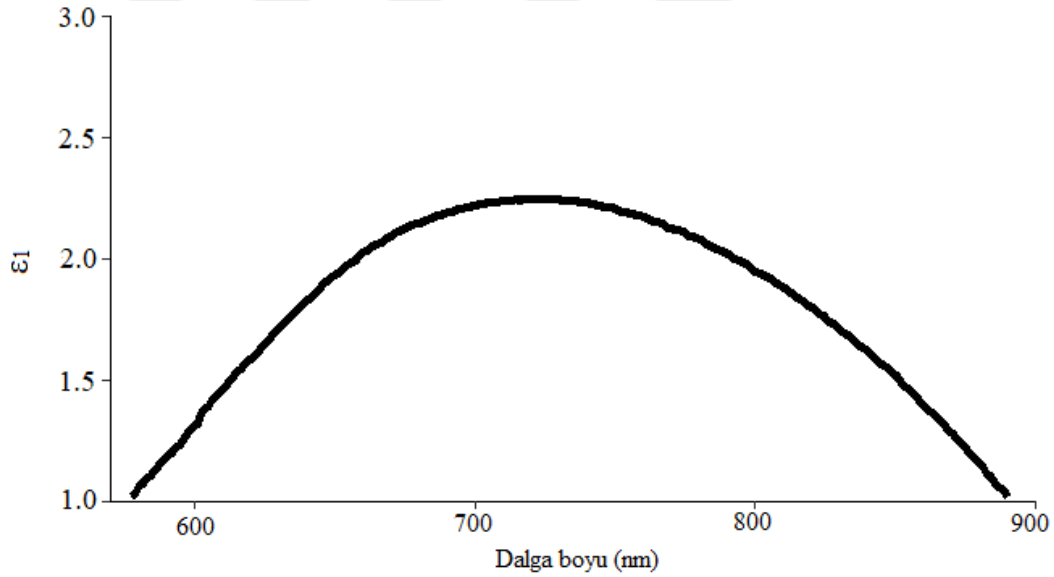
Şekil 5.34. Cam alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri



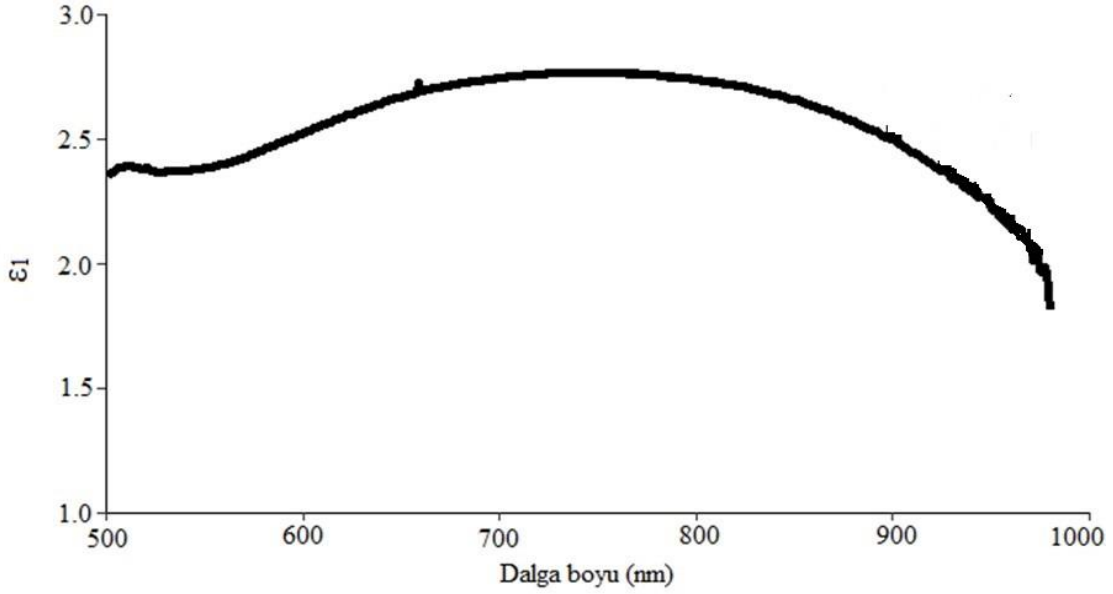
Şekil 5.35. Si alttaş üzerinde WO₃: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri

5.8.2. Cam ve silikon alttaşlar üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitleri

Alttaşlar üzerindeki Gadolonyum katkılı ZnO filmleri için hesaplanan ϵ_1 (gerçek kısım) değerleri Şekil 5.36'da ve Şekil 5.37'de gösterilmektedir. cam alttaşı için eğri, 500 ila 600 nm arasında yükseliyor. ϵ_1 'in maksimum değeri 730 nm'de ve yaklaşık 2.3'tür. 730 nm'den 900 nm'ye kadar diyagram azalır ve yaklaşık 900 nm'de dielektrik sabiti bire ulaşır. Silikon alttaş için dielektrik sabiti daha kararlıdır. 500 ila 700 nm dalga boyunda ortalama 2.6 sahiptir ve Hafif bir eğimle 700 nm'den azalır.

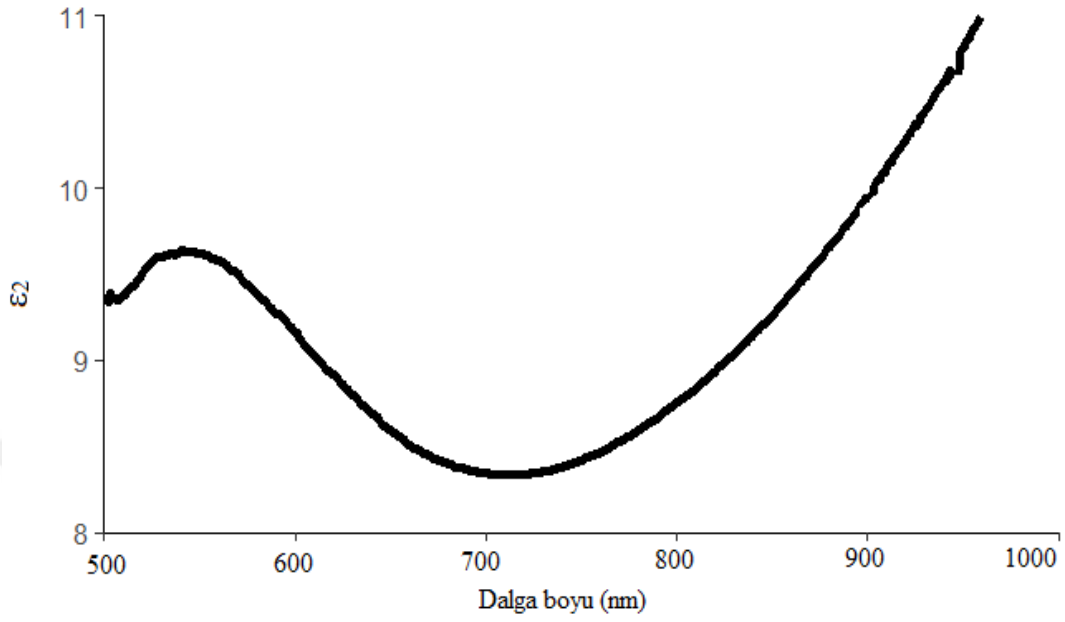


Şekil 5.36. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabininin gerçek kısmı

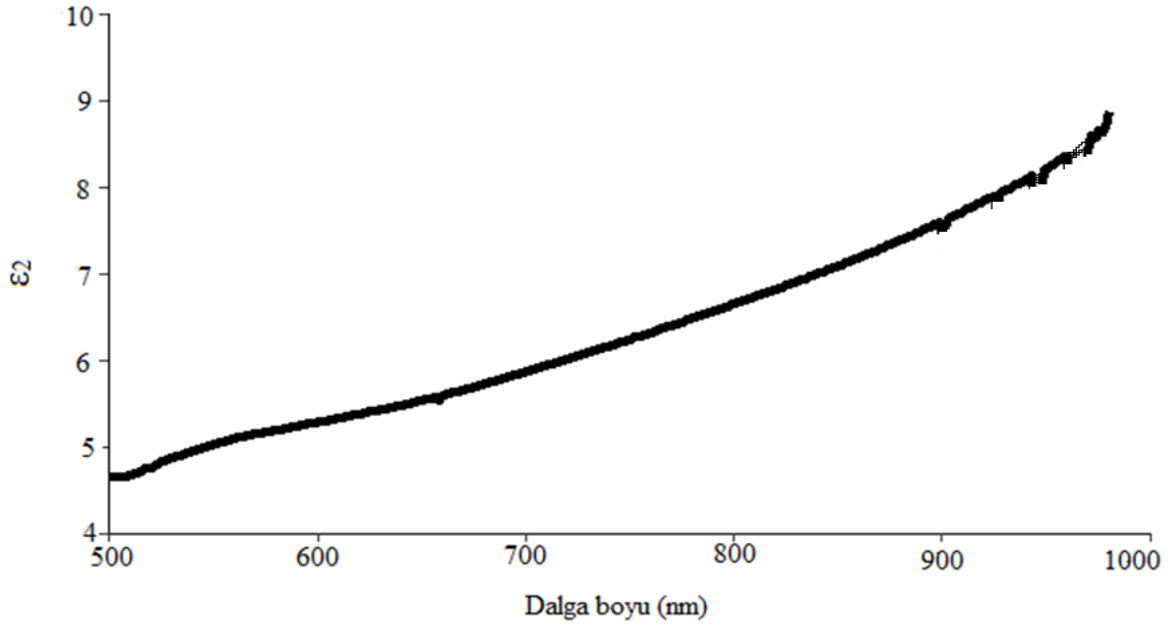


Şekil 5.37. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin gerçek kısmı

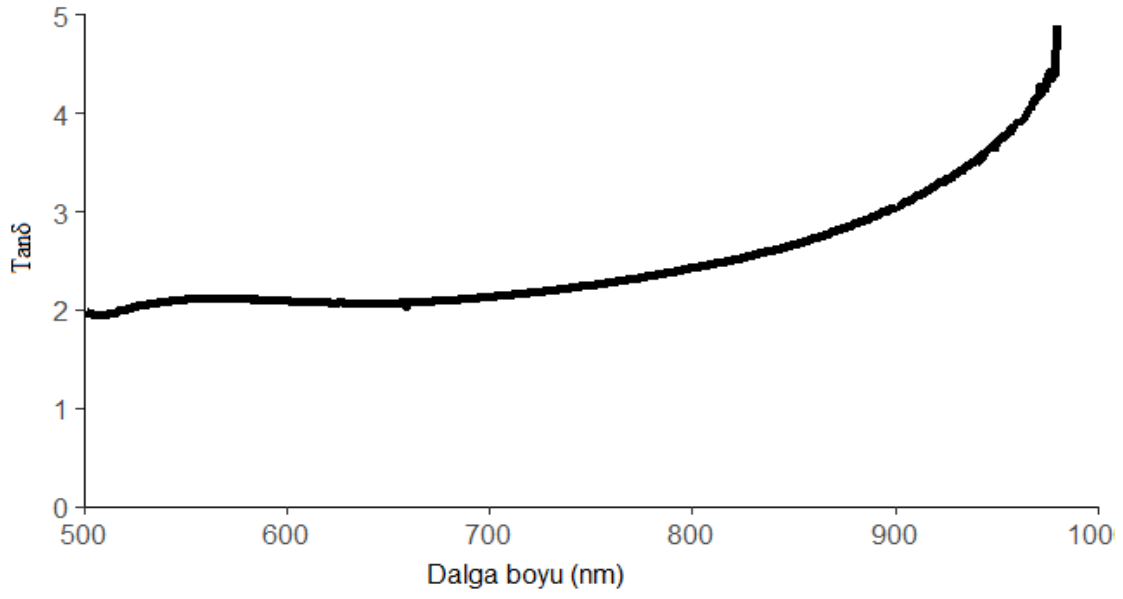
Alttaşlar üzerindeki Gd: ZnO filmleri için hesaplanan ϵ_2 değerleri sırasıyla Şekil 5.38 ve 5.39'da gösterilmektedir. Şekilden, cam alttaşı için ϵ_2 değerlerinin düşük dalga boyunda daha yüksek olduğu sonucuna varabiliriz. ϵ_2 , Si alttaşı için daha kararlıdır. Cam alttaşı için ϵ_2 değeri daha yüksek dalga boyunda artar. Kayıp tanjant değerleri Şekil 5.40 ve 5.41'de gösterilmiş ve dielektrik sabiti ile aynı davranışa sahip olduğu bulunmuştur ve düşük değerleri, ince filmlerin kusurlu yapılardan korunmasını sağlayan Gd katkısının optik cihazın uygulamaları için faydalı olduğunu doğrulamaktadır.



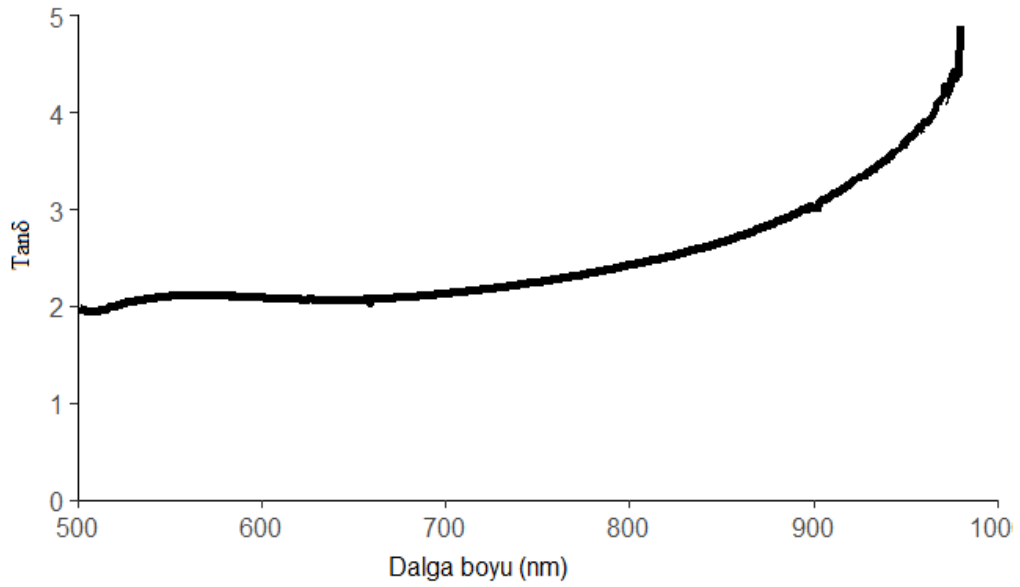
Şekil 5.38. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı



Şekil 5.39. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun optik dielektrik sabitinin sanal kısmı



Şekil 5.40. Cam alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri



Şekil 5.41. Si alttaş üzerinde Gd: ZnO'nun dielektrik kaybının değerleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, WO₃ katkılı ZnO ince filmler, termiyonik vakum ark biriktirme yöntemi ile cam ve Si alttaşları başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Cam ve silikon üzerinde biriken alttaşların kalınlığı sırasıyla 20 ve 60 nm dir. Atomik kuvvet mikroskobu ile kanıtlandığı gibi, Silikon alttaşı üzerinde biriken ince filmler, cam alttaştan nispeten daha pürüzsüzdür. Bu beklenti, tungsten trioksit miktarı arttıkça ince filmin kristalit boyutunun arttığı da incelenmiştir. Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu görüntülerinden elde edilen bilgilere göre, camdaki tane boyutu (60 nm) silikondan (20 nm) daha büyüktü. Yüzeyler ayrıca her iki alttaş için de boşluk ve çatlak oluşumundan yoksundur. Optik bant aralığı, cam alttaş üzerindeki nanokompozit için 3.08 eV elde edildi. İnce filmler için cam ve silikon alttaşları Urbach enerjisi miktarı 0.168 ve 0.535 eV olarak elde edilmiştir. Cam ve silikon alttaşları üzerindeki WO₃: ZnO için sönme katsayıları sırasıyla 1.28 ve 0.63 elde edilmiş. WO₃: ZnO için, 2 ila 4 enerji aralığında cam alttaşın üzerindeki deri derinliğinin ortalaması 1.37×10^{-5} cm olarak elde edilmiştir. Bu değer silikon alttaşı için 5×10^{-6} cm di. Ayrıca, dielektrik sabitinin hesaplanması, cam ve silikon alttaşları üzerinde biriken WO₃: ZnO'nun dielektrik özelliği geliştirmek için umut verici bir malzeme olduğunu gösterdi.

Bu çalışmada, çinko oksit (ZnO), Gadolinyum (Gd) ile katkılanmış ve morfolojik, kompozisyon ve optik özelliklerini incelemek için termiyonik vakum arkı (TVA) yöntemiyle cam ve silikon alttaşlar üzerine depolanmıştır. Morfolojik özellikler atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak araştırıldı. Sonuçlar, alttaşların ince filmlerin morfolojik yapılarını güçlü bir şekilde etkilediğini göstermektedir. Elde edilen bilgilere göre yüzey pürüzlülüğü silikon ve cam için sırasıyla 38 nm ve 6 nm olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, cam alttaş üzerindeki ince film, silikon alttaş üzerindeki ince filmde çok daha pürüzsüzdü. Ayrıca yüzeyi gözlemek için Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanıldı. FESEM aracılığıyla elde edilen görüntüler, AFM sonuçlarıyla tamamen tutarlıydı ve ayrıca alttaşların tane boyutları

üzerindeki etkinliğini de kanıtladı. Görüntüler, camın üzerindeki yüzeyin daha simetrik ve daha düzenli taneciklere sahip olduğunu gösterdi. Ayrıca ince filmlerin kalınlık değerleri, Filmetrics F20 aracı ile cam ve Si alttaşları 65 ve 63 nm'de elde edildi. Ayrıca, nanokompozitin cam alttaş üzerindeki optik özellikleri, bir optik interferometre ve UV-Vis spektrofotometre ile analiz edildi. İnce filmin soğurması, şeffaflık ve kırılma indisi elde edildi. Sonuçlar, malzemenin kısa dalga boylarında yüksek soğurma ve düşük geçirgenliğe (yaklaşık %15) sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca nispeten yüksek bir kırılma indisine sahipti. ZnO bant aralığının azaldığı tespit edildi. Ayrıca optik incelemeler, ince filmin yüksek yansıma ve düşük şeffaflığa sahip olduğunu göstermiştir. Gadolinyum, Çinko oksit bant aralığının enerjisini 3.2 eV'ye düşürdü. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar, benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla tamamen uyumludur. Urbach enerjisi Gd: ZnO ince filmlerin için cam ve silikon alttaşları üzerinde 1.146 eV ve 0.48 eV elde edilmiştir. Gd: ZnO için, 1 ila 4 enerji aralığında cam alttaşın üzerindeki deri derinliğinin ortalaması 5×10^{-6} cm olarak elde edilmiştir. Bu değer silikon alttaşı için 3×10^{-6} cm'dir. Ayrıca, dielektrik sabitinin hesaplanması, cam ve silikon alttaşları üzerinde biriken Gd: ZnO'nun dielektrik özelliği geliştirmek için umut verici bir malzeme olduğunu gösterdi.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abliz, A., Wan, D., Yang, L., Mamat, M., Chen, H., Xu, L., Duan, H., 2019, Investigation on the electrical performances and stability of W-doped ZnO thin-film transistors, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 95, 54-58.
- Aggarwal, N., Kaur, K., Vasishth, A., Verma, N., 2016, Structural, optical and magnetic properties of Gadolinium-doped ZnO nanoparticles, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(12), 13006-13011.
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., Asiri, A. M., 2018, Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization, In *Handbook of materials characterization*, 113-145).
- Amakali, T., Daniel, L., Uahengo, V., Dzade, N. Y., De Leeuw, N. H., 2020, Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by molecular precursor and sol-gel methods, *Crystals*, 10(2), 132.
- Balerna, A., Mobilio, S., 2015, Introduction to synchrotron radiation. In *Synchrotron radiation*, 3-28.
- Baptista, A., Silva, F., Porteiro, J., Míguez, J., Pinto, G., 2018, Sputtering physical vapour deposition (PVD) coatings: A critical review on process improvement and market trend demands, *Coatings*, 8(11), 402.
- Bardeen, J., Brattain, W. H., 1948, The transistor, a semi-conductor triode, *Physical Review*, 74(2), 230.
- Behera, M., Naik, R., Sripan, C., Ganesan, R., Mishra, N., 2019, Influence of Bi content on linear and nonlinear optical properties of As₄₀Se_{60-x}Bi_x chalcogenide thin films, *Current Applied Physics*, 19(8), 884-893.
- Bragg, W. L., 1914, The analysis of crystals by the X-ray spectrometer, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 89(613), 468-489.
- Bunaciu, A. A., UdrișTioiu, E. G., Aboul-Enein, H. Y., 2015, X-ray diffraction: instrumentation and applications, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289-299.
- Chaki, I., El Hat, A., Mzerd, A., Belayachi, A., Regragui, M., Ajjammouri, T., Abd-Lefdil, M. 2015, Physical properties of Gd doped ZnO thin films grown by spray pyrolysis, Paper presented at the 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Che Ani, N., Sahdan, M. Z., Nafarizal, N., Mohd Tawil, S. N., 2016, Investigation of the structural, optical and electrical properties of gadolinium-doped zinc oxide films prepared by sol-gel method, *Advanced Materials Research*.
- Clatot, J., Campet, G., Zeinert, A., Labrugère, C., Rougier, A., 2011, Room temperature transparent conducting oxides based on zinc oxide thin films, *Applied Surface Science*, 257(12), 5181-5184.
- Culhane, J., 1991, Position sensitive detectors in X-ray astronomy, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 310(1-2), 1-13.
- Demyanets, L., Sizova, N., Li, L., 2005, Zinc oxide single crystals: Influence of temperature and orientation of crystals on their mechanical properties, *Crystallography Reports*, 50(4), 646-653.
- Dimopoulos, A. I., 2012, Characterization of poly (3-hexylthiophene) based Schottky diodes, University of British Columbia.
- Dwivedi, M., 2020, ZnO thin film based ethanol sensor derived by RF sputtering technique, *AIP Conference Proceedings*.
- El Radaf, I., Al-Zahrani, H., Hassanien, A. S., 2020, Novel synthesis, structural, linear and nonlinear optical properties of p-type kesterite nanosized Cu₂MnGeS₄ thin films, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(11), 8336-8348.
- Ellmer, K., Klein, A., Rech, B., 2007, *Transparent conductive zinc oxide: basics and applications in thin film solar cells*, Springer Science and Business Media, p. 1 – 32.
- Erlandsen, S. L., Frethem, C., Chen, Y., 2000, Field emission scanning electron microscopy (FESEM) entering the 21st century: nanometer resolution and molecular topography of cell structure, *Journal of Histotechnology*, 23(3), 249-259.
- Henderson, R., 1995, The potential and limitations of neutrons, electrons and X-rays for atomic resolution microscopy of unstained biological molecules, *Quarterly reviews of biophysics*, 28(2), 171-193.
- Jalili, N., Laxminarayana, K., 2004, A review of atomic force microscopy imaging systems: application to molecular metrology and biological sciences, *Mechatronics*, 14(8), 907-945.
- Jeong, W., Kim, S., Park, G., 2006, Preparation and characteristic of ZnO thin film with high and low resistivity for an application of solar cell, *Thin Solid Films*, 506, 180-183.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karmakar, R., Neogi, S., Banerjee, A., Bandyopadhyay, S., 2012, Structural; morphological; optical and magnetic properties of Mn doped ferromagnetic ZnO thin film, Applied Surface Science, 263, 671-677.
- Khaksar, M., Amini, M., Boghaei, D. M., 2015, Efficient and green oxidative degradation of methylene blue using Mn-doped ZnO nanoparticles ($Zn_{1-x}Mn_xO$), Journal of Experimental Nanoscience, 10(16), 1256-1268.
- Klingshirn, C., Priller, H., Decker, M., Brückner, J., Kalt, H., Hauschild, R., Thonke, H. W. K., 2005, Excitonic properties of ZnO. In Advances in Solid State Physics, Advances in Solid State Physics book series, p. 275-287.
- Kluth, O., Schöpe, G., Hüpkes, J., Agashe, C., Müller, J., Rech, B., 2003, Modified Thornton model for magnetron sputtered zinc oxide: film structure and etching behaviour, Thin Solid Films, 442(1-2), 80-85.
- Kramers, H. A., 1923, XCIII. On the theory of X-ray absorption and of the continuous X-ray spectrum, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 46(275), 836-871.
- Kumar, A. S., Kavitha, S., Muthubharathi, R., 2017, Design and Development of Absorption Spectrophotometric based Non-Invasive Blood Glucose Measuring Device, Research Journal of Pharmacy and Technology, 10(1), 91-97.
- Lazar, I. M., Grym, J., Foret, F., 2006, Microfabricated devices: A new sample introduction approach to mass spectrometry, Mass Spectrometry Reviews, 25(4), 573-594.
- Liu, Y., Yu, J., Lai, P., 2014, Investigation of WO_3/ZnO thin-film heterojunction-based Schottky diodes for H_2 gas sensing, International journal of Hydrogen energy, 39(19), 10313-10319.
- Łobiński, R., Marczenko, Z., 1992, Recent advances in ultraviolet-visible spectrophotometry, Critical Reviews in Analytical Chemistry, 23(1-2), 55-111.
- Makula, P., Pacia, M., Macyk, W., 2018, How to correctly determine the band gap energy of modified semiconductor photocatalysts based on UV-Vis spectra, Journal of Physical Chemistry Letters, 9(23), 6814-6817.
- Mäntele, W., Deniz, E., 2017, UV-VIS absorption spectroscopy: Lambert-Beer reloaded, 173, 965-968.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Matte, J., Lamoureux, M., Moller, C., Yin, R., Delettrez, J., Virmont, J., Johnston, T., 1988, Non-Maxwellian electron distributions and continuum X-ray emission in inverse Bremsstrahlung heated plasmas, *Plasma physics and controlled fusion*, 30(12), 1665.
- Musa, G., Ehrich, H., Mausbach, M., 1994, Studies on thermionic cathode anodic vacuum arcs, *Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 12(5), 2887-2895.
- Nascimento, M. L. F., 2014, Brief history of X-ray tube patents, *World Patent Information*, 37, 48-53.
- Ngom, B., Mpahane, T., Manyala, N., Nemraoui, O., Buttner, U., Kana, J., Beye, A., 2009, Structural and optical properties of nano-structured tungsten-doped ZnO thin films grown by pulsed laser deposition, *Applied Surface Science*, 255(7), 4153-4158.
- O'Brien, S., Nolan, M. G., Çopuroglu, M., Hamilton, J. A., Povey, I., Pereira, L., Pemble, M., 2010, Zinc oxide thin films: Characterization and potential applications, *Thin Solid Films*, 518(16), 4515-4519.
- Parot, P., Dufrêne, Y. F., Hinterdorfer, P., Le Grimellec, C., Navajas, D., Pellequer, J. L., Scheuring, S., 2007, Past, present and future of atomic force microscopy in life sciences and medicine, *Journal of Molecular Recognition: An Interdisciplinary Journal*, 20(6), 418-431.
- Pat, S., Foumani, I. R., 2021, The Substrate Effect on the Optical, Surface, and Electrical Properties of WO₃: ZnO Nanocomposite Thin Films Deposited by Thermionic Vacuum Arc, *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 10(10), 103006.
- Polyakov, A., Smirnov, N., Govorkov, A., Kozhukhova, E., Pearton, S., Norton, D., Dabiran, A., 2006, Electrical properties of undoped bulk ZnO substrates, *Journal of electronic materials*, 35(4), 663-669.
- Randhawa, H., 1991, Review of plasma-assisted deposition processes, *Thin Solid Films*, 196(2), 329-349.
- Raship, N. A., Tawil, S. N. M., Ismail, K., Nayan, N., Tahan, M., Bakri, A. S., 2019, Effect of deposition time on Gd doped ZnO using simultaneous RF and DC sputtering, 2019 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM).
- Raship, N. A., Tawil, S. N. M., Ismail, K., Nayan, N., Tahan, M., Bakri, A. S., 2020, Gd-doped ZnO Grown by Simultaneous Sputtering at Different RF Power, 2020 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rasid, A., Fadzilah, N., Mohd Tawil, S. N., Che Ani, N., Sahdan, M. Z., 2016, Effect of Crystallite Size on the Optical and Structural Properties of Gadolinium-Doped Zinc Oxide, *Advanced Materials Research*.
- Rasid, A., Fadzilah, N., Mohd Tawil, S. N., Norhidayah, C. A., Sahdan, M. Z., 2015, Influence of Gd Doping on the Structural and Optical Properties of ZnO, *Applied Mechanics and Materials*.
- Rizos, C., 2001, *Manual of Geospatial Science and Technology*, CRC Press, p. 500 - 600.
- Selvaraju, C., Karthick, R., Veerasubam, R., 2019, The modification of structural, optical and antibacterial activity properties of rare earth gadolinium-doped ZnO nanoparticles prepared by co-precipitation method, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 29(3), 776-782
- Siriwong, C., Wetchakun, N., Liewhiran, C., Phanichphant, S., 2009, Characterization of WO₃/ZnO Nanocomposites Synthesized by Flame Spray Pyrolysis, *AIP Conference Proceedings*.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., Crouch, S. R., 2017, *Principles of instrumental analysis*, Cengage learning, p. 20-100.
- Sood, A. K., Puri, Y. R., Mai, W., Gao, P., Lao, C., Wang, Z. L., Soprano, M. B., 2008, ZnO nanostructures for optoelectronic applications, *Micro (MEMS) and Nanotechnologies for Space, Defense, and Security II*.
- Srivastava, V., Gusain, D., Sharma, Y. C., 2013, Synthesis, characterization and application of zinc oxide nanoparticles (n-ZnO), *Ceramics International*, 39(8), 9803-9808.
- Subramanian, M., Thakur, P., Tanemura, M., Hihara, T., Ganesan, V., Soga, T., Jimbo, T., 2010, Intrinsic ferromagnetism and magnetic anisotropy in Gd-doped ZnO thin films synthesized by pulsed spray pyrolysis method, *Journal of Applied Physics*, 108(5), 053904.
- Thomas, J., Ambili, K., 2019, Solar Light Active Nano-photocatalysts, *Nanophotocatalysis and Environmental Applications*, p. 185-292.
- Tolbin, A. Y., Pushkarev, V. E., Tomilova, L. G., Zefirov, N. S., 2017, Threshold concentration in the nonlinear absorbance law, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(20), 12953-12958.
- Torrent-Burgués, J., Sanz, F., 2014, AFM in mode Peak Force applied to the study of un-worn contact lenses, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121, 388-394.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Van den Broeke, J., Brandt, A., Weingartner, A., Hofstädter, F., 2006, Monitoring of organic micro contaminants in drinking water using a submersible UV/Vis spectrophotometer, In Security of Water Supply Systems: From Source to Tap, 19-29.
- Vladoiu, R., Tichý, M., Mandes, A., Dinca, V., Kudrna, P., 2020, Thermionic Vacuum Arc—A versatile technology for thin film deposition and its applications, *Coatings*, 10(3), 211.
- Xie, J., Zhou, Z., Lian, Y., Hao, Y., Liu, X., Li, M., Wei, Y., 2014, Simple preparation of WO₃–ZnO composites with UV–Vis photocatalytic activity and energy storage ability, *Ceramics International*, 40(8), 12519-12524.
- Yi, X., Ma, C., Yuan, F., Wang, N., Qin, F., Hu, B., Zhang, Q., 2017, Structural, morphological, photoluminescence and photocatalytic properties of Gd-doped ZnO films, *Thin Solid Films*, 636, 339-345.
- Zhang, H., Liu, H., Lei, C., Yuan, C., Zhou, A., 2010, Tungsten-doped ZnO transparent conducting films deposited by direct current magnetron sputtering, *Vacuum*, 85(2), 184-186.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., Joy, D., 2006, Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM), In *Scanning microscopy for nanotechnology*, 1-40.