



**Eu<sup>+3</sup> KATKILI Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

**Enes Akif EZİRMİK**

**Yüksek Lisans Tezi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Bilim Dalı**

**Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK**

**2019**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eu<sup>+3</sup> KATKILI Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İNCE FİLM KAPLAMALARIN  
ÜRETİMİ**

**Enes Akif EZİRMİK**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Malzeme Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2019**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**Eu<sup>+3</sup> KATKILI Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK danışmanlığında, Enes Akif EZİRMİK tarafından hazırlanan bu çalışma 11/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı – Malzeme Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Burak DİKİCİ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza :

Üye : Doç. Dr. Hikmet ÇİÇEK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 26/12/2019 tarih ve 50/35 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN  
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK 1003 projeleri kapsamında desteklenmiştir.  
Proje No: 113E985

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **Eu<sup>+3</sup> KATKILI Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

Enes Akif EZİRMİK

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Malzeme Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

Sintilatör malzemeler, radyasyonu etkili bir şekilde absorbe eden ve absorbe ettikleri radyasyonu, görünür veya görünür bölgeye yakın spektral bölgede ışığa dönüştüren ve genellikle yüksek yoğunluğa sahip lüminesans malzemelerdir. Son yıllarda sintilatör ince filmlere olan ilgi artmıştır. Yüksek soğurma verimleri ve yüksek yoğunlukları nedeniyle, Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi nadir toprak elementlerine Eu<sup>+3</sup> ilavesi ile elde edilen malzemeler, günümüzde sintilatör malzemeler olarak kullanılmaktadır. Sintilatör malzemeler genellikle kütsel olarak üretilmekte ve optik geçirgenliği sağlayabilmek için bu malzemelere üretim sonrasında ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu çalışmada Eu<sup>+3</sup> ile katkılanmış Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> ve Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> sintilatör malzemeler, çeşitli taban altlıklar üzerine RF-PVD sistemi kullanılarak kaplanmış, elde edilen kaplamaların özellikleri XRD, SEM, EDS, AFM cihazları kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda üretilen kaplamaların herhangi bir ısıl işleme gerek duyulmaksızın kristal yapıda olduğu ve optik olarak geçirgen özelliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

**2019, 56 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup>, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup>, sintilatör, ince film kaplama, Fiziksel buhar biriktirme (PVD), RF-PVD

## ABSTRACT

Master Thesis

### FABRICATION OF $\text{Eu}^{3+}$ DOPED $\text{Lu}_2\text{O}_3$ AND $\text{Gd}_2\text{O}_3$ THIN FILM COATINGS

Enes Akif EZİRMİK

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Metallurgical and Materials Engineering  
Department of Materials

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

Scintillator materials are generally high-density luminescence materials that effectively absorb radiation and convert absorbed radiation into light with wavelengths in or around the visible spectral region. In recent years interest in scintillator thin films has increased. Due to their high absorption efficiency and high density, the materials obtained by adding  $\text{Eu}^{3+}$  to rare earth elements such as  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  and  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  are used as scintillating materials. These materials are mass-produced, and heat treatment is applied to them to ensure optical transparency. In this study,  $\text{Eu}^{3+}$  doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ :  $\text{Eu}^{3+}$  and  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ :  $\text{Eu}^{3+}$  scintillator materials were coated on various substrates by using the RF-PVD system. In addition, the properties of the coatings were examined by using XRD, SEM, EDS and AFM systems. As a result of the studies, it is observed that the produced coatings have a crystal structure and an optically transparent feature without any heat treatment.

**2019, 56 pages**

**Keywords:**  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ , scintillator, thin film coatings, physical vapor deposition (PVD), RF-PVD

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin bütün aşamalarında kıymetli vaktini, bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım ve kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK'e gösterdiği ilgi, sabır ve anlayıştan dolayı en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın oluşmasında gösterdikleri yardımlardan ötürü Sayın Arş. Gör. Taha Çağrı ŞENOCAK, Sayın Öğr. Gör. Ahmet Emre KASAPOĞLU, Sayın Öğr. Gör. Hasan Feyzi BUDAK'a teşekkürlerimi sunarım. Tüm çalışma aşamalarımda yanımda olup yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Fadime AKPINAR, Ozan BİNGÖL'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu günlere gelmemi sağlayan canım annem, canım babam ve tüm aileme minnetlerimi sunar, sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma 113E985 numaralı "Yüksek Çözünürlüklü Fosfor Ekran Temelli X-Işınları Radyografi Detektörünün Geliştirilmesi" başlıklı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a vermiş olduğu desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

**Enes Akif EZİRMİK**

**Aralık, 2019**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>7</b>
2.1. Sintilatör Malzemeleri.....	7
2.2. İnce Film Sintilatör Malzemeler ve Üretim Yöntemleri .....	8
2.3. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) .....	25
2.4. Radyo Frekansı-Fiziksel Buhar Biriktirme (RF-PVD) .....	28
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>30</b>
3.1. Hedef Malzemeler .....	30
3.2. Kaplama Prosesi .....	32
3.3. XRD Analizleri.....	35
3.4. SEM ve EDS Analizleri .....	36
3.5. AFM Analizleri .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>38</b>
4.1. SEM Analizleri.....	38
4.2. EDS Analizleri .....	41
4.3. XRD Analizleri.....	41
4.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu Analizleri .....	47
4.5. Cam Taban Malzemelerin Kaplama Sonrası Optik Görüntüleri .....	50
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>51</b>
KAYNAKLAR .....	53
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AFM</b>	: Atomik kuvvet mikroskobu
<b>AC</b>	: Alternatif akım
<b>CVD</b>	: Kimyasal buhar biriktirme
<b>DC</b>	: Doğru akım
<b>EDS</b>	: Enerji dispersif X ışını spektroskopisi
<b>eV</b>	: Elektro Volt
<b>Eu</b>	: Evropiyum
<b>Gd</b>	: Gadolinyum
<b>JCPDS</b>	: Toz kırınım standartları ortak komitesi
<b>K</b>	: Kelvin
<b>Lu</b>	: Lutesyum
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>O</b>	: Oksijen
<b>PVD</b>	: Fiziksel buhar biriktirme
<b>RF-PVD</b>	: Radyo Frekans Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>XRD</b>	: X ışınımı difraktometresi
<b>W</b>	: Watt



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sintilatörlerin tarihsel gelişimi .....	8
Şekil 2.2. Kaplamanın, tavlama öncesi (sol taraftaki) ve 1000° C'de tavlama sonrası (sağ taraftaki) görüntüsü .....	17
Şekil 2.3. Fiziksel buhar biriktirme teknikleri .....	26
Şekil 3.1. Sinterleme sonrası elde edilen Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hedef malzemede meydana gelen şekilsel bozulma .....	30
Şekil 3.2. Sinterlenmiş hedef malzemelerle yapılan 3 kaplama sonrasında Eu <sup>+3</sup> ile katkılanmış Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hedef malzemelerinde meydana gelen kırılma yapısı a) Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> b) Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	31
Şekil 3.3. Kaplama prosesleri sırasında kullanılan hedef malzemelerin optik fotoğrafı a) Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> b) Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> c) Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	31
Şekil 3.4. Radyo frekans fiziksel buhar biriktirme (RF-PVD) cihazı .....	33
Şekil 3.5. Kullanılan RF-PVD sisteminin şematik gösterimi .....	33
Şekil 3.6. Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katkılı Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> filmlerin üretimi sırasında oluşan plazmanın fotoğrafı a) Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> b) Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	34
Şekil 3.7. Kaplamaların kristal yapı analizinde kullanılan XRD cihazı .....	35
Şekil 3.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS sistemi .....	37
Şekil 3.9. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) sistemi .....	37
Şekil 4.1. Farklı oranlarda Eu <sup>+3</sup> katkılanmış Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Eu <sup>+3</sup> kaplamaların yüzey (sol taraftaki) ve kesit (sağ taraftaki) SEM görüntüleri .....	39
Şekil 4.2. Farklı oranlarda Eu <sup>+3</sup> katkılanmış Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Eu <sup>+3</sup> kaplamaların yüzey (sol taraftaki) ve kesit (sağ taraftaki) SEM görüntüleri .....	40
Şekil 4.3. Kaplamaların üretiminde kullanılan Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hedef malzemeden alınan XRD grafiği .....	42
Şekil 4.4. Kaplamaların üretiminde kullanılan Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hedef malzemeden alınan XRD grafiği .....	42
Şekil 4.5. Kaplamaların üretiminde kullanılan Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hedef malzemeden alınan XRD grafiği .....	43
Şekil 4.6. Eu <sup>+3</sup> katkılanmış Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Eu <sup>+3</sup> kaplamaların XRD spektrumları .....	44

<b>Şekil 4.7.</b> $\text{Eu}^{+3}$ katkılanmış $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ kaplamaların XRD spektrumları .....	46
<b>Şekil 4.8.</b> $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobu analizleri .....	48
<b>Şekil 4.9.</b> $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobu analizleri.....	49
<b>Şekil 4.10.</b> Optik olarak geçirgen $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ve $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ kaplamaların görüntüleri .....	50



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sıçratma ve buharlaştırma sistemlerinin karşılaştırılması .....	28
Çizelge 3.1. Kaplama sırasında hedef malzemelere uygulanan güç değerleri ve $\text{Eu}^{+3}$ içerikleri .....	34
Çizelge 4.1. EDS analiz sonuçları .....	41
Çizelge 4.2. $\text{Eu}^{+3}$ katkılanmış $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ince film kaplamaların tane boyutu .....	45
Çizelge 4.3. $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ve $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ kaplamalara ait pürüzlülük değerleri .....	47

## 1. GİRİŞ

Sintilatörler, radyasyon enerjisini etkili bir şekilde absorbe eden ve absorbe edilen radyasyon enerjisini, görünür spektral bölgede veya görünür bölge çevresinde dalga boyuna sahip ışığa dönüştüren ve genellikle yüksek yoğunluğa sahip olan lüminesans malzemelerdir (Blasse 1994). Dönüştürülen radyasyon enerjisi sintilasyon dedektörlerinde bulunan fotoçoğaltıcılar ve fotodiyotlar sayesinde tespit edilebilir. Bir malzemenin sintilatör olması için, lüminesans merkezleri içermesi gerekir. Bunlar dışsal, genellikle katkılama iyonları veya içsel, yani kafesin moleküler sistemleri veya uyarılmış ve daha düşük bir enerji durumu arasında bir radyasyon geçişine sahip olan kafesin kusurlarıdır.

Lüminesans olayı, dış bir enerji kaynağı tarafından uyarılan malzemenin absorbladığı uyarılma enerjisini malzemede ısı değişimi meydana gelmeksizin görünür ışık şeklinde yayımlaması olarak tanımlanır. Bu olayın başka elektromanyetik ışınım kaynaklarından temel farkı, kaynağın ısısında herhangi bir değişim olmamasıdır. Lüminesans malzemeye uygulanan radyasyon enerjisi, malzeme tarafından absorblanır ve iyonlaştırıcı radyasyon türlerine ve sintilatörleri oluşturan elementlere bağlı olarak bazı etkileşimler meydana gelir.

Genel sintilasyon işlemi üç parçaya bölünecek olursa şu şekilde sıralanabilir; (i) gelen radyasyonun veya parçacıkların enerjisinin çok sayıda elektron deliği çiftine dönüştürüldüğü dönüşüm işlemi, (ii) transfer işlemi içinde bir elektron deliği çiftinin enerjisinin ilgili lüminesans iyonuna aktarıldığı ve (iii) lüminesans iyonunun radyal olarak uyarılmış bir durumdan zemin durumuna döndüğü emisyon işlemidir (Blasse 1994).

NaI:TI, CsI:TI, CaWO<sub>4</sub>, CsI:Na, CaI:Na, LiI:Eu, Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (BGO), CeF<sub>3</sub>, CdWO<sub>4</sub>, Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Pr,Ce,F, ZnS:Ag, Gd<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce<sup>+3</sup>, Lu<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce<sup>+3</sup> ve CaF<sub>2</sub>:Eu yaygın olarak kullanılan sintilatör malzemelerden bazılarıdır (Blasse 1994).

Sintilasyon malzemeleri üzerine yapılan araştırmalar, 1895'te W. C. Roentgen tarafından yapılan X-ışını keşfi sırasında başlamıştır (Röntgen 1896). X-ışını kaydında, basit bir fotoğrafik film oldukça yetersiz bulunmuş ve hassas fotoğrafik film tabanlı dedektörlerin verimli bir şekilde kullanılması için görünmez ışınımı görünür ışığa dönüştürebilen malzemeler aranmaya başlanmıştır. 1896'nın başlarında  $\text{CaWO}_4$  tozu bu amaç için kullanılmış, daha sonra ZnS bazlı tozlarla birlikte karıştırılarak birleşik fosfor-film dedektörlerinde X-ışınlarının tespiti için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Nikl 2016).

1897'de katod ışın tüpünde hızlandırılmış bir elektron ışınının enerjisinin, görünür bir ışığa (bu fenomen genellikle katodoluminesans olarak adlandırılır) bir fosfor materyali tarafından dönüştürüldüğü belirlenmiştir. Bu dönüşümün mekanizması X-ışını dönüşüm mekanizmasına oldukça benzemektedir (Ozawa and Itoh 2003). Böylece, 19. yüzyılın sonunda, doğal radyoaktif elementlerin ürettiği  $\gamma$  ışınları ile birlikte iki enerjik radyasyon (foton ve partikül) ortaya çıkarılmıştır. Bu fenomen 1896'nın başlarında H. Becquerel tarafından uranyumda ve M.C. Sklodowska ve P. Curie tarafından polonyum ve radyumda keşfedilmiştir.

Bahsedilen radyasyon türlerinin uygulama potansiyellerinin çok yüksek olmasından dolayı pratik kullanımları için gerekli olan fosfor ve sintilatör malzemelerinin gelişimi hızlanmıştır. Tek kristalli kütleli sintilatörler 1940'ların sonunda NaI: Tl ve CsI: Tl ile başlamaktadır (Hofstadter 1949, Van Sciver and Hofstadter 1951) . Talyum katkılı sodyum iyodür kristalinin olağanüstü ışıldama tepkisinin 1948 yılında Robert Hofstadter tarafından keşfi, ilk kez  $\gamma$  fotonlarının küçük boyutlu kompakt dedektörler tarafından spektroskopik olarak saptanmasına olanak sağlamıştır (Hofstadter 1948). NaI:Tl ve CsI:Tl, ilk oksit bazlı sintilatör  $\text{CdWO}_4$  ve  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) yaygın sintilatörler haline gelmiş ve çalışmalardaki yeni malzemeleri değerlendirmek için genellikle standart örnekler olarak kullanılmıştır. Son yirmi yılda, temel olarak yüksek enerji fiziğine ve bilim, tıp ve endüstri alanındaki ileri görüntüleme uygulamalarına ihtiyaç duyulmasıyla birlikte bu alanda önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemde çalışılan yeni tek kristal sintilatörlerin büyük çoğunluğu, hızlı bozunma süresi (tipik olarak 10-60 ns) ve 5d-4f

radiatif geçişlerinin oda sıcaklığında yüksek kuantum verimi nedeniyle  $Ce^{+3}$  ve  $Pr^{+3}$  katkı malzemelere dayanmaktadır (Bachmann *et al.* 2009).

Sintilatör malzemeler yapılarına göre organik veya inorganik sintilatörler olarak kategorize edilebilir (Weber 2002, Liu 2017). Organik sintilatörler, az miktarda flüoresan boya molekülü (ağırlıkça matrisin % 1-3'ü) içeren konjuge yapıları olan plastik veya tek kristalli bir organik matris içerir. Genellikle plastik olarak kullanılan organik sintilatörler, imalat kolaylığı, düşük maliyet ve kısa bozulma süreleri ( $\sim 1$  ns) gibi büyük avantajlara sahiptir (Knoll and Glein 1989). Organik sintilatörlerin en büyük avantajlarından biri, neredeyse tüm geometrilerin üretilebilmesi ve bu nedenle özel uygulamalara uyarlanabilmesidir (Brooks 1979). Düşük yoğunluklarından dolayı ( $\sim 1$  g.cm<sup>-3</sup>),  $\gamma$  ve X ışını saptaması için uygun değillerdir (Blasse 1994).

Organik sintilatörler; tek kristalli sintilatörler, sıvı sintilatörler ve plastik sintilatörler şeklinde sınıflandırılır. Organik tek kristalli sintilatörler, saf antrasen veya stilbenden oluşur. Bu tek kristaller organik sintilatörler arasında en yüksek ışık verimlerine (17000 foton / MeV) sahiptir ve lüminesans süreleri en fazla birkaç nanosaniyedir (Liu 2017). Fakat, kolay işlenememeleri, büyük boyutlu kristalleri üretme konusundaki zorluklar ve zayıf mekanik dayanımları, organik tek kristalli sintilatörlerin yaygın şekilde kullanılmasını önler. Plastik ve sıvı sintilatörler, büyük ölçekli üretimdeki avantajlarından dolayı ana organik sintilatörlerdir. Bu iki türün yapısı hemen hemen aynıdır; plastik sintilatör, sıvı sintilatörün "katı bir çözelti" versiyonudur (Salimgareeva and Kolesov 2005, Milbrath *et al.* 2008). Organik sıvı sintilatörler, sıvı olmaları nedeniyle istenilen birçok tasarımda kullanılabilirler. Plastik sintilatörler, yüksek ışık emisyonu, lüminesans süresinin düşük olması ve yapısı sayesinde kolay şekillendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptirler.

İnorganik sintilatörler, ışıldayan aktivatör atomlarıyla (yaklaşık %  $10^{-3}$  mol) katkı, yığın halinde tek kristalli inorganik bir matris içerir (Liu 2017). Talyum katkı sodyum iyodür kristalinin olağanüstü ışıldama tepkisinin 1948 yılında Robert Hofstadter tarafından keşfi, ilk kez  $\gamma$  fotonlarının küçük boyutlu kompakt dedektörler tarafından

spektroskopik olarak saptanmasına olanak sağlamıştır (Hofstadter 1948, Birks and Firk 1965, Knoll 2010). O zamandan beri, inorganik sintilatörler her zaman sintilasyonun özellikle  $\gamma$  foton tespitinin odak noktası olmuştur (Derenzo *et al.* 1990, Blasse 1994, Moses 2002, Milbrath *et al.* 2008). Tipik inorganik sintilatörler, uygun enerji durumlarına sahip aktivatör atomları ile katkılı, halojenürlerin veya oksoanyonların geniş bant aralıklı tuzlarının tekli kristallerinden yapılıdır. Tuzu oluşturan elementlerden en az biri, yüksek bir atom numarasına (en az 50) sahip olmalıdır.

İnorganik sintilatörler, iyonlaştırıcı radyasyonun tespitinde yaygın olarak kullanılır (Weber 2002). İnorganik sintilatör malzemeleri, organik sintilatörlerden daha fazla yoğunluğa, daha yüksek atom sayısına ve daha yüksek ışık çıkışına sahiptir. Yüksek atom numarası ve yüksek yoğunluk, inorganik sintilatöre yüksek zayıflama gücü (atenuasyon) vererek  $\gamma$  ışınının spektroskopik tespitini kolaylaştırır. Yüksek optik berraklığa ve iyi  $\gamma$  durdurma gücüne sahip olan tek kristal sintilatörler, eriyik kristallendirme ve bölgesel inceltme işlemleriyle üretilebilir. Üretim ve saflaştırma işlemi zaman ve enerji tüketir ve tek kristalin büyüklüğü kullanılan külçe ile sınırlıdır. Ayrıca kullanılan tuzların çoğunun higroskopik olması, üretilen sintilatörün dikkatli bir şekilde paketlenmesini gerektirir. Bu faktörler inorganik tek kristalli sintilatörlerin fiyatının yükselmesine neden olur. Uzun bozunma sabitleri, yavaş floresan bozunumları ve higroskopiklik inorganik sintilatörlerin ortak dezavantajlarıdır (Liu 2017). İnorganik sintilatör malzemeleri arasında kristaller, seramikler (optik olarak izotropik malzemelerden yapılmış), cam ve cam seramikler bulunur. Cam, düşük maliyetli ve büyük hacimli üretim olanaklarından dolayı sintilatör malzemesi olarak çekicidir. Fakat cam, nokta kusurlu düzensiz bir malzemedir ve cam sintilatörler ışık emisyonu bakımından kristal yapıdaki sintilatörlere kıyasla daha zayıf özelliktedirler (Weber 2002). Tipik olarak inorganik sintilatörler, enerji çözünürlüğü ve  $\gamma$  ışınını algılamada daha iyi performans gösterirken, organik sintilatörler daha hızlı emisyon, daha iyi nötron yanıtına ve daha düşük maliyetlere sahiptir (Liu 2017).

Sintilatörler, yüksek enerji fiziği, tıbbi görüntüleme, petrol arama, ülke güvenliği ( $\gamma$ -ışını detektörleri), astrofizik vb. alanlardaki cihazlarda kullanılmaktadır (Chaudhry 2009). Sintilatörler genellikle büyük kristaller halinde uygulanır. En dikkat çekici uygulama,

elektromanyetik kalorimetrelerdeki sintilatörlerin kullanılmasıdır. En büyüğü seksenlerin sonlarında CERN'de (Cenevre) inşa edilmiştir. Kullanılan bu sintilatör 24 cm uzunluğunda 12 000 adet  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  kristali içerir ve toplam 1,2 m<sup>3</sup>'lük bir hacme sahiptir (Lecoq 1994). Bu kalorimetre, bir çarpıştırıcıdaki enerjisel çarpışmalarda üretilen elektronların, pozitronların ve fotonların enerjisini tam olarak ölçebilir. Daha büyük hacimli kristal (60 m<sup>3</sup>  $\text{CeF}_3$ ) gerektiren yeni nesil yüksek hassasiyetli kalorimetreler üretme planları vardır. Ancak, yüksek maliyet bu gelişmeyi sınırlandırmaktadır. Bu kalorimetreler yüksek enerji fiziği, nükleer fizik ve astrofizikte elektron ve fotonları saymak için kullanılır.

Sintilatörler, tıbbi teşhislerde de önemli bir rol oynar.  $\gamma$ -ışını kameraları tıbbi teşhislerde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde diğer ışınım temelli cihazların aksine ışın kaynağı cihaz değil hastadır. Görüntüleme öncesi hastaya radyoizotoplar genellikle uygun bir radyoaktif element ile etiketlenmiş kimyasal bileşikler formunda enjekte edilir. Yaygın olarak kullanılan radyoizotoplardan biri <sup>99m</sup>Tc 'dir (Blasse 1994). Vücut dışındaki radyasyonun ölçülmesi ile fonksiyonel bir görüntü elde edilebilir. Yayılan radyasyon (120-150 keV), genellikle bir sintilatör kristali içeren bir  $\gamma$ -ışını kamerasıyla ölçülür. Yaygın  $\gamma$ -ışını kameraları, radyoaktivite dağılımının iki boyutlu bir görüntüsünü sağlar.

Sintilatörlerin kullanıldığı bir başka tıbbi görüntüleme yöntemi de PET (pozitron emisyon tomografisi) 'tir. Bu yöntemde hastaya, pozitron yayını yapan radyoizotoplar enjekte edilir. Pozitronlar yolu üzerindeki (-) yüklü elektronlar ile çarpışınca, kütlelerin enerjiye dönüşümü meydana gelir. Kütleler çarpışma sırasında yok olurken anihilasyon fotonu birbiriyle 180° açı ile zıt yönlerde salınır. Bu olaya, anihilasyon (yok olma), oluşan fotonlara da anihilasyon fotonları denir. Bu anihilasyon fotonları, dedektörlere çarparak sintilasyona dönüşür. Sintilasyonlar foto çoklayıcı tüplerde elektrik sinyaline dönüşür. Elektrik sinyalleri diğer elektronik devrelerde işlenerek görüntüye dönüştürülür.

Bir diğer uygulamada bilgisayarlı tomografi (BT) cihazlarıdır. BT, X-ışını ve bilgisayar teknolojisinin birlikte kullanılmasının bir ürünüdür. Çalışma prensibi, bir dizi X-ışını zayıflama (atenuasyon) değerlerinin, bir nesnenin enine kesit görüntülerinin daha sonra



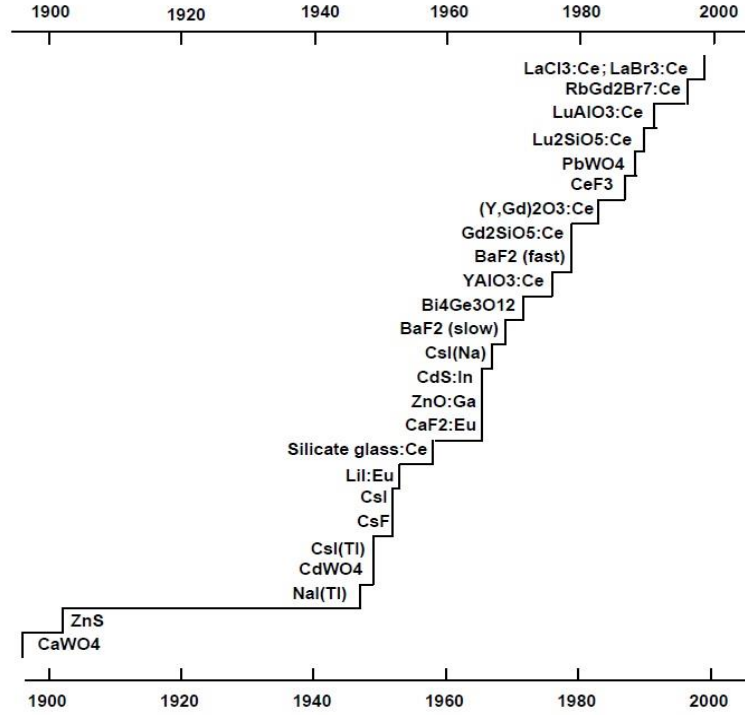
yeniden oluşturulmasına imkan veren birkaç farklı bakış açısından tespit edilmesine dayanır. X-ışını tüpü ölçüm alanı etrafında döner ve X-ışınları hastanın enine kesitsel bir diliminden geçerek dedektör sistemine çarpar. Böylece dokuların X-ışınlarını zayıflatma değerleri elde edilir. Bu değerler kullanılarak görüntü oluşturulur. Dokunun X-ışınlarını zayıflatma derecesi görüntüdeki beyazlık derecesini belirler. Örneğin metal içindeki boşluklar incelenecek olursa metaller beyaz renkli, hava ise siyah renkli görüntü oluşturur (Blasse 1994).

Bu tez çalışmasında sintilatör malzeme olarak kullanılacak evropiyum katkılı lütesyum oksit ve gadolinyum oksit ince film kaplamalar, Si wafer, cam, bakır, alüminyum taban malzemeler üzerine kaplanmıştır. Kaplamaların üretimi için radyo frekans-fiziksel buhar kaplama (RF-PVD) sistemi kullanılmıştır. Kaplamaların üretimi için kullanılacak farklı evropiyum içeriklerine sahip hedef malzemeler ilk olarak Pechini sol-jel yöntemiyle İstanbul Üniversitesi'nde ürettirilmiştir. Hedef malzemeler 1400°C de sinterleme işlemine tabi tutularak seramik yapı elde edilmiştir. İstanbul Üniversitesi'nden temin edilen seramik hedef malzemelerin, kaplama prosesi sırasında oluşan termal şok nedeniyle kırılmasından dolayı, yeni bir yöntem geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu amaçla PVD sisteminde Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hedef malzemelerle beraber evropiyum oksit hedef malzeme kullanılarak Eu katkılı lütesyum oksit ve Eu katkılı gadolinyum oksit kaplamalar üretilmiştir. Kaplamalarda Eu katkı miktarının etkisini incelemek amacıyla, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hedef malzemeye uygulanan güç değiştirilerek, farklı oranlarda Eu katkı kaplamalar üretilmiştir. Elde edilen kaplamaların kristal yapısı, kaplamaların büyüme morfolojileri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiş, kaplamaların kolonsal olarak büyüdüğü görülmüştür. PVD sistemi kullanılarak üretilen kaplamaların tümü optik olarak geçirendir. Ayrıca literatür çalışmalarında kristal yapı elde etmek için gereksinim duyulan kaplama sonrası ısıl işleme gerek olmadan, kristal yapıya sahip Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu ve Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu kaplamalar üretilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Sintilatör Malzemeleri

Sintilatörler,  $\gamma$ -ışını veya X-ışını gibi bir ışınımı absorbe eden ve dalga boyu görülebilir ışık veya görülebilir ışığa yakın bir elektromanyetik dalga yayan genellikle yüksek yoğunluğa sahip lüminesans malzemelerdir. Lüminesans, malzemenin dışarıdan bir enerji kaynağı tarafından uyarılması sonucu absorblanan uyarılma enerjisinin yakın UV, yakın IR veya görünür ışık olarak yayılması olayıdır. Lüminesans olayı sırasında malzemede ısı değişimi meydana gelmez. Sintilasyon süreçleri iyonlaştırıcı radyasyon türlerine ve sintilatörlerin elementlerine bağlıdır. X ve gama ışınları dahil olmak üzere yüksek enerjili fotonlar sintilatör tarafından absorbe edildiğinde, fotoelektrik absorpsiyon, Compton saçılması ve çift oluşturma olarak adlandırılan üç etkileşim işlemi gerçekleşir. Fotoelektrik absorpsiyon, genellikle radyasyonu analiz etmek için kullanılır ve bu işlemde, olay başına bir primer elektron üretilir. Bu birincil elektron, Coulomb saçılması yoluyla birçok uyarılmış ikincil elektron üretir ve bu ikincil elektronlar kinetik enerjilerini diğer serbest elektronlarla etkileşerek yayarlar. Son olarak, bu ikincil elektronlar deliklerle birleşerek parıldama fotonları yayar (Yanagida 2018). Sintilatör malzemeler yapılarına göre organik veya inorganik katı, sıvı ve gaz sintilatörler olarak kategorize edilebilir (Weber 2002, Liu 2017). İnorganik sintilatörler yüksek ışık çıktısına ve yavaş bir tepkiye sahipken organik sintilatörler düşük ışık çıktısına sahip fakat hızlıdır (Mapelli 2011). Radyasyon enerjisini görünür fotonlara dönüştürme kabiliyetine sahip sintilatörler, insanlığın radyasyonu tespit etmek için kullandığı en eski malzemelerden biridir. Sintilatörlerin tarihsel gelişimiyle ilgili bir görsel Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sintilatörlerin tarihsel gelişimi (Weber 2002)

## 2.2. İnce Film Sintilatör Malzemeler ve Üretim Yöntemleri

Literatür araştırmaları incelendiğinde sintilatör malzemelerin çoğunlukla toz malzemelerden sinterleme yöntemiyle üretildiği görülmektedir. Son yıllarda, sintilatör malzemelerin ince film halinde üretilmeye başlandığı görülmektedir. İnce film sintilatörlerin üretiminde genelde sol jel, elektron demeti ile fiziksel buhar biriktirme (e-beam PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), spin kaplama yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların hemen hemen tümünde üretilen ince filmlerin kristal yapıda olmadığı ve kaplama prosesi sonrasında ısıl işlem uygulanarak kristal yapı elde edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Ayrıca filmlerin optik geçirgenlikleri de ancak yapılan ısıl işlemle sağlanmıştır. Literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kozyrev *et al.* (2017) tarafından düşük enerjili X-ışını görüntüleme uygulamaları için termal biriktirme yöntemiyle, yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip 2-14  $\mu\text{m}$  arası ince CsI:TI sintilasyon ekranları hazırlanmıştır. Uzaysal çözünürlük, film kalınlığının bir

fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Hazırlanan dönüşüm filtrelerinin uzaysal çözünürlüğünün, bir karbon tabakasının ilave birikimi ile önemli ölçüde iyileştirilebileceği ileri sürülmüştür. Kaplama yapılırken 150 mikron kalınlığında ve 25x25 mm<sup>2</sup> alana sahip cam altlıklar kullanılmıştır. Kaynak malzemesi CsI:Tl bir tantal potada tutulmuştur. Tl'nin katkı konsantrasyonu yaklaşık % 0.08 mol'dür. Biriktirme işlemi sırasında tantal potanın sıcaklığı, nominal değer olarak 680°C'ye ayarlanmıştır. Sintilatör malzemenin homojen olarak taban malzemeye kaplanabilmesi için nispeten düşük bir biriktirme hızı ( $17 \pm 2 \text{ \AA} / \text{s}$ ) kullanılmıştır. Thornton Zone Modelinin önerdiği şekilde tüm numuneler  $5 \cdot 10^{-3}$  Pa basınçta ve 25 °C'deki bir taban malzeme sıcaklığında kaplanmıştır. Numune tutucusu tantal potadan 65 cm uzağa yerleştirilmiş ve yaklaşık 2, 4, 8 ve 14 µm olmak üzere dört kalınlıkta CsI:Tl filmi hazırlanmıştır. Tl konsantrasyonunun kaplama süresinin artması ile azaldığı gözlenmiştir. CsI'ye göre Tl'nin daha büyük buharlaşma hızı nedeniyle, 8 µm'lik numunedeki Tl yoğunluğunun 2 µm kalınlıktaki numunenin %80'i olduğu görülmüştür. Cam taban malzeme üzerine biriktirilen CsI:Tl filminin sintilatör morfolojisi bir taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve filmin, yaklaşık  $3 \pm 2$  µm'lik tipik bir tane büyüklüğüne sahip tane yapısından oluştuğu görülmüştür. Üretilen dönüşüm ekranlarının uzaysal çözünürlüğü, geriye doğru yayılan fotonları absorbe etmek üzere tasarlanmış, yaklaşık 100 nm kalınlıkta bir karbon tabakasının ek biriktirilmesiyle önemli ölçüde geliştirilebilir olduğu görülmüştür. 10 µm kalınlıklı biyolojik dokudan 10 cm yoğun kayaya kadar değişen çok çeşitli nesnelerin iç yapısını araştırmak için tüm X ışını düşük enerjili radyografik yöntemlerinin, çok renkli ve tek renkli modlardaki filmlerde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Sengupta *et al.* (2015) tarafından tek hücreli radyonüklid görüntüleme için ince film  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatörün performansı incelenmiştir. Yapılan çalışmada, 10 µm kalınlığında bir  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatörün fabrikasyonu yapılmış ve sintilatör özelliklerinin görüntü kalitesi ve uzaysal çözünürlük açısından önemini belirlemek amacıyla radyoluminesans performansı, daha geleneksel bir sintilatör olan 500 mikro metre kalınlığında bir  $\text{CdWO}_4$  sintilatör ile karşılaştırılmıştır. Şeffaf  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatör kaplamaları, %5  $\text{Eu}^{+3}$  katkı konsantrasyonu ile elektron demeti fiziksel buhar biriktirme

(EBPVD) tekniği ile safir bir taban malzeme üzerine biriktirilmiştir. Taban malzeme, hedef malzeme karşısına yerleştirilmiş ve kristallenmeyi geliştirmek için biriktirme sırasında ısıtılan bir ısıtıcı üzerine monte edilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatörlerinin, belirgin şekilde daha fazla hassasiyet gösterdiği ve alan başına daha parlak iyonizasyon izleri ürettiği görölmüştür. Sonuç olarak, ince film  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatörlerinin, radyoluminesans mikroskopi uygulamaları için, daha kalın olan  $\text{CdWO}_4$  sintilatörlerine kıyasla çok daha iyi bir alternatif olduğunu belirlenmiştir.

Chen *et al.* (2016) tarafından; evropiyum katkılı lutesyum oksit ( $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ) polikristal filmler, rutin spin kaplama ve alternatif spin kaplama teknikleri kullanılarak temizlenmiş silikon (100) yüzeyler üzerinde üretilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filmleri, alternatif spin kaplama tekniğinde, Pechini sol-jel metodu ile kombine spin kaplama tekniği kullanılarak üretilmiştir. Tüm filmler üretimden sonra  $800^\circ\text{C}$ 'de tavlannıştır. Üretilen filmleri karakterize etmek için X-ışını kırınımı (XRD), fotoluminesans (PL) spektrumları, alan emisyonu elektron tarama mikroskobu (FE-SEM) karakterizasyon yöntemlerini kullanılmıştır. Yapılan SEM analizleri, kalınlığın %95 artması ve gözenekliliğin %26 azalması sonucunda emisyon yoğunluğunun %72 oranında artması nedeniyle alternatif spin kaplaması ile üretilen filmin rutin spin kaplamasıyla üretilen filmde daha üstün olduğunu göstermiştir.

Johnson *et al.* (2013) tarafından; bir metanol çözücü ortamında normal laboratuvar koşullarında sol-jel ve daldırma kaplama yöntemleri kullanılarak gadolinyum oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) ve evropiyum katkılı gadolinyum oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ) ince filmlerin üretimi yapılmıştır. Taban malzeme olarak sıradan mikroskop camı kullanılmıştır. Temizleme işlemlerinden sonra daldırma kaplama işlemi uygulanmış ve  $100^\circ\text{C}$ 'de 5 dakika kurutma işleminde sonra daldırma kaplama işlemi tekrarlanmıştır. Bu işlem istenilen katman sayısına (5,10,30,50) göre tekrarlanmaya devam edilmiştir. Kaplama sonrasında üretilen filmler 3 saat boyunca  $300^\circ\text{C}$  ve  $500^\circ\text{C}$ 'de tavlannıştır. Bu alışma sonucunda tavlama işleminin ve katman sayısının kırılma indisini ve film kalınlığını doğrudan etkilediği belirlenmiştir.

Choi *et al.* (2011) tarafından; ince film transistör (TFT) geçit (gate) izolatörleri için kullanılan High-k  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  sol-jel yöntemiyle üretilmiştir. 200 nm kalınlığında indiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam, alt elektrot ve taban malzeme olarak kullanılmıştır. Hazırlanan öncül çözelti önceden temizlenmiş taban malzeme üzerine, 30 saniye boyunca 2650rpm'de spin kaplama yöntemi  $180^\circ C$ 'de kaplanmıştır. İstenilen kalınlığın elde edilmesi için prosedür beş kez tekrar edilmiş ve filmler, bir fırında 10 dakika boyunca  $500-700^\circ C$ 'lik çeşitli tavlama sıcaklıklarında tavlansmıştır. Elde edilen film kalınlığı yaklaşık 100 nm'dir. Son olarak üst temas elektrotları olarak kullanılan alüminyum film katmanının üzerine termal buharlaştırma yoluyla kaplanmıştır. Sonuç olarak çözelti ile işlenmiş  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin, organik ve oksit-TFT cihazları için uygun dielektrik malzemeler olduğu belirlenmiştir.

Tanaka *et al.* (2005) tarafından; KrF lazer kullanılarak lazerle ablasyon yoluyla kırmızı ışık yayan, evropiyum katkılanmış gadolinyum oksit ( $Gd_2O_3:Eu^{+3}$ ) fosfor ince filmler hazırlanmış ve kristal yapılar ile ablasyon hedeflerinin fotoluminesans özellikleri ve hazırlanan ince filmler arasındaki korelasyon karakterize edilmiştir. Buharlaştırılan malzeme,  $500^\circ C$ 'de ısıtılan ve hedeften 5 cm uzağa yerleştirilen bir kuvars taban malzeme üzerine biriktirilmiştir. Kaplama sonrasında kalınlığı yaklaşık 1-2  $\mu m$  olan ince filmler elde edilmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  hedef malzemelerinin kristal yapıları, lazer ablasyonu ile buharlaştırılarak kübik tipten monokliniğe dönüşmüştür. İnce filmlerin biriktirilmesi sırasında lazer gücü artırarak, monoklinik faz  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmlerde daha verimli bir şekilde oluşturulmuştur. XRD ve fotoluminesans sonuçları, buharlaştırılan malzemelerin kübik kristal yapıdan monokliniğe faz dönüşümünün, hazırlanan ince filmlerde monoklinik fazın oluşumunu indüklediğini göstermiştir.

Bae *et al.* (2006) tarafından;  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  lüminesans ince filmler  $Al_2O_3$  (0001) taban malzeme üzerine darbeli lazer biriktirme kullanılarak büyütülmüştür. Farklı biriktirme koşullarında büyütülen filmler farklı kristal fazlar, yüzey morfolojileri ve lüminesans özellikler göstermiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmleri için hem kübik hem de monoklinik kristal fazları gözlemlenmiş ve filmlerin kristal yapı ve yüzey morfolojisinin, oksijen basıncına ve taban malzeme sıcaklığına büyük ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. Kübik sistemin

monoklinik sistemden daha yüksek bir lüminesans gösterdiği belirlenmiştir. Lüminesans özellikleri, sadece kristal yapıdan değil, aynı zamanda filmlerin yüzey morfolojisinden de güçlü bir şekilde etkilenmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinden elde edilen fotolüminesans parlaklık verileri,  $Al_2O_3$ 'ün (0001) yüksek kaliteli  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince film büyümesi için verimli bir taban malzeme olduğunu göstermektedir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmleri, aynı kalınlıktaki  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinden çok daha iyi bir fotolüminesans davranışı göstermiştir. Filmler, bir ArF atomsal lazer ve 193 nm dalga boyunda darbeleri lazer kaplama (PLD) kullanılarak büyütülmüştür. Hedef ile taban malzeme arasındaki mesafe 35mm'de ve lazer akısı yaklaşık  $4.0 J/cm^2$  ve frekans 5Hz'de tutulmuştur. İnce filmler, 100, 200 ve 300 mTorr'luk oksijen basınçları altında 500, 600 ve 700°C taban malzeme sıcaklıklarında  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerine biriktirilmiştir. Fotolüminesans parlaklığının, sadece kristalografik faza değil, aynı zamanda filmlerin ortalama tane boyutuna da bağlı olduğu ve  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin fotolüminesans parlaklığını belirlemede en önemli faktörlerden biri olan pik değerlerin  $I_{C(222)} / I_{M(402)}$  oranının (kübik ve monoklinik yapılardaki tepe noktaları sırasıyla C ve M olarak gösterilmiştir), taban malzeme sıcaklığının ve oksijen basıncının bir fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Fotolüminesans yoğunluğu ve pik değerlerin oranı,  $I_{C(222)} / I_{M(402)}$ , oksijen basıncının bir fonksiyonu olarak benzer davrandığı görülmüştür. Oksijen basıncında 100 ila 200 mTorr'luk bir artışın, hem pik değerlerin  $I_{C(222)} / I_{M(402)}$ 'nin hem de filmlerin fotolüminesans yoğunluğunun artmasına neden olduğu görülmüştür. Katodolüminesans spektrumları, fotolüminesans spektrumlarına benzer bir davranış sergilemiş ve 612 nm'deki kırmızı emisyonun etkin olduğu görülmüştür.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filminin fotolüminesans yoğunluğu,  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  filminden 1,3 kat daha yüksektir. Yüksek parlaklığa sahip  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmlerin büyümesi, ince film fosforlarının ekran teknolojilerine uygulanması için oldukça önemlidir.

Guo *et al.* (2005) tarafından; Lutesyum oksit ( $Lu_2O_3$ ) filmler, Pechini sol-jel yöntemi ile hazırlanmıştır. Filmler silikon taban malzemeler üzerinde büyütülmüştür. Farklı sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş  $Lu_2O_3$  filmlerinin yapısal özellikleri, X-ışını difraksiyonu ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile incelenmiştir. Sonuçlar  $Lu_2O_3$ 'ün yaklaşık 400°C'de kristalleşmeye başladığını ve kristal boyutunun artan tavlama sıcaklığı

ile arttığını göstermektedir. Filmler 80°C'de 10 dakika boyunca kurutulduktan sonra her kaplamanın ardından 30 dakika boyunca 400°C'de tavlansmıştır. Daldırma-kaplama işlemi tekrarlanarak (altı kat), Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> filmleri yeterli kalınlıkta elde edilmiştir. Filmler daha sonra 400 ila 900°C arasında değişen sıcaklıklarda 1 saat boyunca tavlansmıştır. XRD analiz sonuçları, kristalleşmenin tavlama sıcaklığı 400°C'ye ulaştığında başladığını ve bu durumun TGA-DTA analizleriyle elde edilen faz dönüşüm sıcaklığını doğruladığını göstermektedir. Tavlama sıcaklığının artmasıyla kübik Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün daha yoğun ve keskin difraksiyon piklerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Tavlama sıcaklığı, 400°C'ye geldiğinde kristalleşme başlamış ve bu sıcaklıktan önce filmlerin amorf yapıya sahip olduğu görülmüştür. Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül boyutları, tavlama sıcaklığı arttıkça artmıştır.

Rajan *et al.* (2009) tarafından; nanoyapılı Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> ince filmler darbeli lazer ablasyon tekniği ile hazırlanmıştır. Film biriktirme işlemi amorf kuvars taban malzemeler üzerine yapılmıştır. Bu filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerinin fotoluminesansa bağımlılığı çeşitli Eu<sup>+3</sup> katkı konsantrasyonları için sistematik olarak incelenmiştir. Micro-Raman ve XRD analizleri, Eu<sup>+3</sup> katkısının kübik Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yapısını güçlü şekilde bozduğunu ve tane büyümesini baskıladığını göstermektedir. 10<sup>-6</sup> mbar vakum altında biriktirilen 0.10 mol Eu<sup>+3</sup> katkılı Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filmler 1173 K'de tavlama tabi tutulduğunda, <sup>5</sup>D<sub>0</sub>-<sup>7</sup>F<sub>2</sub> geçişi nedeniyle 612 nm'de yoğun fotoemiyon sergileyen şeffaf filmler oluşturmuştur. Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> hedef malzemeler, % 0, 5, 10 ve 15 mol Eu<sup>+3</sup> katkılanmış Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> tozlarının geleneksel sinterleme işlemiyle hazırlanmıştır. Eu<sup>+3</sup> katkı konsantrasyonu %10 mol'ün üzerinde, lüminesans yoğunluğunu azaltmıştır. XRD ve mikro-Raman spektrumları ve kafes gerilme araştırmaları, Eu<sup>+3</sup> katkı konsantrasyonundaki artışın Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisinde güçlü bir kafes distorsiyonu ortaya çıkardığını ve tane boyutunda küçülmeye neden olduğunu göstermektedir. Katkılanan Eu<sup>+3</sup> iyonları tane sınırı hareketliliğini engelleyebilir veya ara yüzey gerilimi/yüzey enerjisini değiştirebilir, bu da tane büyüme hızında veya çekirdeklenme enerji bariyerinde bir azalmaya yol açarak tane boyutunda azalma ile sonuçlanabilir. Şeffaf Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> nanofosforların yüksek uzaysal çözünürlüklü X-ışını görüntüleme sistemleri ve düz panel görüntüleme cihazlarında ümit verici uygulamaları olacağı ifade edilmiştir.



Rajan and Gopchandran (2009) tarafından; nanoyapılı  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler amorf kuvars taban malzemeler üzerine darbeli lazer biriktirme tekniği ile biriktirilmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler, 532 nm'de  $12 J.cm^{-2}$  lazer akısı ve tekraralama frekansı 10 Hz olan bir Nd:YAG lazer kullanılarak PLD tekniği ile hazırlanmıştır. Hedef ve taban malzeme arası mesafe 6 cm ve biriktirme süresi 30 dakikadır. Filmler oda sıcaklığında  $10^{-6}$  mbar vakum altında biriktirilmiş ve ardından 1 saat süreyle 1273 K'e kadar farklı sıcaklıklarda tavlansmıştır. (222) kristal düzleminde XRD pik yoğunluğunun, 973-1173 K aralığında tavlama sıcaklığı ile arttığı, 1173 K'den yüksek bir sıcaklıkta tavlendiğinde azaldığı görülmüştür. 1173 K'de tavlansmış filmler, kübik  $Gd_2O_3$ 'ün (222) kristal düzlemi boyunca tercihli bir büyüme ve 612 nm'de arttırılmış fotoluminesans göstermiştir. XRD ve mikro-Raman spektrumları ve kafes gerilme araştırmaları,  $Eu^{+3}$  katkısının  $Gd_2O_3$  matrisinde güçlü bir kafes distorsiyonu ortaya çıkardığını göstermiştir. Ayrıca  $Eu^{+3}$  katkısının ortalama tane büyüklüğünü azalttığı belirlenmiştir. Atomik kuvvet mikroskopisi kullanılarak yapılan morfolojik incelemeler, tavlama işleminin yüzey pürüzlülüğü ve partikül boyutu üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir. Filmlerin RMS pürüzlülüğü ve partikül büyüklüğünün, tavlama sıcaklığının 1173 K'e kadar artmasıyla artış gösterdiği ve daha sonra 1273 K'de azaldığı belirlenmiştir. PL parlaklığı ve kaplama pürüzlülüğünün yaklaşık 1173 K tavlama sıcaklığında en yüksek olduğu belirlenmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin PL yoğunluğunun ve RMS pürüzlülüğünün 1173 K'e kadar tavlama sıcaklığıyla arttığı ve daha yüksek sıcaklıklarda azaldığı görülmüştür. Daha büyük tanelere sahip ince filmlerin daha yüksek parlaklığa sahip olduğu tespit edilmiştir.

García-Murillo *et al.* (2002) tarafından; evropiyum katkılı gadolinyum ve lutesyum oksitin polikristal filmleri sol-jel yöntemiyle hazırlanmıştır. X-ışınları görüntüleme için bu bileşiklerin sintilasyon performansları incelenmiştir. Filmler silika taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Kaplama sonrası malzemelerin yoğunlaşması ve kristalleşmesi için  $1000^{\circ}C$ 'de 1 saat boyunca tavlama yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda elde edilen %5  $Eu^{+3}$  katkılı  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerin kalınlığı sırasıyla 550nm ve 660nm'dir. Gadolinyum ve lutesyum oksitlerin,  $700^{\circ}C$  tavlama sonrası kübik faz halinde kristalleştiği ve  $1000^{\circ}C$ 'ye kadar stabil kaldığı görülmüştür. Yapılan analizlerde

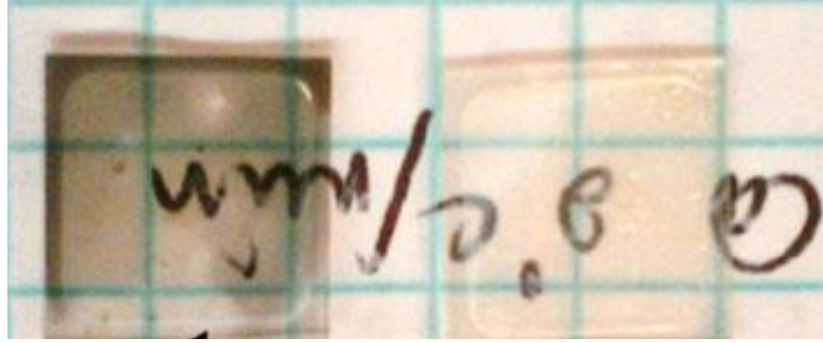
gadolinium oksitin 611.6 nm'de ve lütesyum oksitin 611.4 nm'de baskın ana pik verdiği görülmüştür. Bu malzemelerin sintilasyon performansları, belirli X-ışını enerji aralıkları için iyi uyarlanmış absorpsiyon katsayıları ile yüksek ışık verimi ortaya çıkarmıştır. Bu sintilatörlerin yüksek yoğunlukları ve küçük kristal büyüklüğü (30 ila 150nm arasında değişen), lüminesans verimlerinin artırılmasına ve ayrıca tıbbi görüntüleme hastanın X-ışınına maruz kalma süresinin en aza indirilmesine izin verir.

Johnson *et al.* (2014) tarafından; gadolinium oksit ( $Gd_2O_3$ ) ve evropiyum katkılı gadolinium oksit ( $Gd_2O_3:Eu^{+3}$ ) filmleri sol-jel ve daldırma kaplama yöntemleriyle hazırlanmıştır. Filmler borosilikat cam taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Kaplama işleminden sonra tavlama yapılmıştır. Isıtma hızı ve çözelti viskozitesi, çatlaksız filmler üretmek için dikkate alınması gereken iki kritik parametredir. SEM görüntüleri, çatlak içermeyen filmlerin, düşük viskozitede (metanol bazlılar için ~ 0.3 cP ve etanol bazlı sol jeller için 0.8 cP) elde edilebildiğini ve tekrarlanan 50 kaplamada bile çatlama görünmediğini göstermektedir. Bu çalışmadan tavlama işleminin ve katman sayısının filmlerin fiziksel özelliklerini ve yüzey morfolojisini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca üretilen filmlerin tespit edilebilir seviyede organik maddelere sahip olduğunu belirlenmiştir. Bu malzemelerin varlığının, tavlama süresinin artırılmasıyla en aza indirilebileceği görülmüştür.

Do *et al.* (2005) tarafından; evropiyum katkılı gadolinium oksit ( $Gd_2O_3:Eu^{+3}$ ) filmleri darbeli lazer biriktirme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Filmler kuvars cam ve fotonik kristal tabaka (PCL) taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Taban malzemeler kaplama sırasında bir ısıtıcı üzerine monte edilmiş ve sıcaklık 750°C'de tutulmuştur. Hedef malzeme, 60 dakika boyunca 5Hz tekrarlama hızında 1.3 J. cm<sup>-2</sup> enerji yoğunluğuna sahip 248 nm KrF excimer lazer vasıtasıyla buharlaştırılmıştır. Lazer ablasyonu sırasında hedef 10 devir/dakika hızında döndürülmüştür. Hedef ve taban malzeme arasındaki mesafe 3,5 cm olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak, PCL kullanımının lüminesans verimini artırdığı görülmüştür.

Murillo *et al.* (2019) tarafından; Pluronic F-127'nin ve sıcaklığın  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  tozlarının ve filmlerinin lüminesans özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Filmler sol-jel yöntemi kullanılarak silika taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Hazırlanan filmler 300 ile 800°C arasında 1 saat boyunca tavlannmıştır. Ayrıca karşılaştırma amacıyla F-127 içermeyen filmler de hazırlanmıştır. Fotoluminesans çalışmaları, 800°C'de ısıl işleme tabi tutulan tozlar ve filmlerde,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$   $Eu^{+3}$  geçişindeki (618 nm) lüminesans yoğunluğunun F-127 varlığında arttığını göstermiştir. Yapılan analizler sonucunda F-127 ile modifiye edilen filmlerin yapısal ve lüminesans özelliklerinin daha üstün olduğu görülmüştür. Kübik  $Gd_2O_3$ 'ün monoklinik faza dönüştüğü görülmüştür.

Roy *et al.* (2013) tarafından; %5 evropiyum katkılı lutesyum oksit ( $Lu_2O_3:Eu^{+3}$ ) ince filmler, radyo frekansı magnetron sıçratma yöntemi kullanılarak tek kristalli kübik itriyum katkılı zirkonya (YSZ) taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Kaplama için kullanılan  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  hedef malzemeler, 7000 psi basınç altında 1700°C'de sıcak presleme yoluyla üretilmiştir. İnce filmler 75 W güç, 10 mTorr'luk basınçta, 3.3 Å/s biriktirme hızı ile 10 µm'lik bir kaplama kalınlığına ulaşmak için 9 saat boyunca biriktirilmiştir. Üretilen kaplamalar, artık gerilmeleri gidermek ve biriktirme sırasında oluşan oksijen kaybını geri kazanmak için 4 saat boyunca 1000° C'de havada tavlannmıştır. Elde edilen filmlerin, biriktirme sırasındaki oksijen kaybı nedeniyle koyu renkli oldukları fakat yapılan tavlama işleminden sonra renksiz ve optik olarak şeffaf hale geldikleri görülmüştür. Kaplanan filmlerin, tavlama öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 2.2'de verilmiştir. Kaplama sırasında artan taban malzeme sıcaklığı (200°C ila 1000°C) ile mikro yapının, gözenekliden kristalli ve aşamalı olarak daha eş eksenli tanelere dönüştüğü gözlenmiştir. Yapılan HR-XRD analizleri tüm kaplamaların epitaksiyel olduğunu, ancak düşük sıcaklıklarda morfolojinin gözenekli ve lifli, daha yüksek sıcaklıklarda ise yoğun ve kristalize olduğunu göstermiştir. X-ışını görüntüleme sonuçlarına göre 800°C ve 1000°C'de büyütülen kaplamaların 400 nm'ye kadar mükemmel çözünürlük gösterdiği belirlenmiştir.



**Şekil 2.2.** Kaplamanın, tavlama öncesi (sol taraftaki) ve 1000° C'de tavlama sonrası (sağ taraftaki) görüntüsü (Roy *et al.* 2013)

Liu *et al.* (2004) tarafından, pürüzsüz, şeffaf ve yoğun  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler, piroliz işlemiyle birlikte sol-jel tekniği kullanılarak inert bir atmosfer olmadan hazırlanmıştır. Filmler kuvars cam taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Kaplama sonrası elde edilen filmler bir kaç dakika boyunca sıcak bir plaka üzerinde piroliz edilmiş ve daha sonra 30 dakika boyunca 400 °C'de ısıtılmıştır. Önceden ısıtılan filmler 600-1000°C arasında 2 saat tavlansız, yoğun ve saydam filmler elde edilmiştir. Sonuçlar, 800°C tavllanmış filmde ve 1000°C tavllanmış tozda tamamen kübik (C-tipi) yapının bulunduğunu, ancak 1000°C'de tavllanmış filmde hem kübik hem de monoklinik (M-tipi) yapılar gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. 800°C'de tavllanmış filmin pürüzsüz, yoğun ve çatlaksız olduğu, 1000°C'de tavlanan filmin yüzeyinin pürüzlü olduğu ve büyük partiküllerin oluştuğu görülmüştür. Bu büyüme davranışının hem faz geçişi oluşumundan hem de sıcaklıktaki artıştan kaynaklı olabileceği söylenmiştir.  $Eu^{+3}$ 'ün optimum konsantrasyonunun yaklaşık %10 mol olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, bu tür sol-jel ince filmlerin, X-ışını görüntüleme sistemlerinin ve kırmızı ışığa veren yüksek çözünürlüklü düz panel görüntüleme cihazlarında çok umut verici olduğunu ifade etmişlerdir.

Pradhan *et al.* (2005) tarafından;  $Eu^{+3}$  katkılanmış  $Y_2O_3$  ve  $Lu_2O_3$  ince filmler, tek kristalli safir ve Si taban malzemeler üzerine darbeli lazer biriktirme tekniği kullanılarak biriktirilmiştir.  $Eu^{+3}$  katkısı tüm örnekler için %5 oranında yapılmıştır. Hedef malzemeler, 5 Hz tekrarlama hızında 2-3 J / cm<sup>2</sup> enerjili 248-nm-KrF darbeli lazer ışını kullanılarak buharlaştırılmıştır. Hedef malzeme ve bir ısıtıcı üzerine yerleştirilen taban

malzeme arası 5 cm olarak ayarlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 800°C ve üzeri taban malzeme sıcaklığının optimum olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda filmlerin epitaksiyel olduğu ve safir taban malzemelerde büyütülen filmlerin daha iyi bir kristal düzenine sahip olduğu görülmüştür. Yüksek taban malzeme sıcaklığında ve 200 mTorr oksijen kısmi basıncında büyütülen filmlerin üstün yüzey morfolojisine sahip olduğu görülmüştür.

Seo *et al.* (2002) tarafından;  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler, kuvars cam taban malzemeler üzerinde darbeli lazer biriktirme yöntemi ile biriktirilmiş ve  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ince film fosforları ile karşılaştırılmıştır.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  hedef malzemeleri, 0.12 mol  $Eu^{+3}$  katkılı  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  tozları, bağlayıcı madde olmadan soğuk olarak preslenmiş ve ardından 2 ton/cm<sup>2</sup>'de izostatik olarak soğuk preslenmiş ve son olarak 1300°C'de 24 saat süreyle havada sinterlenerek elde edilmiştir. Kaplama sırasında taban malzeme sıcaklığı bir termostat kullanılarak 750°C'de tutulmuştur. Hedef malzeme 10 devir/dakika hızında döndürülerek, 30 dakika boyunca 10Hz tekrarlamada hızında 3.23 J/cm<sup>2</sup> enerji yoğunluğuna sahip 248 nm KrF excimer lazer ile buharlaştırılmıştır. Hedef malzeme ve taban malzeme arasındaki mesafe 3.5 cm olarak ayarlanmıştır. Karşılaştırma amacıyla,  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ince film fosforları da aynı şekilde hazırlanmıştır. Kaplama odası başlangıçta  $1.5 \times 10^{-5}$  Torr basınca getirilmiş ve daha sonra istenen oksijen basıncını sağlamak için sisteme 50, 100 ve 300 mTorr'luk oksijen gazı verilmiştir. AFM görüntüleri incelendiğinde, 100 mTorr'da biriktirilen filmin en yüksek lüminesansı göstereceği görülmüştür. PL spektrumları incelendiğinde, kübik sistemin monoklinik sisteme göre daha yüksek lüminesans göstermesinden dolayı 100 mTorr'da biriktirilen filmin en yüksek lüminesansı gösterdiği görülmüştür. Filmlerin kristalografik yapısının oksijen basıncına göre değiştiği görülmüştür. XRD analizleri incelendiğinde oksijen basıncı arttıkça kübik yapının daha baskın hale geldiği tespit edilmiştir. Oksijen basıncı 100 mTorr'a ulaştığında, kübik yapının baskın hale geldiği ve monoklinik fazın çok küçük bir kısmının kaldığı belirlenmiştir. Oksijen basıncı 300 mTorr'a ulaştığında kübik yapının baskın olduğu fakat kristal yapının 100 mTorr filmine göre daha kötü hale geldiği görülmüştür. Sonuç olarak,  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filminde  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  filmine göre, benzer kalınlık ve pürüzlülükte daha

yüksek PL ve CL verimliliği elde edilmiştir. PL ve CL verimliliğini arttırmak için monoklinik fazın azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Zhang *et al.* (2004) tarafından;  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler, tek kristalli safir ve Si taban malzemeler üzerine darbeli lazer biriktirme tekniği kullanılarak biriktirilmiştir. Hedef malzemeler, 5 Hz tekrarlama hızında 2 ila 3  $J/cm^2$  enerjili 248 nm KrF darbeli lazer ışını kullanılarak 0.1 ila 400 mTorr'luk basınç altında buharlaştırılmıştır.  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmleri için XRD sonuçları, her iki film türünün de oldukça epitaksiyel olduğunu göstermiştir. Ayrıca safir taban malzemelerde daha üstün epitaksiyel film büyümesi olduğu görülmüştür. AFM analizlerinde,  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin yüzey pürüzlülüğünün, film büyümesi sırasında artan oksijen kısmi basıncı ile arttığı görülmüştür. 800°C taban malzeme sıcaklığında ve 200 mTorr basınçta büyütülen filmlerin, homojen tane boyutları içeren düzgün yüzey morfolojisi sergiledikleri belirlenmiştir. Si (100) taban malzemeler üzerine biriktirilen  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin emisyon özelliklerinin daha zayıf olduğu belirlenmiştir.  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin,  $Y_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinde bulunan benzer lüminesans davranışlarından dolayı radyografi görüntüleme de kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Martinet *et al.* (2007) tarafından;  $Eu^{+3}$  katkılı lutesyum oksit ( $Lu_2O_3:Eu^{+3}$ ) nanokristal filmler, darbeli lazer biriktirme yöntemi kullanılarak silika taban malzemeler üzerinde büyütülmüştür. Filmler, 10 Hz tekrarlama hızında bir Lambda-Physik LPX-100 1 ila 2  $J/cm^2$  enerjili KrF excimer lazer ( $\lambda = 248$  nm) kullanılarak hazırlanmıştır. Hedef malzeme ile taban malzeme arası 4 cm olarak ayarlanmıştır. Biriktirme, ultra yüksek vakumlu bir odada  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  ve  $10^{-6}$  mbar oksijen basıncında yapılmıştır. Taban malzeme yüzeyinde, oda sıcaklığından 720°C'ye kadar farklı sıcaklıklar, dirençli bir ısıtıcı kullanılarak elde edilmiştir. Biriktirme işleminden sonra tavlama gerçekleştirilmemiş ve biriktirme sırasında kullanılanla aynı basınçta soğuma sağlanmıştır. Kaplama sonrasında damlacık ve çatlak içermeyen optik olarak şeffaf yapıda filmler elde edilmiştir. XRD ile belirlenen kristal yapının büyük oranda,  $10^{-2}$  mbar  $O_2$  basıncında 480°C'den oda sıcaklığına ve  $10^{-4}$  mbar'da 720-240°C arasında değişen biriktirme koşullarına bağlı olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıkta ( $T > 400$  °C) ve  $10^{-2}$  mbar basınçta, yönlendirilmiş nanokristalli kübik

filmler elde edilmiştir. Düşük sıcaklık ve basınçta meydana gelen monoklinik fazdaki kısmi kristalleşme, lazer enerjisinin  $2 \text{ J/cm}^2$  ye yükseltilmesi ile iyileştirilmiştir. XRD analizlerine göre en iyi monoklinik film  $320^\circ\text{C}$ 'de  $10^{-4}$  mbar oksijen basıncında ve  $2 \text{ J/cm}^2$  enerji uygulandığında gerçekleşmiştir.

Pang *et al.* (2003) tarafından; nanokristalin  $\text{Gd}_2\text{O}_3: \text{A}$  ( $\text{A} = \text{Eu}^{+3}, \text{Dy}^{+3}, \text{Sm}^{+3}, \text{Er}^{+3}$ ) filmleri Pechini sol-jel yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Filmler kuvars cam ve silikon taban malzemeler üzerine büyütülmüştür. Üretilen filmlerin XRD sonuçları, filmlerin  $500^\circ\text{C}$ 'de kristalleşmeye başladığını ve kristalleşmenin tavlama sıcaklıklarının yükselmesiyle arttığını göstermiştir. Nadir toprak iyonlarının hem ömrü hem de fotoluminesans yoğunluğu, tavlama sıcaklığının  $500^\circ\text{C}$ 'den  $900^\circ\text{C}$ 'ye yükseltilmesiyle artmıştır ve filmlerde  $\text{Eu}^{+3}, \text{Dy}^{+3}, \text{Sm}^{+3}, \text{Er}^{+3}$  için optimum konsantrasyonların sırasıyla % 5, 0.25, 1 ve 1.5 mol olduğu belirlenmiştir.

Murillo *et al.* (2009) tarafından; evropiyum katkılı  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmler silika taban malzemeler üzerine sol-jel ve daldırmalı kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Tek modlu ve çok modlu dalga kılavuzları elde etmek için on ve elli katman biriktirme yapılmıştır. Filmler, her kaplama arasında  $400^\circ\text{C}$ 'de 15 dakika boyunca  $\text{O}_2$  akışı altında ısıtılma tabi tutulmuştur. Üretilen filmler 400 ila  $1000^\circ\text{C}$  arasındaki farklı tavlama sıcaklıklarında tavlansmıştır. Tavlama sonucunda saydam ve çatlaksız evropiyum katkılı lutesyum oksit filmler elde edilmiştir. XRD analizleri kübik fazın kristalleşmesinin  $600^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştiğini göstermektedir ki bu TGA-DTA analizlerinden elde edilen faz dönüşüm sıcaklığını doğrulamaktadır. Filmlerdeki  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ 'ün kristal boyutu, 600, 800 ve  $1000^\circ\text{C}$  olan tavlama sıcaklıklarında sırasıyla 7, 9 ve 13 nm olarak artar. TEM görüntüleri,  $600^\circ\text{C}$ 'de işleme tabi tutulan  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filminin kübik kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Yapılan analizler kübik fazın kristalleşmesinin  $600^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştiğini ve  $1000^\circ\text{C}$ 'ye kadar stabil olduğunu göstermiştir.  $1000^\circ\text{C}$ 'de ısıtılma tabi tutulan  $\text{Eu}^{+3}$  katkılı filmlerin  $8,4 \text{ g cm}^{-3}$  bir yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filmlerinin, dijital mikro düzlemlili tıbbi görüntüleme için, ticari mikro-kristalli  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ 'den %55 daha yüksek bir verime sahip, umut verici bir X-ışını lüminesans malzemesi olduğu ifade edilmiştir.

Smith *et al.* (2010) tarafından; evropiyum katkılı  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler safir taban malzemeler üzerine darbeli lazer biriktirme yöntemi kullanılarak biriktirilmiştir. Hedef malzemeler,  $600^\circ C$ 'de tutulan safir taban malzemeler üzerine darbeli bir KrF excimer lazer (248 nm, atım başına 250 mJ) ile buharlaştırılmıştır. 50 mTorr oksijen basıncında biriktirilen filmler yaklaşık 400 nm kalınlığında üretilmiştir. Hedef ve taban malzemeler, düzgün bir şekilde ablasyon ve birikme sağlamak için döndürülmüştür. Yüksek çözünürlüklü TEM ve SAED kullanılarak yapılan yapısal ölçümler, filmlerin çok kristalli ve kübik fazlı olduğunu göstermiştir.

de Jesus Morales Ramírez *et al.* (2013) tarafından; evropiyum katkılı  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  ince filmler, silika cam taban malzemeler üzerine sol-jel daldırma kaplama tekniği ile biriktirilmiştir. Filmlerin kalınlığını arttırmak ve yapıyı yönlendirmek için F127 Pluronic asit sol oluşumu sırasında ilave edilmiştir. Filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri 0 ile 5 arasında farklı F127/Lu molar oranları için incelenmiştir. Üç kez daldırma işlemi uygulandıktan sonra, ince film tabakaları istenen kübik yapıyı elde etmek için 4 saat boyunca  $800^\circ C$  ve  $1000^\circ C$  sabit sıcaklıkta tavlansmıştır. Üretilen  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  modifiye F127 ince filmlerin, F127/Lu molar oranı için 0 ila 2,0 arasında tamamen şeffaf olduğu ve bu oran arttıkça şeffaflığın azaldığı görülmüştür.  $800^\circ C$ 'de tavlansmış filmlerin SEM görüntüleri incelendiğinde, F127/Lu = 1,0 olan numunede yüzeyin çatlaksız olduğu ve daha düşük gözenek içeriğine sahip olduğu gözlenirken, F127/Lu = 2,0 olan numunede numunenin ışık verimini azaltan yüksek bir gözenek içeriği gözlenmiştir. Sonuçlar, şeffaf, mükemmel kristalize ve oldukça yoğunlaştırılmış  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin 1,0'dan daha düşük bir F127/Lu mol oranıyla elde edilebileceğini göstermektedir. Filmlerin  $600^\circ C$  'de tamamen kristalleştiği ve  $\langle 111 \rangle$  yönünde yüksek oranda yönlendirildiği, 9,2 ila 17,1 nm arasında değişen ortalama bir kristal boyutuna sahip olduğu görülmüştür. F127 içeriğinin artırılmasının, film kalınlığını modifiye edilmemiş bir filme kıyasla yaklaşık 2,7 kat arttırdığı görülmüştür. Işık verimi, daha iyi bir kristalleşme ve yoğunlaşma işleminden dolayı tavlama sıcaklığı ile artmaktadır. F127 içeriğinin artmasıyla kırılma indisi arttığından bu ilavenin daha iyi kristalleşmeyi teşvik ettiği, daha iyi bir yoğunlaşma sağladığı ve gözenek içeriğini azalttığı görülmüştür.



Bae *et al.* (2006) tarafından;  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  lüminesans ince filmler  $Al_2O_3$  (0001), Si (100) ve füzyonlu silika cam taban malzemeler üzerine darbeli lazer biriktirme tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Taban malzemelerin değiştirilmesiyle filmler, farklı kristal fazlar, yüzey morfolojileri ve lüminesans özellikler göstermiştir. İnce filmler, 193 nm dalga boylu bir ArF excimer lazer kullanılarak PLD ile büyütülmüş ve hedef ile taban malzeme arasındaki mesafe 35 mm'de tutulmuştur. Lazer akısı yaklaşık  $4.0 J/cm^2$  ve tekrarlama hızı 5 Hz olarak ayarlanmıştır. İnce filmler, taban malzemeler  $600^\circ C$ 'ye ısıtılarak 33.33Pa oksijen basıncı altında büyütülmüştür. XRD analizleri incelendiğinde  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemelerin kübik faz için kristalleşmeyi daha iyi teşvik ettiği ve (222) yüzeyinin tüm filmler için tercih edilen yönelim olduğu görülmüştür.  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde büyütülen film için (222) pikinin yarı maksimumdaki tam genişliğinin (FWHM), Si (100) ve silika cam taban malzemeler üzerinde büyütülene göre daha dar olduğu görülmüştür.  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler kullanılması durumunda, kübik yapının daha baskın hale geldiği ve tepe değerlerin,  $I_C(222) / I_M(402)$  oranının hızla arttığı görülmüştür. AFM görüntüleri incelendiğinde,  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerin ortalama tane boyutlarının yaklaşık 164 nm, Si (100) taban malzeme için yaklaşık 110 nm ve silika cam taban malzeme için yaklaşık 95 nm olduğu görülmüştür. Tane büyüklüğünün daha fazla olması nedeniyle,  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde biriktirilen filmlerdeki tane sınırlarının yoğunluğu, diğer taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerde olduğundan daha küçüktür. Tane sınırları, film içinde üretilen ışığın yayılma kaynakları olabileceğinden, daha az tane sınırı olan  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerin, daha iyi bir fotolüminesans yoğunluğu sergilediği görülmüştür. PL analizleri incelendiğinde,  $Al_2O_3$  (0001) 'de büyütülen filmlerin fotolüminesans parlaklığının, diğer taban malzemelerde büyütülen filmlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde büyütülen  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerin emisyon yoğunluğu, Si (100) ve silika cam taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerden sırasıyla 2,7 ve 3,8 kat daha yüksektir.  $Al_2O_3$  (0001) taban malzemeler üzerinde büyütülmüş  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filminin daha yüksek PL parlaklığının, sadece kristal fazın değişmesinden değil, aynı zamanda daha pürüzlü yüzeyler nedeniyle azalmış olan iç yansımalarından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Kristal faz, yüzey pürüzlülüğü ve  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  filmlerinin PL yoğunluğunun, taban malzeme

tipine büyük ölçüde bağlı olduğu ve PL yoğunluğunun, taban malzeme değişikliği ile birlikte artan  $I_C(222)/I_M(402)$  oranıyla arttığı belirlenmiştir.

Dujardin *et al.* (2005) tarafından; evropiyum katkılı  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmler  $\text{SiO}_2$ , silisyum ve amorf karbon gibi çeşitli taban malzemeler üzerinde darbeli lazer biriktirme (PLD) ve sol-jel prosesleri kullanılarak biriktirilmiştir. Evropiyum katkılı gadolinyum oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ) filmleri sentezlemek için sol-jel yöntemi ve dip kaplama tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemle üretilen  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların yoğunlaştırılması ve kristalleştirilmesi için son olarak  $1000^\circ\text{C}$ 'de 1 saat tavlama yapılmıştır.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmleri sentezlemek için ise darbeli lazer biriktirme (PLD) tekniği kullanılmıştır. Filmler,  $3\text{J}/\text{cm}^2$  enerjili KrF excimer lazer ( $\lambda = 248\text{ nm}$ ) kullanılarak hazırlanmıştır. Hedef malzeme ile taban malzemeler arası 4 cm olarak ayarlanmıştır. Biriktirme,  $10^{-4}$  mbar oksijen basıncında ve taban malzemeler  $750^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılarak yapılmıştır. Mikro-Raman ve TEM analizleriyle sol-jel tekniği kullanılarak üretilen  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filmlerinin  $1000^\circ\text{C}$ 'de tavlandıktan sonra tamamen kristalleşmiş polikristal kübik yapıda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filmlerinin tavlama sonrası  $7,1\text{ g}/\text{cm}^3$  gibi yüksek bir yoğunluğa ulaştığı görülmüştür. XRD analizlerinde, PLD kullanılarak hazırlanan tüm  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmlerin herhangi bir ısıl işlem olmadan, taban malzemelerin yüzeyine dik (111) yönünde büyüdüğü ve tamamen kübik faz halinde kristalleştiği görülmüştür.  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  taban malzemeler üzerinde büyütülen  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmlerin optik kalitesinin iyi olduğu, amorf karbon taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerde ise gözle görülebilen çatlaklar bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle amorf karbon taban malzemeler üzerinde büyütülen filmlerin optik kalite açısından zayıf olduğu görülmüştür. Sonuç olarak sol-jel tekniğinin, çok yüksek kalitede optik filmler sunduğu fakat  $1\ \mu\text{m}$ 'den kalın filmlerin bu teknikle elde edilmesinin zor olduğu görülmüştür. PLD tekniğinin, daha kalın film birikimi için daha uygun olduğu belirlenmiş fakat optik kalite açısından test edilmemiştir.

Marton *et al.* (2015) tarafından;  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  sintilatör ince filmler safir ve silika taban malzemeler üzerine elektron demeti fiziksel buhar biriktirme (EBPVD) tekniği kullanılarak biriktirilmiştir.  $600$  ile  $900^\circ\text{C}$  arasında değişen taban malzeme sıcaklıklarında

kaplamalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, taban malzeme sıcaklığının yükseltilmesinin, biriktirilmiş filmin kalitesine olumlu etkide bulunduğu, daha yoğun ve daha düzgün bir mikro yapı ve çok daha düşük bir gözenekliliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Safir taban malzemeler üzerine yapılan kaplamalarda şeffaflığın en yüksek olduğu görülmüştür. Stover saçılma ölçerle yapılan ölçümde safir bazlı numunenin saydamlığının silika bazlı numunenin üç katından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Marton *et al.* (2013) tarafından; %5 evropiyum katkılı  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmler çeşitli taban malzemeler üzerine elektron demeti fiziksel buhar biriktirme (EBPVD) tekniği kullanılarak biriktirilmiştir. Filmler üretildikten sonra, 2 saat boyunca  $1100^\circ\text{C}$ 'de oksijen akışında tavlama işlemi, zayıf kristalleşme derecesini geliştirmiş ve kaybedilen oksijeni yenilemiştir. Isıl işlemin ışık çıkışını 10-20 kat artırdığı tespit edilmiştir.

Wellenius *et al.* (2010) tarafından; evropiyum katkılı gadolinyum oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$ ) ince filmler, darbeli lazer biriktirme (PLD) tekniği ile safir taban malzemeler üzerinde biriktirilmiştir.  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmler, darbe başına 250 mJ enerjili bir KrF excimer lazer (248 nm) kullanılarak çift taraflı parlatılmış c-eksenli safir taban malzemeler üzerinde biriktirilmiştir. Filmler, %1.6 mol Eu katkılı  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  hedef kullanılarak 5 ve 50 mTorr oksijen basıncı altında biriktirilmiştir. Safir taban malzemeler biriktirme sırasında  $600^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmış ve film homojenliğini arttırmak için döndürülmüştür. Biriktirme sırasında yüzeyin oyulmasını önlemek için hedef malzeme de döndürülmüştür. Biriktirme işlemi sonrasında yaklaşık 400 nm kalınlığında filmler elde edilmiştir. TEM ve seçilmiş alan elektron difraksiyonu (SAED) analizleri hem 5 hem de 50 mTorr'da kaplanan  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  filmleri için yapılmıştır ve SAED desenlerinin halka benzeri doğası, her iki filmin de küçük bir tane boyutuna sahip olduğunu göstermiştir. Düzlemsel mesafeler bu halkaların ölçülen yarıçapı kullanılarak hesaplanmış ve daha sonra Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi (ICDD) veri tabanındaki bilinen verilerle karşılaştırılmış ve verilerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Gözlenen halkalardan hesaplanan düzlemsel mesafeler 5 mTorr  $\text{O}_2$  basıncında kaplanan numuneler için, monoklinik  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ile çok iyi eşleşirken, 50mTorr basınçta kaplanan numuneler için

hesaplanan değerler, kübik  $Gd_2O_3$  ile eşleşmiştir. XRD sonuçlarının, SAED ve TEM verileriyle iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. XRD sonuçları her iki numunenin de polikristal bir yapıda olduğunu göstermiştir. 5 mTorr basınçta üretilen numunede en yoğun difraksiyon, monoklinik (003), (-405) ve (-514) düzlemlerinde gözlenmiştir. 5 mTorr basınçta kaplanan numunenin kırınım pikleri, kübik fazın bir miktar katkısı olmasına rağmen, bilinen monoklinik  $Gd_2O_3$  düzlemlerine uygundur. 50 mTorr basınçta yapılan kaplamaların kırınım piklerinin kübik yapıda olduğu, ancak bazı monoklinik faz yapısının da olduğu gözlenmiştir. 50 mTorr basınçta yapılan kaplamalarda gözlenen ana kübik düzlem (400) düzlemidir, (222) ve (411) kübik düzlemlerden de bir miktar kırınım olduğu gözlenmiştir.

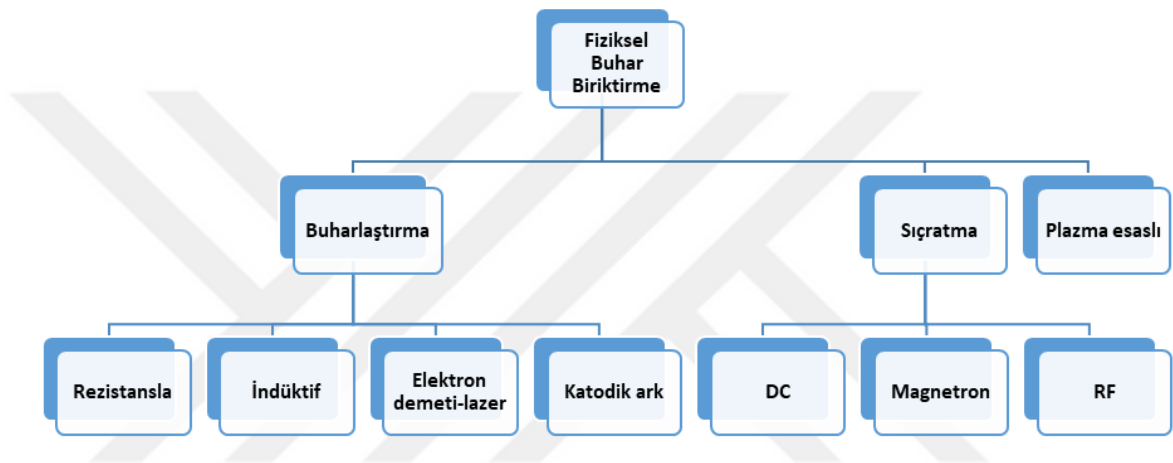
### 2.3. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) tekniği, kaplamanın taban malzeme atomlarının üzerinde büyüdüğü, ince film biriktirme işlemidir. PVD, malzemenin genellikle hedef olarak adlandırılan katı bir kaynaktan atomizasyonunu veya buharlaşmasını gerektirir. PVD prosesi, yüzey özelliklerinde ve taban malzeme ile kaplanan malzeme arasındaki geçiş bölgesinde bir değişikliğe neden olur. Ayrıca filmlerin özellikleri de taban malzeme özelliklerinden etkilenebilir.

Son 30 yılda PVD sistemleri farklı güç kaynağı kullanımına bağlı olarak, plazma destekli PVD (PAPVD), doğru akım (DC) diyot, triyot, radyo frekansı (RF), darbeli plazma, iyon ışını destekli kaplamalar gibi sınıflara ayrılmıştır. Başlangıçta, fiziksel buhar kaplama tekniklerinde bazı problemler bulunmaktaydı. Kaplamaların taban malzeme yüzeyine yapışması, mikro ve makro yapının kontrolü ve düşük sıcaklıklarda malzeme biriktirme gibi özelliklerin geliştirilmesi için günümüze kadar gelen ciddi çalışmalar yapılmıştır.

PVD, aşınma ve korozyon direncinin iyileştirilmesi için mkemmел bir vakum kaplama prosesidir. Kesici takımlar, dekoratif parçalar, optik donanımlar, kalıplar ve bıçaklar gibi fonksiyonel uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikte kullanılan ekipmanlar az bakım gerektirir ve süreç evre dostudur. PVD kaplama, ürünlere

dayanıklılık ve değer katan benzersiz avantajlar sağlayabilir. PVD yöntemi kullanılarak mükemmel yapışma, homojen katmanlar, kontrollü morfoloji, yüksek çeşitlilikte malzeme ve özelliklere sahip kaplamalar üretebilir. PVD işlemleri, tek katmanlı ve çok katmanlı kaplama sistemlerinde ve ayrıca nanokompozit yapıların biriktirilmesinde kullanılabilir. İletken, yalıtkan, seramik kaplamaların üretimi için farklı teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerin bir kısmı Şekil 2.3’de verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Fiziksel buhar biriktirme teknikleri

Son on yılda PVD tekniklerinde, kaplama özelliklerini iyileştirmeyi, taban malzeme ile uyumu ve kaplama hızını arttırmayı amaçlayan çok sayıda çalışma yapılmıştır. PVD prosesiyle ilgili gaz halindeki en yaygın yüzey kaplama yöntemleri buharlaşma ve sıçratmadır. Bu teknikler, vakum ortamında partiküllerin hedeften çıkarılmasını ve taban malzeme üzerine biriktirilmesini sağlar.

Buharlaştırma işleminde kullanılan kaplama sisteminde, çok düşük vakum değerlerine inilmesi gereklidir. Böylece kaplama içine daha az gaz adsorpsiyonu sağlanmış olur. Buharlaştırma tekniğinde, daha büyük tanecikli partiküllerin transferi, sıçratma tekniğine kıyasla partiküllerin taban malzemeye daha az yapışmasına neden olur. Biriktirme sırasında, bazı kirletici tanecikler erimiş kaplama malzemesinden salınır ve taban malzemesine taşınır, dolayısıyla elde edilen kaplamaların saflığı azalır. Ayrıca termal buharlaştırma yapılan sistemlerde yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin fiziksel

olarak buharlaştırılması mümkün değildir. Bu nedenle, termal buharlaştırma işlemi genellikle düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında kullanılmaktadır. Termal buharlaştırma sistemleri, kalın filmler ve daha düşük yüzey hassasiyeti gereksinimi olan kaplamalar için kullanılır. Termal buharlaştırma tekniği sıçratma işlemine kıyasla daha yüksek biriktirme hızları sunar.

Diğer bir fiziksel buhar biriktirme sistemi olan sıçratma işlemi, pürüzlülük, tane boyutu, stokiyometri ve diğer gereksinimlerin biriktirme hızından daha önemli olduğu, daha yüksek yüzey kalitesine gereksinim duyulan uygulamalar için bir alternatif olarak görünmektedir. Sıçratma işlemi ile yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin ergime sıcaklıklarının çok daha altındaki sıcaklıklarda taban malzeme yüzeyine kaplanması mümkün olmaktadır.

Sıçratma işlemlerinde hedef malzemedan koparılan atomların iyonizasyonunu ve plazma yoğunluğunu arttırmak için hedef malzemeni altına doğal bir mıknatıs yerleştirilerek manyetik alanda sıçratma yöntemi geliştirilmiştir. Kaplama sisteminde hedef malzemeye yüksek bir gerilim uygulanarak magnetron yönünde hızlandırılan ve hedeften atom boyutunda partiküllerin sıçratılmasını sağlayan inert bir plazma gazı (genellikle Ar) kullanılır. Plazma içerisinde iyonlaşan pozitif yüklü argon atomları, momentum transferi sonucunda hedef malzemedan atom koparırlar. Hedef malzemedan kopan atomlar, taban malzemeye ulaşarak yüzeyinde ince bir film tabakası oluştururlar. Daha hassas bir biriktirme işlemi olan sıçratma, daha yoğun bir film oluşmasına sebep olur ve kaplama işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için taban malzeme üzerindeki artık gerilmeleri azaltır. Taban malzemedede oluşan gerilme ve kaplama hızı, hedef malzemelere uygulanan güç, taban malzeme sıcaklığı ve basınç tarafından kontrol edilir. Daha geniş yüzey alanına sahip hedeflerin kullanılması, işlem parametrelerinin ve biriktirme süresinin kolay bir şekilde ayarlanması ile kalınlığın kontrol edilmesine izin vererek kaplamanın homojenliğini artırır (Baptista *et al.* 2018). Buharlaştırma ve sıçratma teknikleri arasındaki farklar Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.1.** Sıçratma ve buharlaştırma sistemlerinin karşılaştırılması

<b>Parametreler</b>	<b>Sıçratma</b>	<b>Buharlaştırma</b>
<b>Vakum</b>	Düşük	Yüksek
<b>Biriktirme oranı</b>	Düşük (saf metaller ve çift magnetron hariç)	Yüksek
<b>Adezyon</b>	Yüksek	Düşük
<b>Absorpsiyon</b>	Yüksek	Daha düşük
<b>Filmlerin homojenliği</b>	Daha iyi	Daha düşük
<b>Tane boyutu</b>	Daha küçük	Daha büyük

#### **2.4. Radyo Frekansı-Fiziksel Buhar Biriktirme (RF-PVD)**

Sıçratma sisteminin ilk olarak 1852 yılında uygulanmaya başlamasıyla, özellikle yüksek ergime sıcaklığına sahip ve termal olarak buharlaştırılması çok zor/imkansız olan metalik malzemelerin buharlaştırılması ve kaplanması mümkün olmuştur. Doğru akım kullanılan bu kaplama prosesinde, vakum altında tutulan ve yüksek gerilim uygulanan iletken plakalar arasında dışarıdan gönderilen inert gaz (genellikle argon) plazma fazına geçer. Plazma fazı içerisindeki pozitif yüklü Ar iyonları, negatif olarak yüklenmiş olan hedef malzemeyi bombardıman ederek momentum transferi sonucu hedef malzemeden atom koparırlar. İlerleyen yıllarda, oluşan plazmanın belli bir alanda sıkıştırılarak iyonizasyon ve kaplama verimini arttırmak amacıyla sıçratma sistemindeki hedef malzemelerin arkasına yüksek güçlü mıknatıslar yerleştirilerek, manyetik alanda sıçratma sistemi geliştirilmiştir. Manyetik alanda sıçratma yöntemi ile plazma içerisindeki akı yoğunluğunun artması sonucu kaplamanın taban malzemeye adezyonu da arttırılmıştır.

Sıçratma yönteminde doğru akım kullanılarak iletken malzemelerin kaplanması yaygın olarak kullanılır. Yalıtkan malzemelerin buharlaştırılması için doğru akım yerine yüksek frekanslı alternatif akım uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla RF sıçratma sistemleri geliştirilmiştir. RF sıçratma sistemi kullanılarak, çok yüksek ergime ve buharlaşma sıcaklığına sahip oksit seramikler gibi yalıtkan malzemelerin buharlaştırılması mümkündür.

50 kHz'in üzerindeki frekanslarda iyonların DC diyot benzeri bir deşarjı oluşturabilmek için yeterli hareketliliği yoktur. Elektrotlara uygulanan potansiyel elektrotlar arasında kalır. Elektrotlar arasındaki boşlukta bulunan elektronlar iyonlaşmayı sağlayacak yeterli enerjiye ulaşırlar ve elektrotlar arasındaki boşlukta plazma oluşumu gerçekleşir. Yüksek bir pik voltajı olan RF potansiyeli bir elektroda kapasitif olarak uygulandığında, yüzeyde sürekli olarak değişen bir pozitif / negatif potansiyel ortaya çıkar. Her bir yarı çevrimde, sıçratmaya neden olacak kadar enerjiye sahip iyonlar yüzeye hızlandırılır, bu sayede alternatif yarı çevrimlerde, yüzeye ulaşan elektronlar yüzeyde herhangi bir yükün birikmesine engel olurlar.

RF sıçratma sistemlerinde 0.5-30 MHz aralığında RF frekansları kullanılabilmesine rağmen, ticari olarak kullanılan sistemlerde 13.56 MHz en yaygın olarak kullanılan frekanstır. RF sıçratma sistemi 1 mTorr'dan daha düşük basınç değerlerinde kullanılabilir. Hedef malzemelerin iletken veya yalıtkan olması arasında farklılık olmamasına rağmen hedefin yalıtkan olması durumunda dielektrik kayıplar söz konusu olabilir. Yalıtkan bir hedef malzemenin metal bir elektrot tarafından desteklenmesi durumunda, yalıtkan malzemenin yüzeyin tamamını kaplaması önemlidir. Aksi durumda açıkta kalan metal, metal-izolatör-plazma tarafından oluşturulan kapasitansı kısaltır. RF sıçratma sisteminin sıçratma verimi düşük olmasına rağmen, elektriksel olarak yalıtkan malzemeleri buharlaştırmak için kullanılabilir. Dielektrik hedeflerin RF kullanılarak sıçratılmasında karşılaşılan en büyük problem, elektriksel olarak yalıtkan malzemelerin çoğunun düşük termal iletkenliğe, düşük termal genleşme katsayısına ve genellikle gevrek karaktere sahip olmasıdır. Bombardıman sırasında çarpışma enerjisinin çoğu ısı enerjisine dönüştüğünden, sıçratmada yüksek güç seviyeleri uygulandığında büyük termal gradyanların oluşumu sonucunda hedeflerde kırılmalar oluşabilir. Yüksek güçlü RF sıçratma tekniğinde oksitlerin sıçratma verimliliği genellikle oldukça düşüktür. Bazı durumlarda, birkaç mikron kalınlığında bir SiO<sub>2</sub> filmini oluşturmak için 48 saatlik kaplama prosesine ihtiyaç duyulabilir (Mattox 2010).



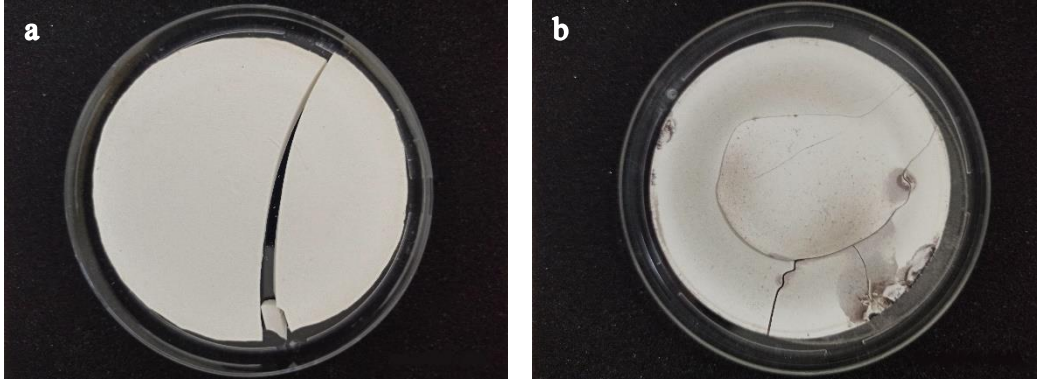
### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Hedef Malzemeler

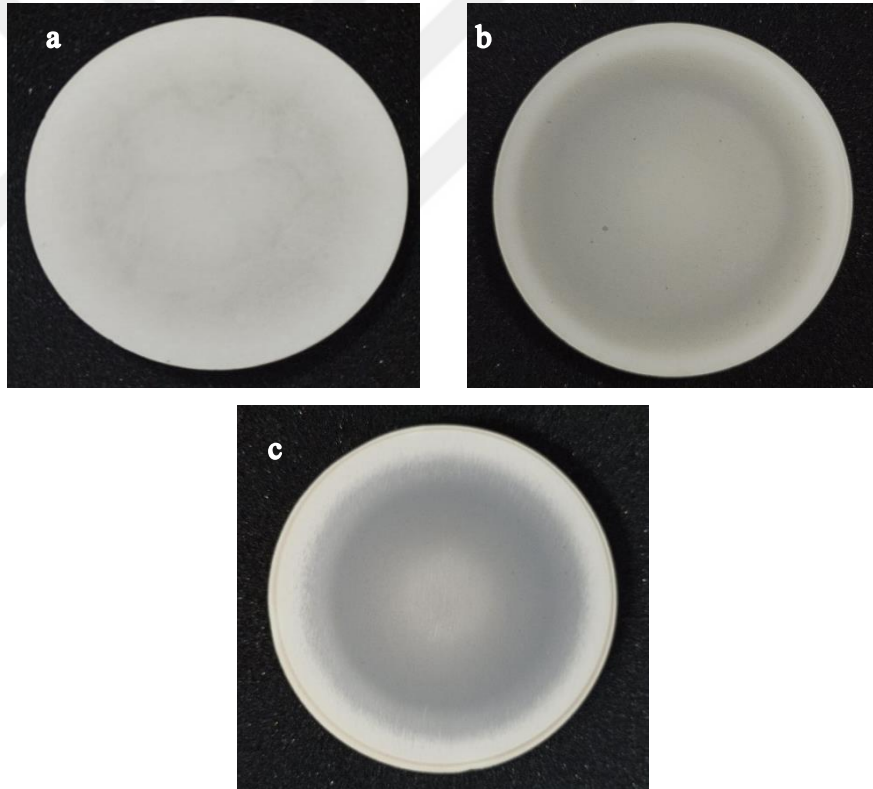
RF-PVD yöntemi kullanılarak ince film sintilatör üretimi için ilk olarak Pechini sol-jel yöntemi kullanılarak farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  ile katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  seramik hedef malzemeler kullanılmıştır. Bu yöntemde yüksek saflıkta  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  kullanılarak üretilmiş hedef malzemeler yüksek sıcaklıkta sinterlenerek 3 inç çapa sahip hedef malzemeler üretilmiştir. Alınan hedef malzemeler herhangi bir altlık kullanılmadan direkt olarak PVD kaplama odası içerisindeki magnetron sistemine yerleştirilerek kaplamalar üretilmeye çalışılmıştır. Kaplama sırasında hedef malzemelerde termal şokun engellenmesi amacıyla magnetronlara uygulanan güç 5 dakikada 10W olacak şekilde uygulanmıştır. Kaplama sonrası soğutma aşamasında da güç azaltma işlemi aynı prosedür uygulanarak yapılmıştır. Sinterlenen hedef malzemelerin sinterleme sonrası fotoğrafı Şekil 3.1’de verilmiştir. 3 inç çapında üretilen hedef malzemelerde sinterleme sonrasında şekilsel olarak çarpılmalar meydana gelmiş, bu bozunmalar kaplama prosesinden önce yüzeyden talaş kaldırılarak düzeltilmiştir. Fakat hedef malzemelerde, ilk birkaç kullanımdan sonra termal şoklar ve hedef malzemelerin üretiminden kaynaklı kılcal çatlaklar nedeniyle kırılmalar oluşmaya başlamıştır. Şekil 3.2’de birkaç kaplama prosesi sonrasında parçalanmış hedef malzemeler görülmektedir. Bu nedenle literatürde uygulanan kaplama prosesinden farklı olarak yüksek saflıktaki  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  oksit hedefler yurt dışından temin edilerek kaplama prosesleri gerçekleştirilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  kaplamaları içerisindeki  $\text{Eu}^{+3}$  miktarları,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeye uygulanan güç değiştirilerek ayarlanmıştır.



**Şekil 3.1.** Sinterleme sonrası elde edilen  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  hedef malzemede meydana gelen şekilsel bozulma



**Şekil 3.2.** Sinterlenmiş hedef malzemelerle yapılan 3 kaplama sonrasında  $\text{Eu}^{+3}$  ile katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  hedef malzemelerinde meydana gelen kırılma yapısı a)  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  b)  $\text{Gd}_2\text{O}_3$



**Şekil 3.3.** Kaplama prosesleri sırasında kullanılan hedef malzemelerin optik fotoğrafı a)  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  b)  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  c)  $\text{Eu}_2\text{O}_3$

Şekil 3.3’de kaplama prosesi sırasında kullanılan  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  hedef malzemelerin 8 kaplama sonrasında yüzey yapıları verilmiştir. Hedef malzemelerin arka kısmında bulunan bakır plakalara In bağlayıcı kullanılarak yapıştırılması sonucunda, kaplama sonrası hedef malzemelerde herhangi bir bozunma oluşmamıştır.

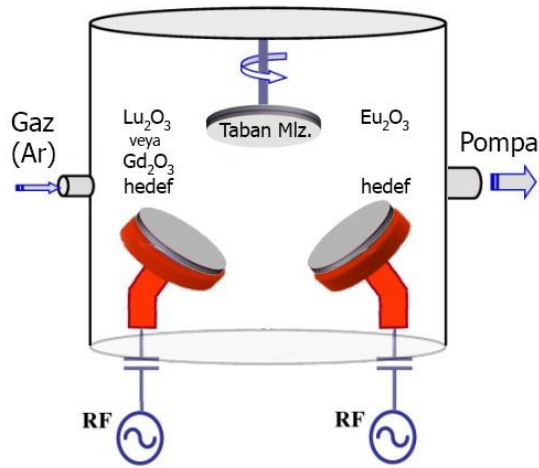
### 3.2. Kaplama Prosesi

Kaplama işlemi için VAKSİS-Midas marka RF-PVD sistemi (Şekil 3.4) kullanılmıştır. Kaplama işlemi öncesi kaplama odasında bulunabilecek kalıntı gazların negatif etkilerini en aza indirmek amacıyla kaplama sisteminin basıncı kaplama öncesinde  $5.10^{-6}$  Torr değerine kadar düşürülmüştür. Ardından plazma oluşumunu sağlamak için sisteme Ar gazı verilmiş ve kaplama işlemi süresince sistem basıncı 10 mTorr’a ayarlanmıştır. RF güç kaynakları plazmanın oluşabilmesi için mümkün olan en düşük güç değerinde (20 W) sürülerek plazma oluşturulmuştur. Bu sırada magnetronlara uygulanan güç, hedef malzemelerde termal şok oluşumunu önlemek için her 5 dakikada 10 W artırılarak kaplama için istenilen değere kadar yükseltilmiştir. Bu işlemler sırasında plazmanın varlığı devam ettiği için hedef malzeme yüzeyindeki kirliliklerin de temizlenmesi sağlanmıştır. Kaplamanın yapılacağı güç değerine ulaşıldıktan ve alt taş  $500^\circ\text{C}$  ye kadar ısıtıldıktan sonra magnetron ve alt taş perdeleri açılarak kaplama işlemi başlatılmıştır. İstenilen kaplama kalınlığına ulaşabilmek amacıyla 5 saat boyunca kaplama işlemine devam edilmiştir.



**Şekil 3.4.** Radyo frekans fiziksel buhar biriktirme (RF-PVD) cihazı

$\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  kaplamaların üretimi için  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeler iki ayrı magnetrona bağlanarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  kaplamaların üretiminde ise  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ile  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeler kullanılmıştır. Şekil 3.5’de hedef malzemelerin magnetronlara bağlanması şematik olarak gösterilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  hedef malzemelerine tüm kaplama prosesi sırasında aynı miktarda güç (75 W) uygulanmıştır. Kaplamalarda farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkısının sağlanması için  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeye istenilen katkıyı sağlayacak miktarlarda güç uygulanmıştır. Kaplama sırasında ki güç değerleri ve  $\text{Eu}^{+3}$  içerikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

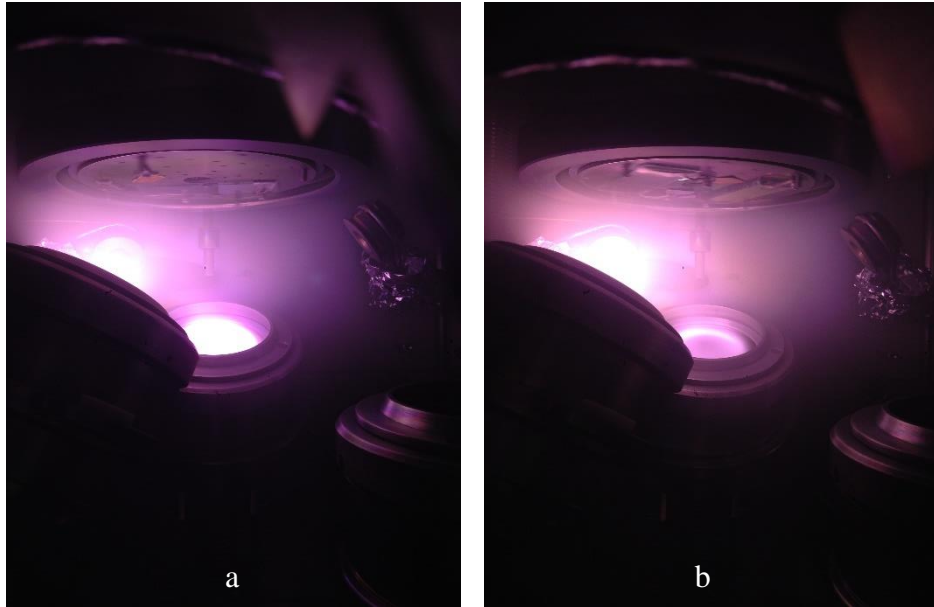


**Şekil 3.5.** Kullanılan RF-PVD sisteminin şematik gösterimi

**Çizelge 3.1.** Kaplama sırasında hedef malzemelere uygulanan güç değerleri ve  $\text{Eu}^{+3}$  içerikleri

Kaplama	Hedef	Güç(W)	Hedef	Güç (W)	$\text{Eu}^{+3}$ %at.
Lu-1	$\text{Lu}_2\text{O}_3$	75	$\text{Eu}_2\text{O}_3$	10	0,61
Lu-2				25	1,03
Lu-3				30	4,82
Lu-4				50	27,43
Gd-1	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	75	$\text{Eu}_2\text{O}_3$	10	1,20
Gd-2				25	2,55
Gd-3				30	4,55
Gd-4				50	13,94

$\text{Eu}_2\text{O}_3$  katkılı  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  kaplamaların üretimi sırasında kaplama sisteminin içinde oluşan plazmanın görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.



**Şekil 3.6.**  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  katkılı  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  filmlerin üretimi sırasında oluşan plazmanın fotoğrafı a)  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  b)  $\text{Gd}_2\text{O}_3$

### 3.3. XRD Analizleri

Üretilen kaplamaların kristal yapıları Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DAYTAM) bulunan PANalytical marka XRD cihazı kullanılarak, ince film modunda incelenmiştir. Taban malzemeden gelebilecek yansımaları ortadan kaldırmak için giriş açısı  $1^\circ$  olarak tespit edilerek  $10-90^\circ$  arasında XRD incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen difraksiyon verileri Xpert High Score paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan XRD cihazının resmi Şekil 3.7'de verilmiştir.



**Şekil 3.7.** Kaplamaların kristal yapı analizinde kullanılan XRD cihazı

Kaplamaların tane boyutlarını analiz etmek için Scherrer denklemi kullanılmıştır. XRD piklerindeki genişlemenin temel nedenleri, tane boyutu, enstrümantal etki ve latis gerilmeleridir. Denklem 3.1 de toplam genişleme bu üç bileşenin toplamı olarak verilmiştir. Bu çalışmada latis gerilmelerinin etkisi ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Enstrümantal olarak oluşan pik genişlemesini tespit etmek amacıyla tek kristalli silisyum wafer'dan alınan XRD difraksiyon piklerinde meydana gelen genişlemeler dikkate alınmıştır. Kullanılan XRD sisteminde enstrümantal genişlemenin

0,041° olduğu tespit edilmiş, toplam pik genişlemesinde bu etki çıkarılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$B_{\text{Toplam}} = B_{\text{tane boyutu}} + B_{\text{enstrumanatal}} + B_{\text{latıs gerilmesi}} \quad (3.1)$$

$$B_{\text{kristal}} = \frac{K\lambda}{L \cos\theta} \quad (3.2)$$

Burada; B piklerde meydana gelen genişlemeyi

K: Şekil faktörü (hesaplalarda 0,94 olarak kullanılmıştır)

$\lambda$ : Kullanılan X ışınımının dalga boyu

L: Ortalama tane boyutu

$B_{\text{kristal}}$ : Kristal boyutundan dolayı oluşan pik genişlemesi (FWHM radyan)

$\theta$ : Bragg açısını ifade etmektedir.

### 3.4. SEM ve EDS Analizleri

Üretilen kaplamaların büyüme morfolojileri Zeis Field Emission Gun taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 5 kV gerilim altında incelenmiştir. Kesit incelemelerinde filmin yapısını bozmadan inceleme yapabilmek için, kaplanmış Si wafer malzemeler elmas kesici yardımıyla kesilmiştir. Üretilen filmlerin elektriksel olarak yalıtkan olması sebebiyle şarj birikimleri olacağından kesit incelemeleri öncesinde kesit yüzeylerinin üzerine 50 sn süreyle altın kaplama yapılmıştır.

Üretilen kaplamaların kimyasal içeriğini tespit etmek amacıyla SEM sistemine bağlı olarak çalışan Oxford marka EDS dedektörü kullanılmıştır. EDS analizlerinde malzemenin yeterli bilgiyi alabilmek için çalışma voltajı 30 keV olarak ayarlanmıştır. EDS analizleri malzemenin genelinden veri alabilmek amacıyla 500x büyütmede yapılmış ve yapılan ölçümler 3 kez tekrar edilmiştir. Şekil 3.8'de kullanılan SEM-EDS sisteminin fotoğrafı verilmiştir.



**Şekil 3.8.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS sistemi

### **3.5. AFM Analizleri**

Kaplamaların yüzey morfolojilerini ve pürüzlülüklerini tespit etmek amacıyla DAYTAM’da bulunan Hitachi 5100N marka atomik kuvvet mikroskobu (AFM) sistemi kullanılmıştır. Analizler tapping modda yapılmıştır. Çalışmada kullanılan AFM cihazının fotoğrafı Şekil 3.9’da verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) sistemi

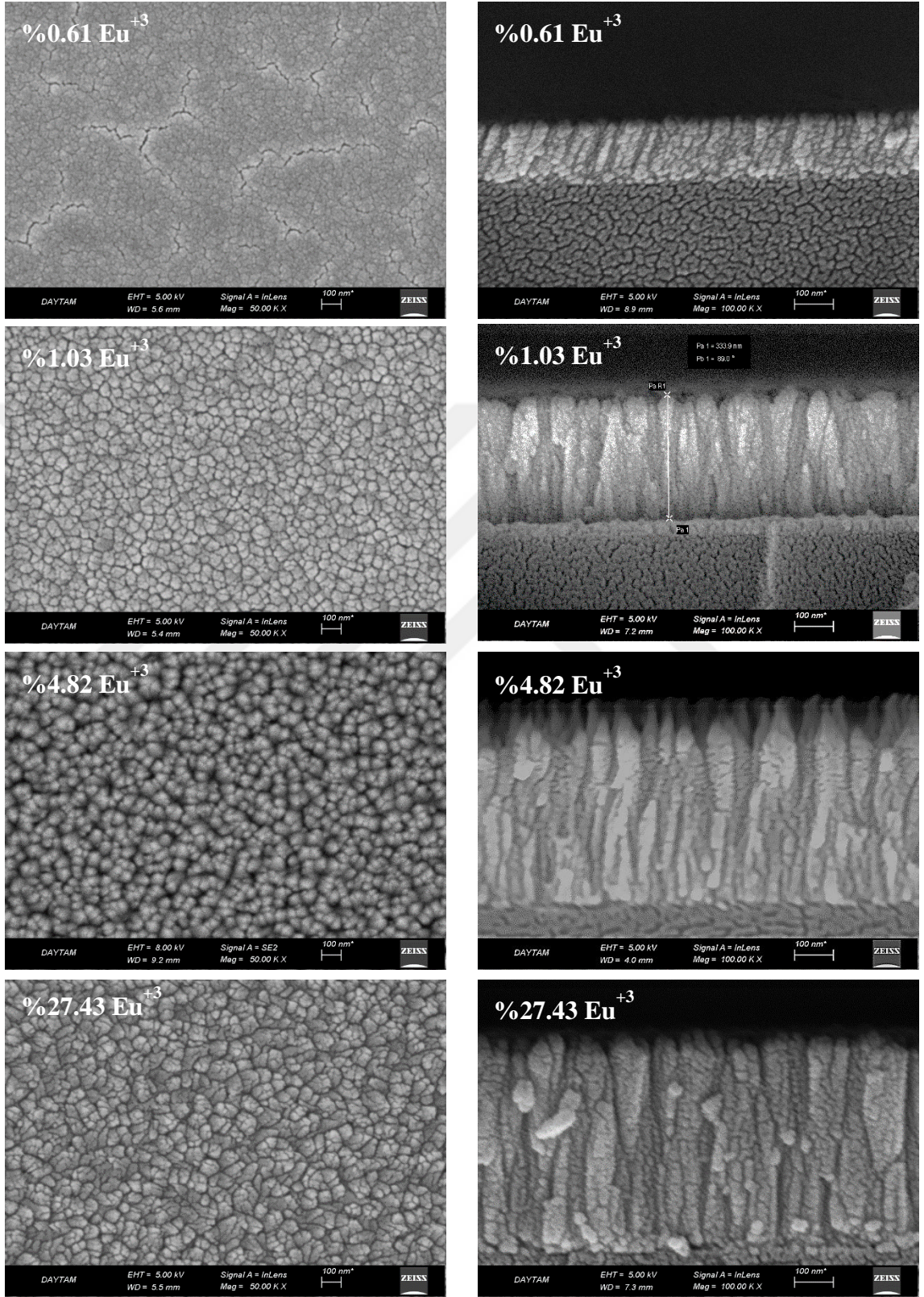


## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

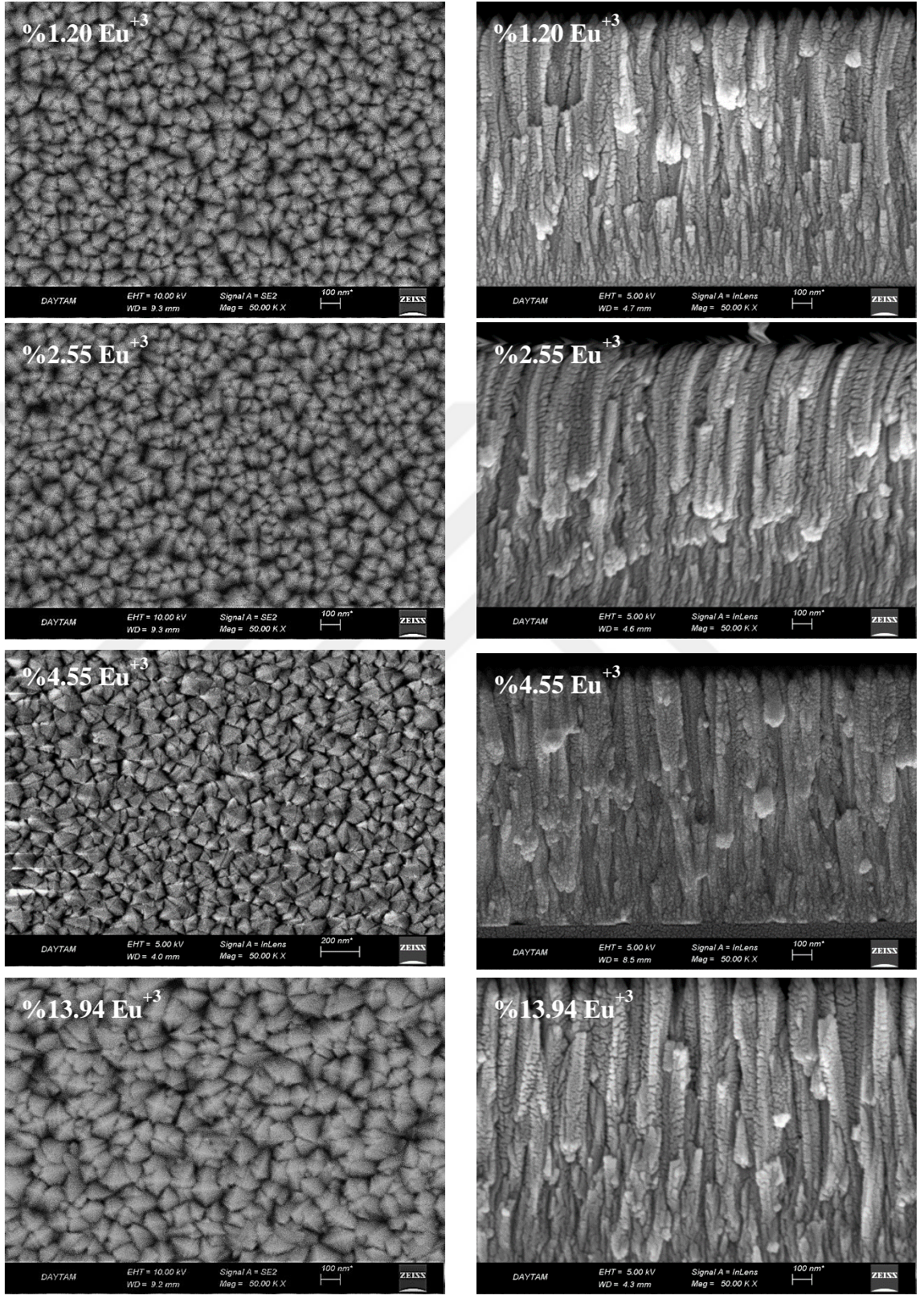
### 4.1. SEM Analizleri

Farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların kesit görüntüleri incelendiğinde tüm kaplamalarda kolonsal büyümenin hakim olduğu görülmüştür. Kaplamaların taban malzemeye yakın bölgelerinde daha küçük tane boyutları görülürken kaplamanın kalınlığının artmasıyla birlikte tane boyutunun büyüdüğü görülmüştür. Kaplama işlemi sırasında  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeye 75 W sabit güç uygulanırken  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeye, farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmasını sağlayabilmek amacıyla farklı miktarlarda güç uygulanmıştır. Kaplamalara ilave edilen Eu içeriğine bağlı olarak kaplama kalınlıklarının da arttığı görülmüştür. Yalıtkan karaktere sahip kaplamaların SEM sisteminde görüntülenebilmesi için yapılan altın kaplamalar yüzeyde küçük çaplı öbeklerin oluşumuna sebep olmuştur. Bu nedenle kolonsal büyümeyi tam olarak göstermek mümkün olmamıştır. Ayrıca kaplanmış Si wafer malzemelerin kesit incelemesi için kırılması sırasında kolonlarda da kırılmalar meydana gelmiştir. Yüzey morfolojileri incelendiğinde,  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  kaplamalara Eu ilavesi ile yüzeyde görülen tanelerin çaplarının arttığı gözlemlenmiştir.

Farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Kesit görüntüleri incelendiğinde  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda da  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara benzer olarak kolonsal büyümenin hakim olduğu görülmüştür.  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların kalınlıkları aynı şartlarda büyütülen  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalardan daha fazladır. Kaplamaların yüzey yapısı incelendiğinde,  $\text{Eu}^{+3}$  katkısının düşük olduğu kaplamaların daha küçük tane yapısına sahip olduğu,  $\text{Eu}^{+3}$  katkısının artmasıyla birlikte kaplamalarda tane yapısının daha kaba hale geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil 4.1.** Farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların yüzey (sol taraftaki) ve kesit (sağ taraftaki) SEM görüntüleri



Şekil 4.2. Farklı oranlarda  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların yüzey (sol taraftaki) ve kesit (sağ taraftaki) SEM görüntüleri

## 4.2. EDS Analizleri

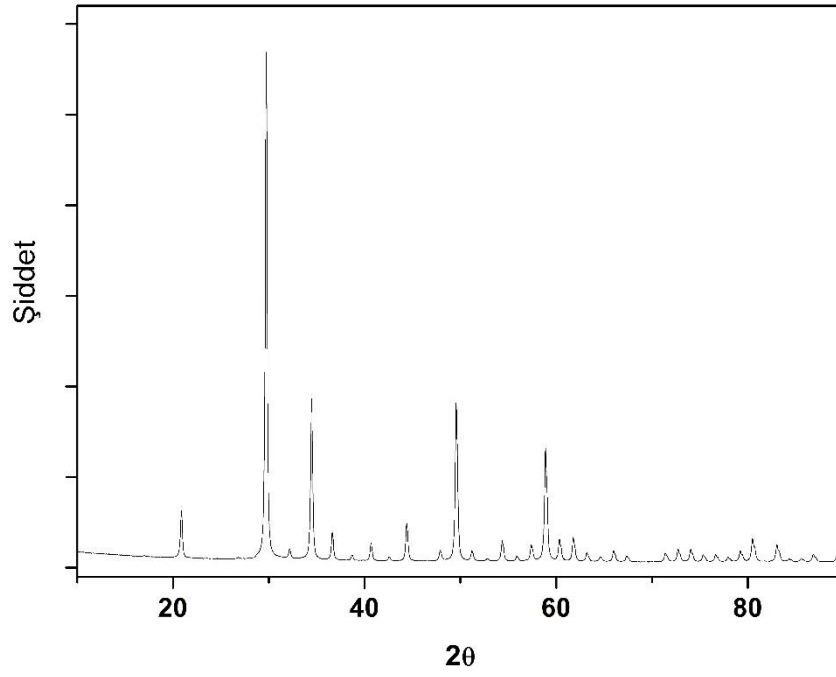
EDS analizlerinde malzemeden yeterli bilgiyi alabilmek için çalışma voltajı 30 keV olarak ayarlanmıştır. Üretilen kaplamalardan elde edilen EDS analizi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** EDS analiz sonuçları

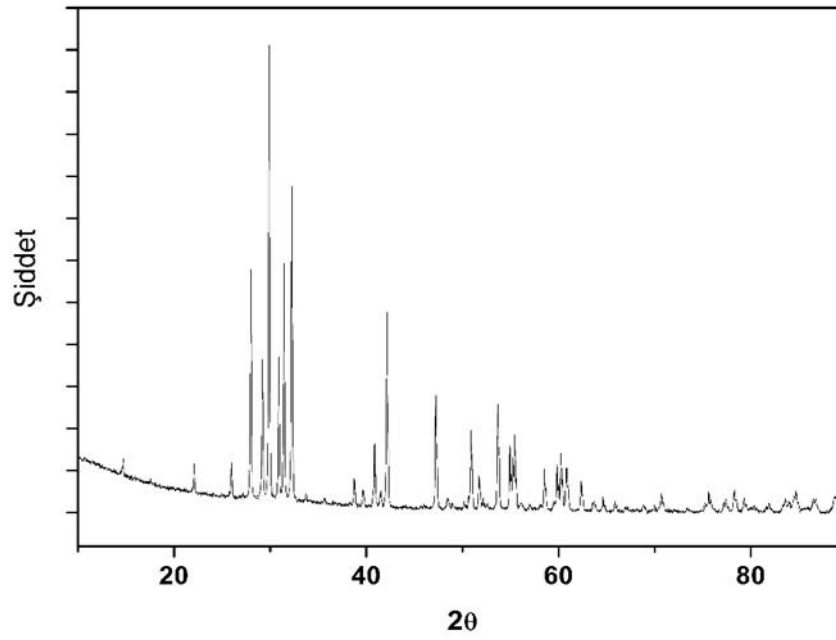
Hedef	Güç(W)	Hedef	Güç (W)	Eu <sup>+3</sup> %at.
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	0,61
			25	1,03
			30	4,82
			50	27,43
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	1,20
			25	2,55
			30	4,55
			50	13,94

## 4.3. XRD Analizleri

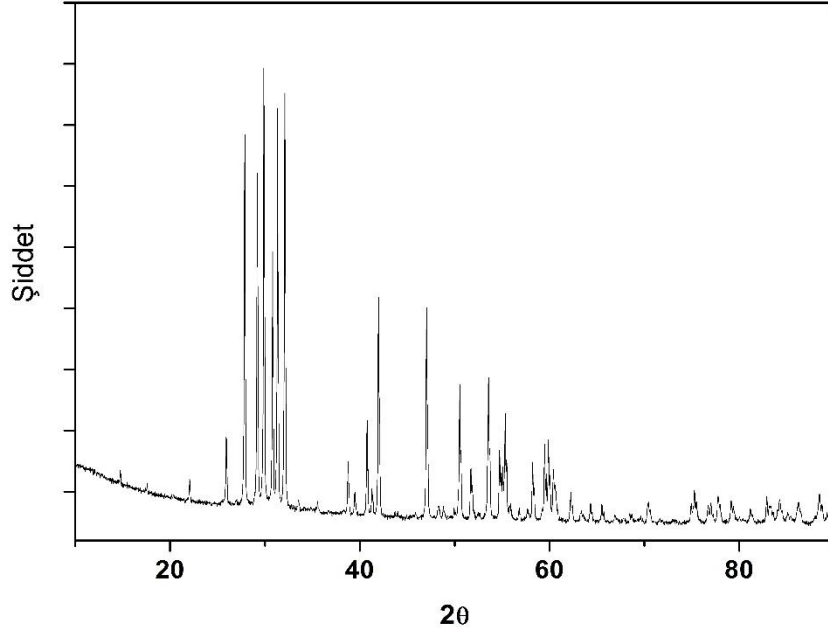
Kaplama sırasında kullanılan hedef malzemelerden alınan XRD grafikleri Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir. Yurt dışından alınan hedef malzemelerin polikristal yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm hedef malzemelerde kübik kristal kafes yapısıyla beraber monoklinik yapının da var olduğu görülmüştür. Kaplama sırasında hedef malzemelerden sıçratılan atomlar altlık malzeme üzerine biriktirilirken hedef malzemedeki yapıya benzer olarak kübik-monoklinik karışımı kristal yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.3.** Kaplamaların üretiminde kullanılan Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hedef malzemeden alınan XRD grafiği

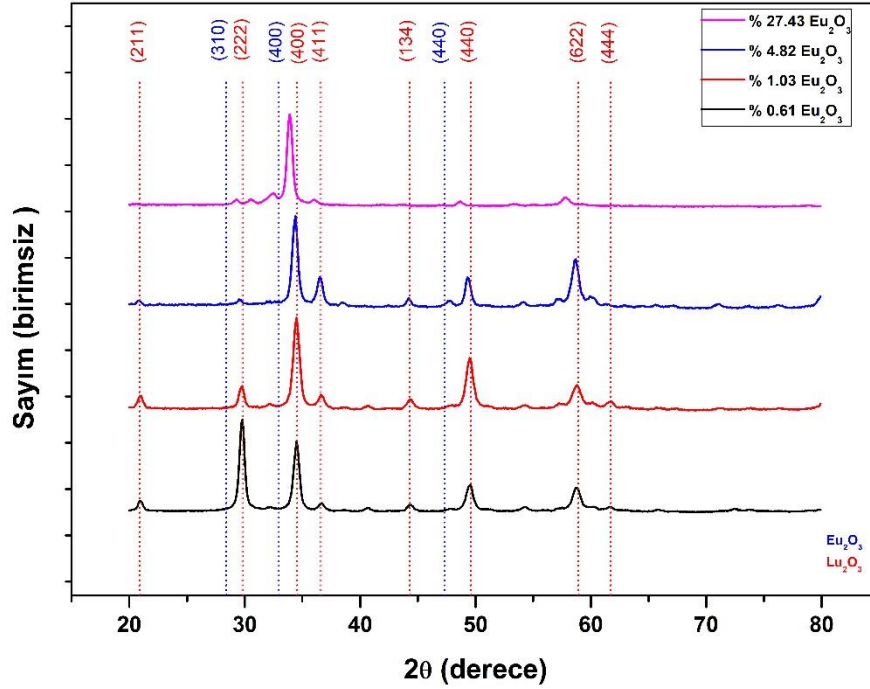


**Şekil 4.4.** Kaplamaların üretiminde kullanılan Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hedef malzemeden alınan XRD grafiği



**Şekil 4.5.** Kaplamaların üretiminde kullanılan  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeden alınan XRD grafiği

$\text{Lu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeden alınan XRD grafiğinde kübik yapının baskın olduğu, az miktarda monoklinik yapıya ait piklerin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemelerdeki faz yapısı ise oldukça karmaşık kübik-monoklinik yapıdadır. Kaplama sırasında oluşan kristal yapılar, kullanılan hedef malzemelerin yapılarından oldukça etkilenmiştir.



Şekil 4.6.  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların XRD spektrumları

$\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların XRD analiz sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'daki XRD analiz sonuçları incelendiğinde  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların literatürde ısıl işlem yapılarak elde edilebilen kübik kristal yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Düşük Eu içeriğine sahip  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda, kristal yapının literatür çalışmalarına (Martinet *et al.* 2007, Murillo *et al.* 2009, Marton *et al.* 2013) benzer olarak kübik yapıda (JCPDS 43-1021) olduğu görülmektedir. Lu-1 kaplamasında kübik yapıya ait (222) yönlenmesinin baskın olduğu görülmektedir. Artan Eu içeriğine bağlı kübik kristal yapıda  $34,4^\circ$ 'de (400) yönlenmesi daha baskın hale gelmiş, Lu-2 kaplamasında  $36,6^\circ$ 'de görünen (411) yönlenmesinde de artma olmuştur. Yapıya yüksek miktarda Eu eklenmesi ile elde edilen Lu-4 kaplamasında,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  fazlarının oluşmasına bağlı olarak  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 'e ait (400) pikinin sola doğru kayarak  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 'e ait (400) piki ile birleşmesi sonucunda  $33,92^\circ$ 'de güçlü bir pik oluştuğu görülmektedir. Bu birleşik etkiden dolayı kübik kristal yapıdaki  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 'e ait olan pik şiddetlerinde

azalmalar olduğu görülmüştür. XRD pikleri incelendiğinde  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 'e ait sırasıyla JCPDS 43-1021 ve JCPDS 43-1008 kartlarıyla uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir.

$\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların Scherrer tane boyutu analizi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda Eu ilavesi ile tane boyutlarında önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

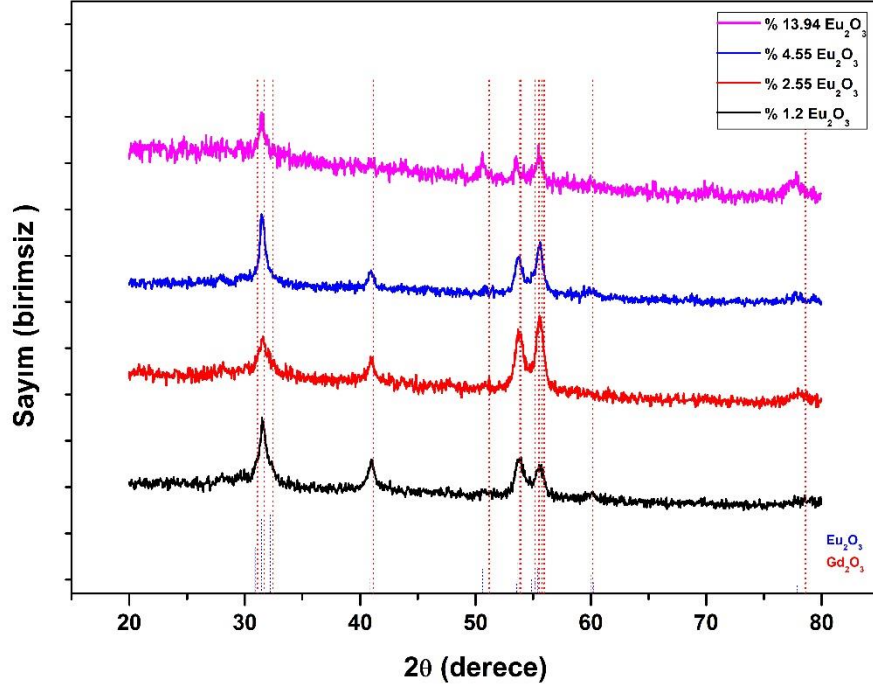
**Çizelge 4.2.**  $\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların tane boyutu

Kaplama	Tane boyutu (nm)
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ - % 0,61 $\text{Eu}^{+3}$ katkı	16,66
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ - % 1,03 $\text{Eu}^{+3}$ katkı	15,91
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ - % 4,82 $\text{Eu}^{+3}$ katkı	17,06
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ - % 27,43 $\text{Eu}^{+3}$ katkı	16,17

$\text{Eu}^{+3}$  katkılanmış  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların XRD analiz sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'deki XRD analiz sonuçları incelendiğinde  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince film kaplamaların monoklinik ve amorf yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. XRD pikleri incelendiğinde  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 'e ait sırasıyla JCPDS 43-1015 ve JCPDS 43-1009 kartlarıyla uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda (Pang *et al.* 2003, Rajan and Gopchandran 2009, Rajan *et al.* 2009),  $\text{Eu}^{+3}$ 'ün  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  matrisinde tane büyümeyi önleyici olarak hareket ettiği ifade edilmiştir.  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ 'ün kristal kafesine dahil edilmesi, taneler arasına karışıp orada yeterli ayırma kuvveti uygulayarak tane büyümesini baskılayabilir. Katkılanan  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının, tane sınır hareketliliğini engellemesi sonucunda tane boyutunda küçülme meydana gelebilir. Ayrıca literatürde  $\text{Eu}^{+3}$  katkı konsantrasyonundaki artışın filmlerde kafes gerilimini de arttırdığı ifade edilmiştir.





Şekil 4.7. Eu<sup>+3</sup> katkılanmış Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> kaplamaların XRD spektrumları

Literatürde, saf Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filminin kafes geriliminin, %5mol Eu<sup>+3</sup> katkılı filmin kafes gerilimine kıyasla daha yüksek olduğu, Eu<sup>+3</sup> katkısının artırılmasıyla matriste oluşan distorsiyonun arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca tane boyutundaki azalmanın, kafes gerilimini arttırdığı görülmüştür. Bu çalışmada da literatürdeki çalışmalara benzer olarak Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yapılarına Eu<sup>+3</sup> ilavesi ile kafeste meydana gelen gerilmeler ve tane boyutunda meydana gelen küçülme nedeniyle Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> yapılarının XRD piklerinde Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> kaplamalardan farklı olarak pik genişlemeleri görülmüştür. Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>+3</sup> ince filmlerden elde edilen XRD sonuçlarında, piklerde meydana gelen genişlemeler nedeniyle tane boyutu analizi yapılamamıştır. Elde edilen kaplamaların geçirimli elektron mikroskobu incelemelerinin yapılması bu konunun tam olarak aydınlatılmasını sağlayabilir.

#### 4.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu Analizleri

$\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobu analizleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu analizleri 1 mikrometre x 1 mikrometre alanda tapping mod kullanılarak gerçekleştirilmiştir.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda artan Eu içeriği yüzey morfolojisinde daha pürüzlü bir yapı oluşumuna sebep olmuştur.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda Eu ilavesi ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 4,17 nm’den 7,36 nm’ye çıkmıştır. Belirli bir çizgi üzerindeki en yüksek tepe ve çukur arasındaki mesafeler de Eu ilavesi ile 22,34 nm’den 45,37 nm’ye kadar yükselmiştir. Eu ilavesi ile iki ayrı kaynaktan gelen kaplama bileşenleri, büyüme hızını artırmış, buna bağlı olarak kaplamalarda Şekil 4.1. de verilen SEM görüntülerinde de gösterildiği gibi kolon çapları artmıştır. Kolon çaplarının artmasına bağlı olarak kaplamaların pürüzlülük değerlerinde artma gözlenmiştir.

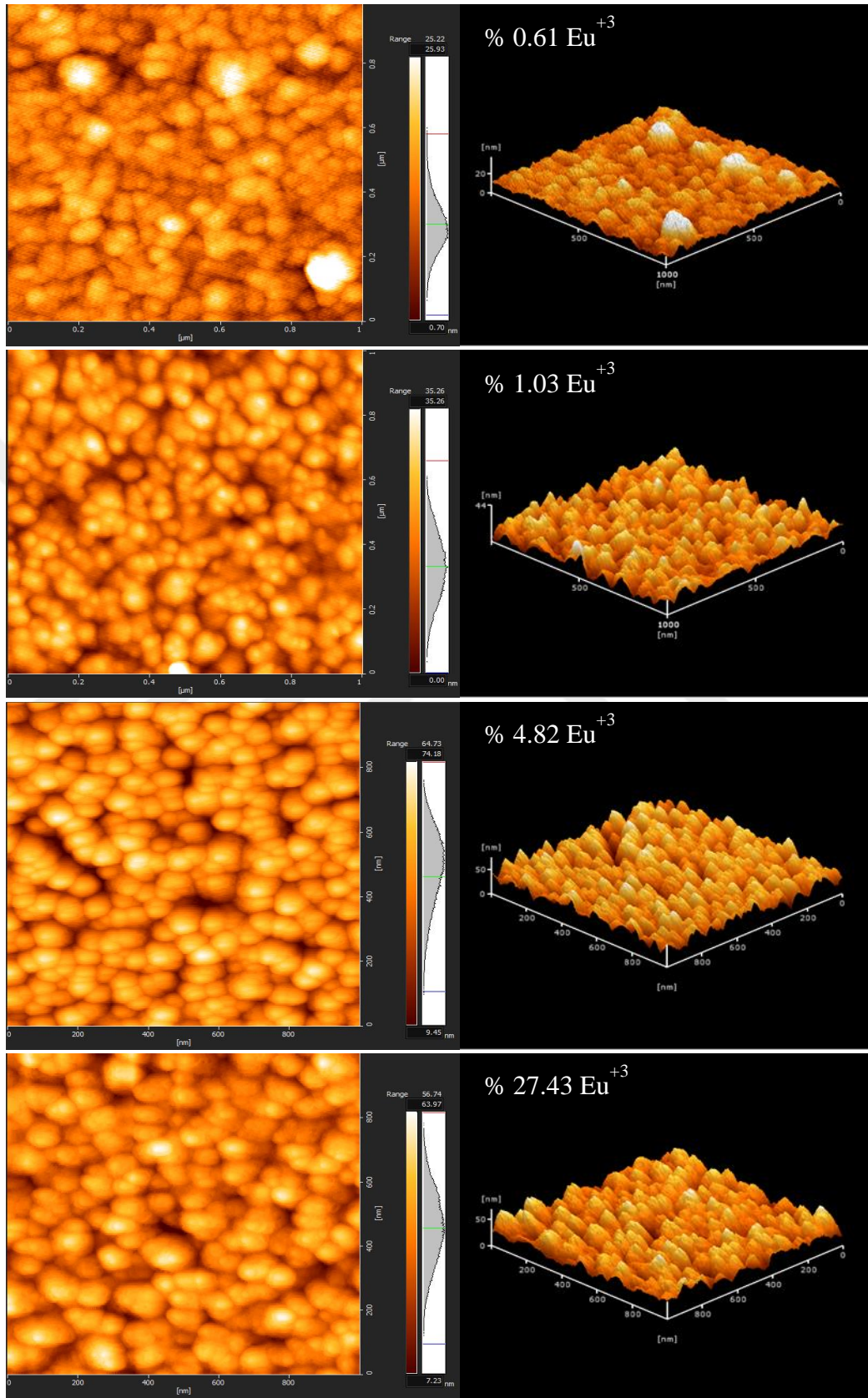
**Çizelge 4.3.**  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara ait pürüzlülük değerleri

Kaplama	Ra (nm)	Rz (nm)	Rq (nm)
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ -%0.61 $\text{Eu}^{+3}$	4,17	22,34	4,94
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ -%1.03 $\text{Eu}^{+3}$	4,21	22,84	5,16
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ -%4.82 $\text{Eu}^{+3}$	5,04	35,33	8,66
$\text{Lu}_2\text{O}_3$ -%27.43 $\text{Eu}^{+3}$	7,36	45,37	9,89
$\text{Gd}_2\text{O}_3$ -%1.20 $\text{Eu}^{+3}$	14,77	79,38	18
$\text{Gd}_2\text{O}_3$ -%2.55 $\text{Eu}^{+3}$	16,09	91,73	19,78
$\text{Gd}_2\text{O}_3$ -%4.55 $\text{Eu}^{+3}$	17,63	110,53	22,74
$\text{Gd}_2\text{O}_3$ -%13.94 $\text{Eu}^{+3}$	18,28	105,94	22,73

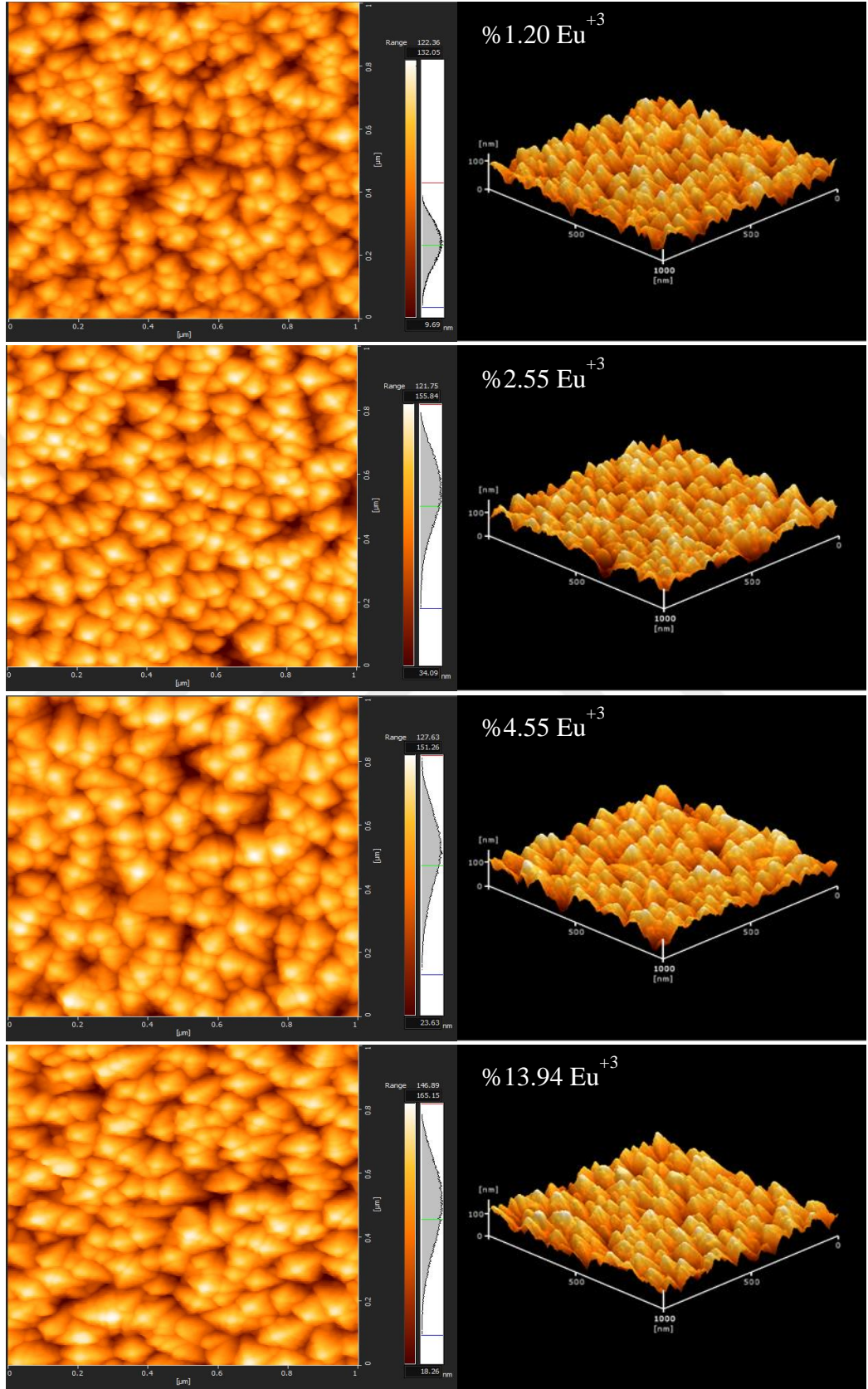
**Ra:** Belirlenen değerlendirme uzunluğundaki profil yüksekliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

**Rq:** Değerlendirme uzunluğundaki profil yüksekliklerinin karekök ortalamasıdır.

**Rz:** Değerlendirme uzunluğu boyunca hesaplanan maksimum tepe-çukur arası mesafelerin ortalamasıdır.



Şekil 4.8.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobü analizleri

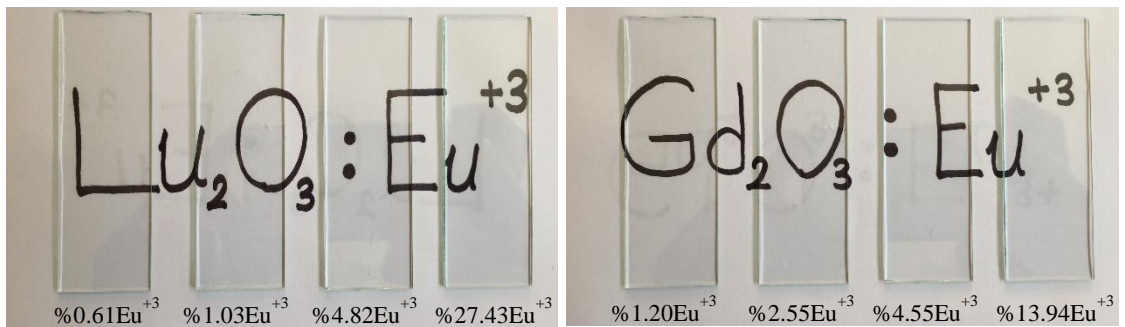


Şekil 4.9.  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobu analizleri

$Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalara ait atomik kuvvet mikroskobu analizleri Şekil 4.9'da verilmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalarda da artan Eu içeriğine bağlı olarak  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalara benzer olarak pürüzlülüğün arttığı gözlemlenmiştir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalarda Eu ilavesi ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 14,77 nm'den 18,28 nm'ye çıkmıştır. Rz değerleri ise Eu ilavesi ile 79,38 nm'den 105,94 nm'ye yükselmiştir.  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalarla kıyaslandığında  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamaların literatürde (Seo *et al.* 2002, Rajan and Gopchandran 2009, Choi *et al.* 2011) verilen sonuçlara benzer olarak daha yüksek pürüzlülük değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalarda, kübik kristal yapının baskın olduğu ve oluşan fazların birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalarda ise kafes yapısında monoklinik yapı baskındır. Eklenen Eu ile  $Gd_2O_3$  yapısı arasındaki uyumsuzluklar kaplamanın büyüme morfolojisini de etkilemiş, daha pürüzlü bir yapının oluşmasına neden olmuştur.

#### 4.5. Cam Taban Malzemelerin Kaplama Sonrası Optik Görüntüleri

Sintilatör malzemelerin optik olarak geçirgen olması gereklidir. Literatürde yapılan çalışmalarda optik geçirgenliğin sağlanması amacıyla ısıtma işlemi yapılması gerekliliği ifade edilmiştir (Liu *et al.* 2004, Murillo *et al.* 2009, Rajan *et al.* 2009, Roy *et al.* 2013, Marton *et al.* 2015). Bu çalışma kapsamında herhangi bir ısıtma işlemi yapılmaksızın optik olarak geçirgen Eu katkılu  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamalar üretilmiştir. Şekil 4.10'da üretilen ince filmlerin, üzerinde kaplama tipi yazılı olan bir kağıt üzerine konularak çekilen fotoğrafı verilmiştir. Fotoğraftan kaplanmış camların altta yazılı bulunan ifadelerin görülmesinde herhangi bir engel oluşturmadığı, optik olarak geçirgen olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. Optik olarak geçirgen  $Lu_2O_3:Eu^{+3}$  ve  $Gd_2O_3:Eu^{+3}$  kaplamaların görüntüleri

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

1-  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmler, Eu içeriği daha önceden belirlenerek hazırlanmış  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  tozların preslenmesi ve sinterlenmesiyle üretilen hedef malzemeler kullanılarak üretilmeye çalışılmış fakat bu hedef malzemeler termal şok sonucunda kullanılamaz hale gelmiştir. Bu nedenle yurtdışından alınan  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  hedef malzemeler kullanılarak kaplamalar üretilmiştir. Bu tür bir yaklaşımla  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ince filmlerin üretilmesi literatürde ilk kez bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir.

2- Üretilen kaplamaların XRD analizleri sonucunda,  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda kübik kristal yapının,  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda ise monoklinik yapının baskın olarak yapıda bulunduğu tespit edilmiştir.  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda, kaplamaya eklenen Eu miktarının artmasıyla birlikte yapıda amorf fazların oluşmaya başladığı,  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda ise böyle bir etkinin olmadığı görülmüştür.

3- Yapılan kaplamaların 20-100 nm çapında, kolonsal olarak büyüdüğü tespit edilmiştir. Sintilatör malzemelerde kolonların çapları direkt olarak sintilatör ekranın çözünürlüğünü etkilemektedir. Bu nedenle üretilen kaplamaların sintilatör malzemesi olarak kullanılması durumunda yüksek çözünürlüğe sahip olması beklenmektedir. Üretilen bazı kaplamalarda kolonlar arası boşluklar olduğu tespit edilmiştir. Bu boşluklar X ışınlarının sintilasyonunda olumsuz etkilere sebep olabilir. Bu nedenle filmlerde en az boşluğa sahip kolonsal yapıyı üretebilmek için optimize yapılması gerekebilir.

4-  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamaların  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalara kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaplama sırasında oluşan fazların uyumu mikro yapı beraberinde makro yapıyı da etkilemektedir.  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalarda oluşan monoklinik yapı kaplama kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir.

5- Literatürde kütleli veya ince film olarak üretilen  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  yapılarında optik geçirgenliği sağlamak amacıyla ısı işlem uygulanması gerektiği görülmektedir. Bu tez çalışmasında hiçbir ısı işleme gereksinim duyulmaksızın optik olarak geçirgen  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{+3}$  kaplamalar üretilmiştir.



**KAYNAKLAR**

- Bachmann, V., Ronda, C. and Meijerink, A., 2009. Temperature quenching of yellow Ce<sup>3+</sup> luminescence in YAG: Ce. *Chemistry of Materials*, 21(10), 2077-2084.
- Bae, J., Yi, S., Kim, J., Shim, K., Moon, B., Jeong, J. and Kim, Y., 2006. Crystalline-phase-dependent red emission behaviors of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> thin-film phosphors. *Applied Physics A*, 82(2), 369-372.
- Bae, J.S., Shim, K.S., Yang, H.K., Moon, B.K., Jeong, J.H., Kim, Y.S., Yi, S.S. and Kim, J.H., 2006. Surface morphology and crystalline phase dependent photoluminescence of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> thin films grown on various substrates. *Thin Solid Films*, 515(4), 2497-2500.
- Baptista, A., Silva, F., Porteiro, J., Míguez, J. and Pinto, G., 2018. Sputtering physical vapour deposition (PVD) coatings: A critical review on process improvement and market trend demands. *Coatings*, 8(11), 402.
- Birks, J. and Firk, F., 1965. The theory and practice of scintillation counting. *Physics Today*, 18 60.
- Blasse, G., 1994. Scintillator materials. *Chemistry of Materials*, 6(9), 1465-1475.
- Brooks, F., 1979. Development of organic scintillators. *Nuclear Instruments Methods*, 162(1-3), 477-505.
- Chaudhry, A., 2009. First-principles and empirical modeling of scintillator materials, silicon nano-bridges and MuGFETs. University of California, Davis.
- Chen, X., Xiang, G., Chai, F., Zhang, Z., Shi, S., Xu, F. and Zhao, J., 2016. An alternate spin-coating strategy toward high-quality polycrystalline thin Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> film fabrication. *Surface Coatings Technology*, 302 523-527.
- Choi, S., Park, B.-Y., Ahn, T., Kim, J.Y., Hong, C.S., Yi, M.H. and Jung, H.-K., 2011. Color emission and dielectric properties of Eu-doped Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gate oxide thin films. *Thin Solid Films*, 519(10), 3272-3275.
- de Jesus Morales Ramírez, A., Hernández, M., Murillo, A., de Jesús Carrillo Romo, F., Palmerin, J., Velazquez, D. and Jota, M., 2013. Structural and luminescence properties of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> f127 tri-block copolymer modified thin films prepared by sol-gel method. *Materials*, 6(3), 713-725.
- Derenzo, S.E., Moses, W., Cahoon, J., Perera, R. and Litton, J., 1990. Prospects for new inorganic scintillators. *IEEE transactions on nuclear science*, 37(2), 203-208.
- Do, Y.R., Kim, Y.-C., Shin, N. and Sohn, K.-S., 2005. Enhanced light extraction efficiency in pulse laser deposited Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> thin-film phosphors on 2-D PCLs. *Electrochemical Solid-State Letters*, 8(5), H43-H45.
- Dujardin, C., Le Luyer, C., Martinet, C., Garapon, C., Mugnier, J., Murrillo, A., Pedrini, C. and Martin, T., 2005. Thin scintillating films of sesquioxides doped with Eu<sup>3+</sup>. *Nuclear Instruments Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors Associated Equipment*, 537(1-2), 237-241.
- García-Murillo, A., Le Luyer, C., Dujardin, C., Martin, T., Garapon, C., Pedrini, C. and Mugnier, J., 2002. Elaboration and scintillation properties of Eu<sup>3+</sup>-doped Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sol-gel films. *Nuclear Instruments Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors Associated Equipment*, 486(1-2), 181-185.



- Guo, H., Yin, M., Dong, N., Xu, M., Lou, L. and Zhang, W., 2005. Effect of heat-treatment temperature on the luminescent properties of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu film prepared by Pechini sol-gel method. *Applied surface science*, 243(1-4), 245-250.
- Hofstadter, R., 1948. Alkali halide scintillation counters. *Physical Review*, 74(1), 100.
- Hofstadter, R., 1949. The detection of gamma-rays with thallium-activated sodium iodide crystals. *Physical Review*, 75(5), 796.
- Johnson, Q.S., Edwards, M. and Curley, M., 2013. Analysis of the refractive index and film thickness of Eu doped gadolinium oxide (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) planar waveguides fabricated by the sol-gel and dip coating methods. *Photonic Fiber and Crystal Devices: Advances in Materials and Innovations in Device Applications VII*, International Society for Optics and Photonics.
- Johnson, Q.S., Edwards, M., Herring, J. and Curley, M., 2014. Elaborations on surface structural effects and optical waveguide properties of gadolinium oxide (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and gadolinium oxide europium doped (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup>) sol-gel films. *Photonic Fiber and Crystal Devices: Advances in Materials and Innovations in Device Applications VIII*, International Society for Optics and Photonics.
- Knoll, G. and Glein, F., 1989. *Radiation detection and measurement*, Wiley. New York.
- Knoll, G.F., 2010. *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons.
- Kozyrev, E., Kuper, K., Petrozhitskiy, A., Popov, A. and Lemzyakov, A., 2017. X-ray Tomography using Thin Scintillator Films.
- Lecoq, P., 1994. The high energy physics demand for a new generation of scintillators. *Journal of luminescence*, 60 948-955.
- Liu, C., 2017, High-Z Nanoparticle/Polymer Nanocomposites for Gamma-Ray Scintillation Detectors.
- Liu, X., Qiu, L., Gu, M., Zhang, R. and Xu, X., 2004. Investigation on Eu<sup>3+</sup>-doped Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sol-gel thin films. *Fifth International Conference on Thin Film Physics and Applications*, International Society for Optics and Photonics.
- Mapelli, A., 2011, *Scintillation Particle Detectors Based on Plastic Optical Fibres and Microfluidics*.
- Martinet, C., Pillonnet, A., Lancok, J. and Garapon, C., 2007. Optical, structural and fluorescence properties of nanocrystalline cubic or monoclinic Eu: Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films prepared by pulsed laser deposition. *Journal of luminescence*, 126(2), 807-816.
- Marton, Z., Bhandari, H.B., Brecher, C., Miller, S.R., Singh, B. and Nagarkar, V.V., 2013. Fabrication of High-Resolution Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu X-Ray Scintillator by Physical Vapor Deposition. *IEEE transactions on nuclear science*, 60(2), 983-987.
- Marton, Z., Miller, S.R., Brecher, C., Kenesei, P., Moore, M.D., Woods, R., Almer, J.D., Miceli, A. and Nagarkar, V.V., 2015. Efficient high-resolution hard x-ray imaging with transparent Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu scintillator thin films. *Medical Applications of Radiation Detectors V*, International Society for Optics and Photonics.
- Mattox, D.M., 2010. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. William Andrew.
- Milbrath, B.D., Peurrung, A.J., Bliss, M. and Weber, W.J., 2008. Radiation detector materials: An overview. *Journal of Materials Research*, 23(10), 2561-2581.
- Moses, W.W., 2002. Current trends in scintillator detectors and materials. *Nuclear Instruments Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors Associated Equipment*, 487(1-2), 123-128.

- Murillo, A.G., Calderon, V.H.C., Romo, F.d.J.C. and Velázquez, D.Y.M., 2019. F-127-Assisted Sol-Gel Synthesis of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> Powders and Films. *Materials Research*, 22(3).
- Murillo, A.G., Romo, F.d.J.C., Le Luyer, C., Ramírez, A.d.J.M., Hernández, M.G. and Palmerin, J.M., 2009. Sol-gel elaboration and structural investigations of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> planar waveguides. *Journal of sol-gel science technology*, 50(3), 359-367.
- Nikl, M., 2016. *Nanocomposite, Ceramic, and Thin Film Scintillators*. Jenny Stanford Publishing.
- Ozawa, L. and Itoh, M., 2003. Cathode ray tube phosphors. *Chemical reviews*, 103(10), 3835-3856.
- Pang, M., Lin, J., Fu, J., Xing, R., Luo, C. and Han, Y., 2003. Preparation, patterning and luminescent properties of nanocrystalline Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: A (A= Eu<sup>3+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, Sm<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>) phosphor films via Pechini sol-gel soft lithography. *Optical Materials*, 23(3-4), 547-558.
- Pradhan, A., Zhang, K., Mohanty, S., Dadson, J., Hunter, D., Loutts, G., Roy, U., Cui, Y., Burger, A. and Wilkerson, A., 2005. Luminescence and spectroscopic behavior of Eu<sup>3+</sup>-doped Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> epitaxial films grown by pulsed-laser deposition. *Journal of Applied Physics*, 97(2), 023513.
- Rajan, G. and Gopchandran, K., 2009. Engineering of luminescence from Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> nanophosphors by pulsed laser deposition. *Optical Materials* 32(1), 121-132.
- Rajan, G., Vinodkumar, R., Pillai, V.M. and Gopchandran, K., 2009. Effects of the Eu<sup>3+</sup> concentration on the structural, optical and morphological properties of cubic Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructured thin films. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing.
- Roy, S., Topping, S. and Sarin, V., 2013. Growth and Characterization of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> Thin Films on Single-Crystal Ytria-Doped Zirconia. *JOM*, 65(4), 557-561.
- Röntgen, W.C., 1896. On a new kind of rays. *Science*, 3(59), 227-231.
- Salimgareeva, V. and Kolesov, S., 2005. Plastic scintillators based on polymethyl methacrylate: A review. *Instruments Experimental Techniques*, 48(3), 273-282.
- Sengupta, D., Miller, S., Marton, Z., Chin, F., Nagarkar, V. and Pratx, G., 2015. Bright Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu thin-film scintillators for high-resolution radioluminescence microscopy. *Advanced healthcare materials*, 4(14), 2064-2070.
- Seo, S.Y., Lee, S., Park, H.D., Shin, N. and Sohn, K.-S., 2002. Luminescence of pulsed laser deposited Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> thin film phosphors on quartz glass substrates. *Journal of Applied Physics*, 92(9), 5248-5251.
- Smith, E.R., Gruber, J.B., Wellenius, P., Muth, J.F. and Everitt, H.O., 2010. Spectra and energy levels of Eu<sup>3+</sup> in cubic phase Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *physica status solidi*, 247(7), 1807-1813.
- Tanaka, I., Ishii, N., Sato, R. and Tamaki, T., 2005. Crystal structures and photoluminescence properties of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> phosphor thin films prepared by laser ablation. *Japanese journal of applied physics*, 44(5R), 3245.
- Van Sciver, W. and Hofstadter, R., 1951. Scintillations in Thallium-Activated CaI<sub>2</sub> and CsI. *Physical Review*, 84(5), 1062.
- Weber, M.J., 2002. Inorganic scintillators: today and tomorrow. *Journal of luminescence*, 100(1-4), 35-45.

- Wellenius, P., Smith, E.R., Wu, P.C., Everitt, H.O. and Muth, J.F., 2010. Effect of oxygen pressure on the structure and luminescence of Eu-doped Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films. *physica status solidi*, 207(8), 1949-1953.
- Yanagida, T., 2018. Inorganic scintillating materials and scintillation detectors. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 94(2), 75-97.
- Zhang, K., Hunter, D., Mohanty, S., Dadson, J., Barnakov, Y. and Pradhan, A., 2004. Luminescence properties of Eu<sup>3+</sup>: Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Eu<sup>3+</sup>: Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles, ceramics and thin films. *MRS Online Proceedings Library Archive*, 846.



## ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında çift ana dal yaptığı Atatürk Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.

