

## ZnO:Eu Filmlerinin Mikroyapısal ve Optik Özellikleri

Gonca İlgü BÜYÜK<sup>1</sup>, Saliha ILICAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 26470 Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 26470 Eskişehir, Türkiye

**Geliş Tarihi:** 23.10.2018

**Kabul Tarihi:** 07.12.2018

\*Sorumlu Yazar: salihailican@gmail.com

### Öz

Evropiyum (Eu) katkılı çinko oksit (ZnO) filmleri, ucuz ve basit bir metot olan sol jel metodu ile elde edilen çözeltiler kullanılarak p-tipi silisyum (p-Si) alttaşlar üzerine spin kaplama tekniği ile büyütülmüştür. Elde edilen ZnO filminin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerine Eu katkısının etkisi, sırasıyla X-ışını kırınım cihazı, taramalı elektron mikroskopu ve uv-vis spektrofotometresi kullanılarak araştırılmıştır. Filmlerin XRD spektrumlarından, bütün filmlerin hekzagonal wurtzite zinkit (ZnO) yapıya ait olduğu ve (002) tercihli yönelime sahip olduğu belirlenmiştir. ZnO:Eu filmlerinin çekilen SEM fotoğrafları ImageJ programı ile analiz edilmiştir. Bütün filmlerin yüzeylerinin homojen ve düzgün yapıya sahip olduğu ve nanoparçacıklardan oluştuğu; yapılan Eu katkısının ZnO yüzey morfolojisinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. ZnO:Eu filmlerinin diffüz yansıma spektrumları, entegre küre aparatlı UV-vis spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür. Bu spektrumlar kullanılarak filmlerin optik bant aralık değerleri, hem diferansiyel yansıma spektrumları hem de Kubelka-Munk fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Evropiyum, Çinko oksit, Nanoparçacık, Sol jel, Kubelka-Munk.

## Microstructural and Optical Properties of ZnO:Eu Films

### Abstract

Europium (Eu) doped zinc oxide (ZnO) films were grown onto p-type silicon (p-Si) substrates via spin coating technique using the prepared solutions with sol gel method which is simple and economical method. The effects of Eu on the structural, morphological and optical properties of the obtained ZnO film was investigated by using X-ray diffractometer, scanning electron microscopy and uv-vis spectrophotometer, respectively. From the XRD spectra of the films, it was determined that all the films belong to the hexagonal wurtzite structure of zincite (ZnO) phase and had (002) preferential orientation. SEM photographs of ZnO:Eu films were analyzed by ImageJ program. It was observed that all films had a homogeneous and uniform surface and consisted of nanoparticles. No significant change was observed in the surface morphology of the ZnO film, by Eu doping. The diffuse reflectance spectra of ZnO: Eu films were measured using an integrated sphere attachment UV-vis spectrophotometer. Using these spectra, the optical band gap values of the films were determined using both the differential reflectance spectra and the Kubelka-Munk function.

**Keywords:** Europium, Zinc oxide, Nanoparticle, Sol gel, Kubelka-Munk.

## 1. Giriş

Metal oksit filmler (ZnO, TiO<sub>2</sub>, CdO ve SnO<sub>2</sub> gibi) teknolojide birçok uygulama alanı bulmalarından dolayı, özellikle son yıllarda daha fazla ilgi görmeye ve araştırmacıların ilgisini çekmeye başlamıştır. Bu metal oksitlerden biri olan ZnO; ucuz ve çevre dostu bir malzeme olup, optik geçirgenliği ve elektriksel iletkenliği yüksek, optik bant aralığı oda sıcaklığında yaklaşık 3,37 eV değerine sahip olan oldukça önemli bir yarıiletkenidir [1, 2]. Bu üstün özellikleri nedeniyle de hem teknolojik hem de endüstriyel alanda LED, süperkapasitör, güneş pilleri, sensörler, UV dedektörleri ve alan etkili transistörler gibi çeşitli elektronik aygıt uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3-8].

Hekzaganol wurtzite yapısında olan ZnO, çinko atomlarının araya sıkışması, oksijen atomunun bulunması gereken yerde çinko atomunun bulunması ya da örgüde oksijen eksikliği olarak sayılabilecek malzemenin kendinden kaynaklanan kusurları nedeniyle, n-tipi iletim özelliğine sahiptir. ZnO filmlerinin katkı elementleri ile katkılanması, fiziksel özelliklerini değiştirebilmektedir. Böylece, daha geniş bir yelpazede fiziksel özelliklere sahip olan ZnO filmlerinin uygulama alanları daha da genişlemektedir. Al, In, Cd, Sn katkılı ZnO filmleri ile ilgili çalışmalar literatürde daha eski ve oldukça fazla yer almakla beraber [9-12], La, Eu, Gd ve Er gibi nadir toprak elementleri (rare-earth elements) ile katkılama daha sonraları başlamış olmasından dolayı, bu katkı elementleri ile ilgili çalışmalar literatürde daha az bulunmaktadır [13-18].

Yüksek kalitede katkısız ve katkılı ZnO yarıiletken filmleri moleküler demet epitaksi (MBE), kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve saçırma (sputter) gibi pahalı ve vakum gerektiren metotların yanısıra [19-21], elektrodepolama, sol jel, hidrotermal, kimyasal banyo depolama (CBD) ve püskürtme metotları gibi çözeltili metotları kullanılarak da elde edilebilmektedir [22-26]. Bu metotlar arasında sol jel, vakum gerektirmemesi, kullanılan düzeneğin basitliği, ekonomik olması, kaplamanın homojen ve tekrarlanabilir olması, katkılama kolaylığı ve enerji tasarrufu sağlaması gibi birçok avantajlara sahip olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Ulaşılabilir literatürde yapılan çalışmalarda, çözeltili metotları kullanılarak Eu katkılı ZnO (ZnO:Eu) filmleri elde edilmiş ve karakterizasyonları yapılarak rapor edilmiştir. Nouri ve ark. [14], ITO alttaşlar üzerine elektrodepolama metodu ile Eu katkılı ZnO (0, %0,5, %1,5 ve %2,5) filmlerini elde etmişlerdir. Filmlerin XRD spektrumlarında gözledikleri piklerin tipik ZnO wurtzite yapıya ait olduğunu, filmlerin (002) tercihli yönelime sahip olduğunu rapor etmişlerdir. SEM görüntülerinden film yüzeylerinin hekzagonal ve konik nanosütünlardan oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Turgut ve ark. [15], p-Si alttaşlar üzerine sol jel spin kaplama metodu ile Eu katkılı ZnO (0, %1, %2, %3, %5 ve %7) filmlerini elde etmişlerdir. Çözelti hazırlarken, başlangıç tuzu, katkı kaynağı, çözücü ve sabitleyici olarak sırasıyla, çinko asetat dihidrat, evropiyum(III) klorür hekzahidrat, 2-Metoksietanol

ve monoetanolamin kullanmışlardır. XRD spektrumlarından filmlerin hekzagonal wurtzite ZnO yapıya ait olduğunu, (002) tercihli yönelime sahip olduğunu ve Eu katkısıyla artan tanecik boyutuna sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Yüzey morfolojileri atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak incelemiş ve sonuçların XRD ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Optik ölçümlerden, elde ettikleri filmlerin yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğunu, katkı miktarı ile optik bandın değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Elde ettikleri ZnO filmine ait optik bandının, %3 Eu katkı oranına kadar arttığını, daha sonra yeniden azaldığını gözlemişlerdir. Rayes ve ark. [27], cam alttaşlar üzerine sol jel spin kaplama metodu ile Eu katkılı ZnO (0, %1, %4 ve %6) filmlerini elde etmişlerdir. Çözelti hazırlama aşamasında çinko asetat dihidrat tuzunu monoetanolamin ile birlikte etanol içerisinde çözmüşlerdir. Eu katkılı ZnO elde etmek için, belirlenen oranlarda evropiyum(III) nitrat pentahidrat ilave etmişlerdir. XRD spektrum piklerinin ZnO yapıya ait olduğunu ve artan Eu katkısıyla pik şiddetlerinin ve tanecik boyutunun azaldığını rapor etmişlerdir. Elde ettikleri filmlerin yüzey morfolojilerini AFM kullanılarak incelemiş ve sonuçlarının XRD ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Optik ölçümlerden, elde ettikleri filmlerin yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğunu, katkı ile optik band aralığının değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Optik band aralığının, %3 Eu katkı oranına kadar arttığını, daha sonra yeniden azaldığını gözlemişlerdir. Hesaplanan optik band aralıklarının 30meV (3,26eV değerinden 3,29eV değerine) kadar arttığını rapor etmişlerdir.

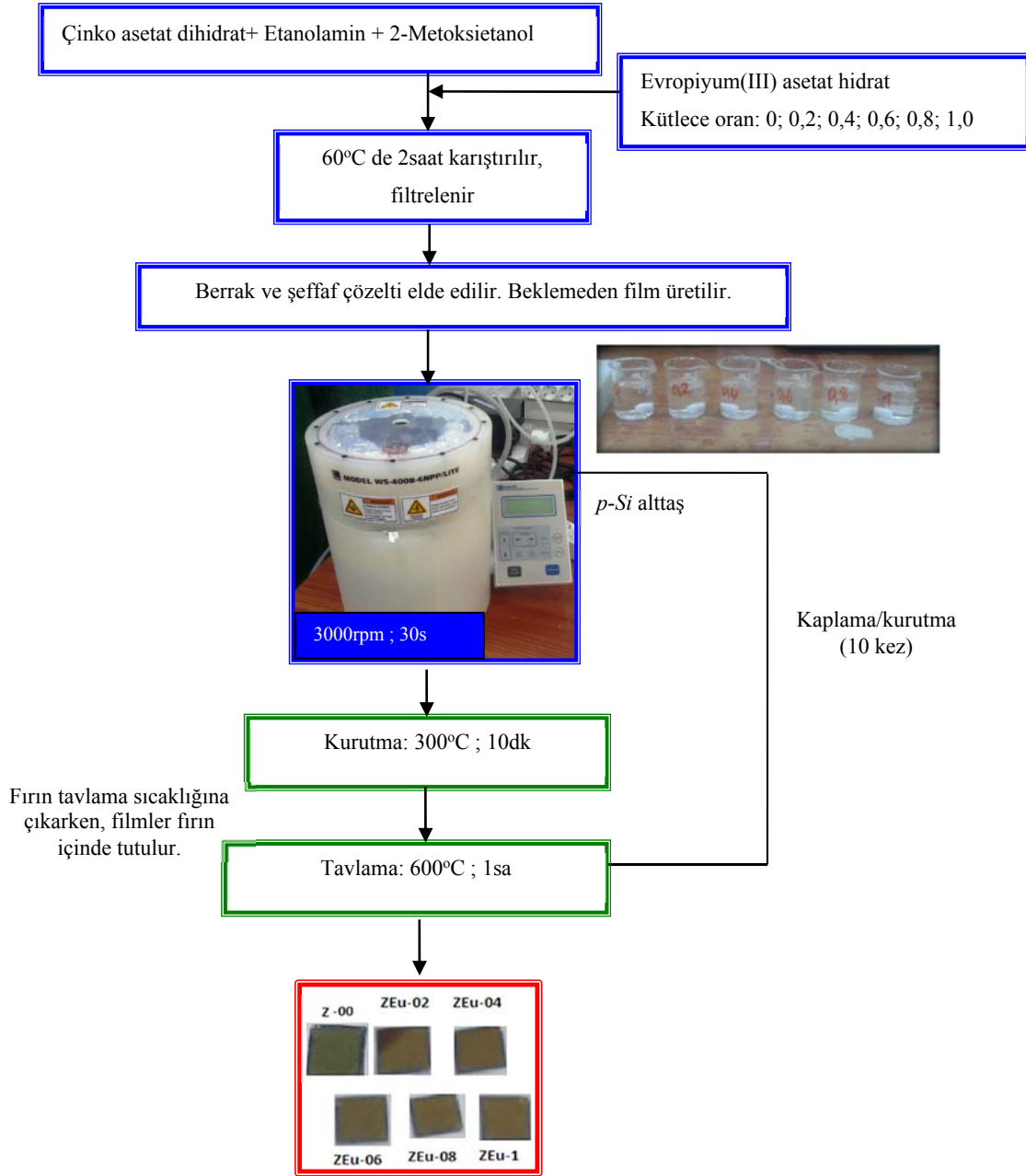
Bu çalışmada, düşük Eu katkı oranlarında (0, %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1) ZnO filmleri sol jel metodu kullanılarak spin kaplama tekniği ile p-Si alttaşlar üzerine büyütülmüştür. Eu katkı konsantrasyonunun ZnO filminin yapısal, morfolojik ve optik fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

ZnO:Eu filmleri, *p-Si* alttaşlar (0,1-10  $\Omega$ cm özdirenç değerine sahip ve (100) yönelimli) üzerine büyütülmüştür. Çözelti hazırlarken çinko kaynağı, evropiyum kaynağı, çözücü ve sabitleyici olarak sırasıyla, çinko asetat dihidrat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ; ZnAc; %99,999; Sigma-Aldrich), evropiyum (III) asetat hidrat ( $Eu(CH_3COO)_3 \cdot H_2O$ ; EuAc;  $\geq$ %99,99; Sigma-Aldrich), 2-metoksietanol ( $C_3H_8O_2$ ;  $\geq$ %99,9; Sigma-Aldrich) ve etanolamin ( $NH_2(CH_2)_2OH$ ; EA;  $\geq$ %99; Merck) kullanılmıştır. Eu katkı miktarları kütlece hesaplanmıştır. ZnO:Eu filmlerine ait üretim akış şeması ve büyütülen filmlerin fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir. Katkısız film Z-00, %0,2 Eu katkılı film ZEu-02, %0,4 Eu katkılı film ZEu-04, %0,6 Eu katkılı film ZEu-06, %0,8 Eu katkılı film ZEu-08 ve %1,0 Eu katkılı film ZEu-1 şeklinde kodlanmıştır.

Elde edilen ZnO:Eu filmlerinin karakterizasyonu için yapılan bütün ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Filmlerin X-ışını kırınım (XRD) spektrumları BRUKER D2 Phaser XRD cihazı ile monokromatik  $\lambda=1,54059\text{\AA}$  dalgaboyuna sahip  $CuK\alpha$  ışını kullanılarak, ZnO yapısının

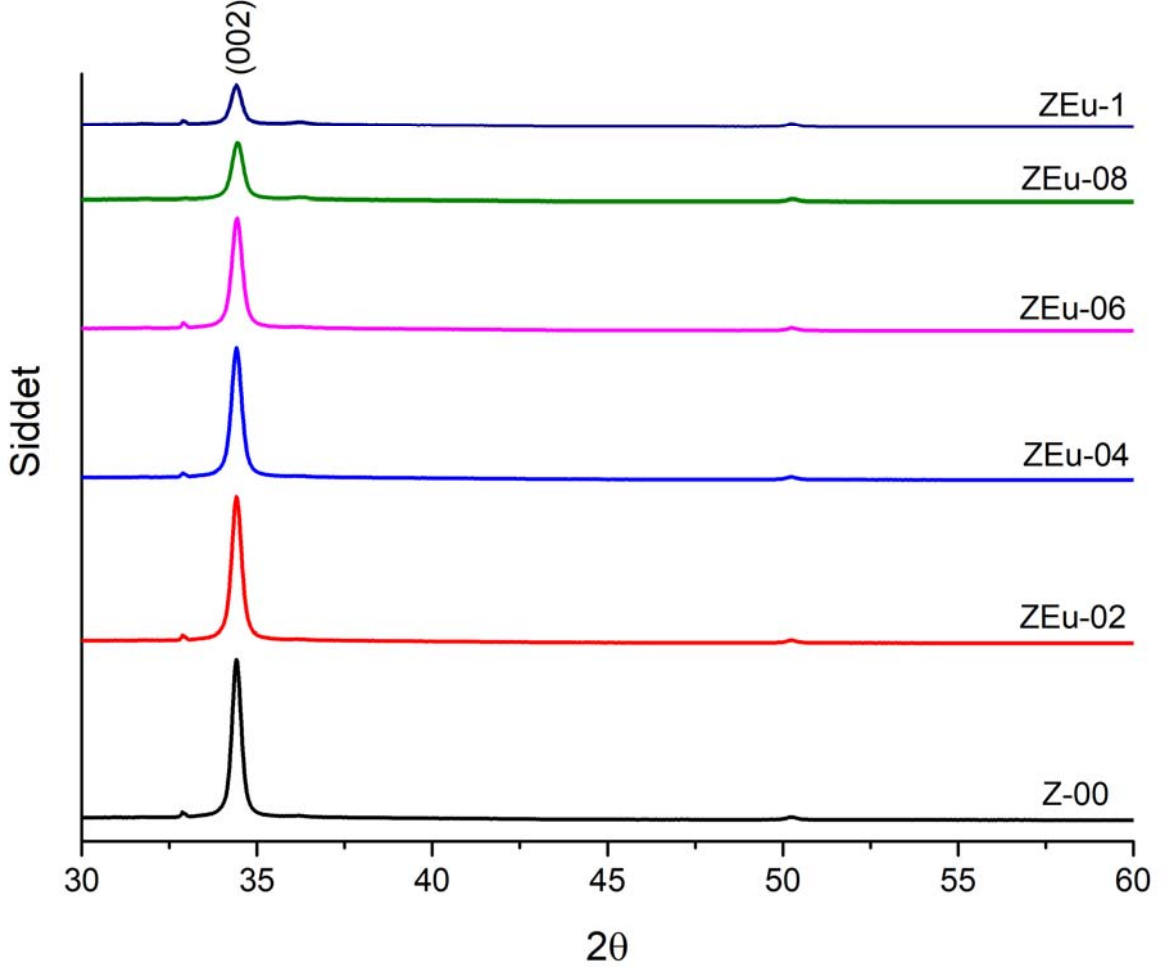
karakteristik piklerinin gözlemlendiği  $2\theta=30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  arasında alınmıştır. Yüzey üzerinden daha iyi veri alabilmek için, numune tutucu 15rpm hızla dönerken spektrumlar alınmıştır. Yüzey fotoğrafları ZEISS Ultraplus alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanılarak çekilmiştir. SEM fotoğrafları kullanılarak, ImageJ 1,46r analiz programı yardımıyla yüzey haritaları çizilmiştir. Elde edilen opak ZnO:Eu filmlerinin difüz yansıma spektrumları, entegre küre aparatlı SHIMADZU UV-2450 UV-vis spektrofotometre cihazı kullanılarak, 200-900nm dalgaboyu aralığında ve toz halde baryum sülfat ( $BaSO_4$ ) referans alınarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Spin kaplama metodu ile büyütülen ZnO:Eu filmlerinin üretim akış şeması.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yarıiletkenlerin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde X-ışınları kullanılmaktadır. Elde edilen ZnO:Eu filmlerine ait XRD spektrumları Şekil 2’de verilmiştir. Bu spektrumlar incelendiğinde, filmlerin hepsinde belirgin olarak tek pikin olduğu (002) ve bu pikin hekzagonal wurtzite ZnO yapıya (Zinkit; JCPDS kart no: 36-1451) ait olduğu, artan katkı miktarı ile de (002) kırınım piki şiddetinin azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 2. ZnO:Eu filmlerinin XRD spektrumları.

Yapının kristalleşme düzeyini gösteren yapısal parametre olan ortalama tanecik boyutu ( $D$ ) aşağıda verilen Scherrer formülü [28] kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D = \frac{0,94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada;  $\beta$  ilgili kristalin yarı-pik genişliği (FWHM),  $\theta$  Bragg açısı ve  $\lambda$  kullanılan X-ışınının dalgaboyudur ( $\text{CuK}\alpha$ ;  $\lambda=1,54059\text{\AA}$ ). ZnO:Eu filmlerine ait  $D$  değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Filmlerin tanecik boyutlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu bulunmuştur (21-25nm

aralığında). Kristal yapıdaki çizgisel kusurların (dislokasyon) miktarı için, aşağıda verilen dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) ifadesi kullanılmaktadır.

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

Tanecik boyutunun artması dolayısıyla dislokasyon yoğunluğunun azalmasıyla beraber, yarıiletken filmin kristal kalitesi artacaktır [29-31]. Buna göre, ZEu-02 filminin, diğer filmlere göre daha iyi kristallenen film olduğu söylenebilir (Tablo 1).

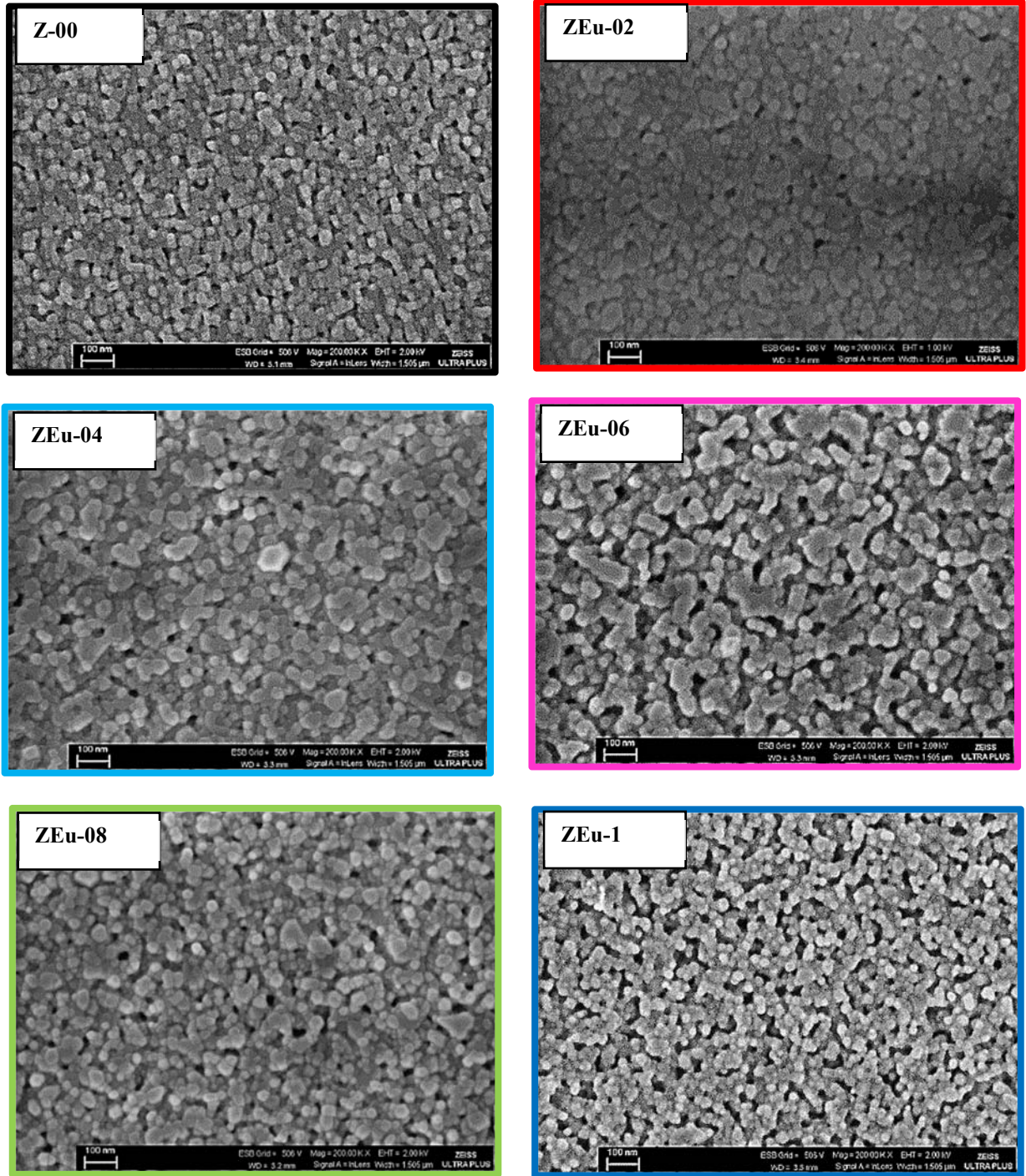
**Tablo 1.** ZnO:Eu filmlerinin belirlenen yapısal parametreleri.

<i>Film Kodu</i>	$2\theta(^{\circ})$	$d(\text{Å})$	$D(\text{nm})$	$\delta(\text{çizgi/nm}^2) \times 10^{-3}$
Z-00	34,4249	2,60311	21	2,27
ZEu-02	34,4175	2,60365	25	1,60
ZEu-04	34,4237	2,60320	24	1,74
ZEu-06	34,4415	2,60189	24	1,74
ZEu-08	34,4402	2,60199	22	2,07
ZEu-1	34,4068	2,60444	23	1,89

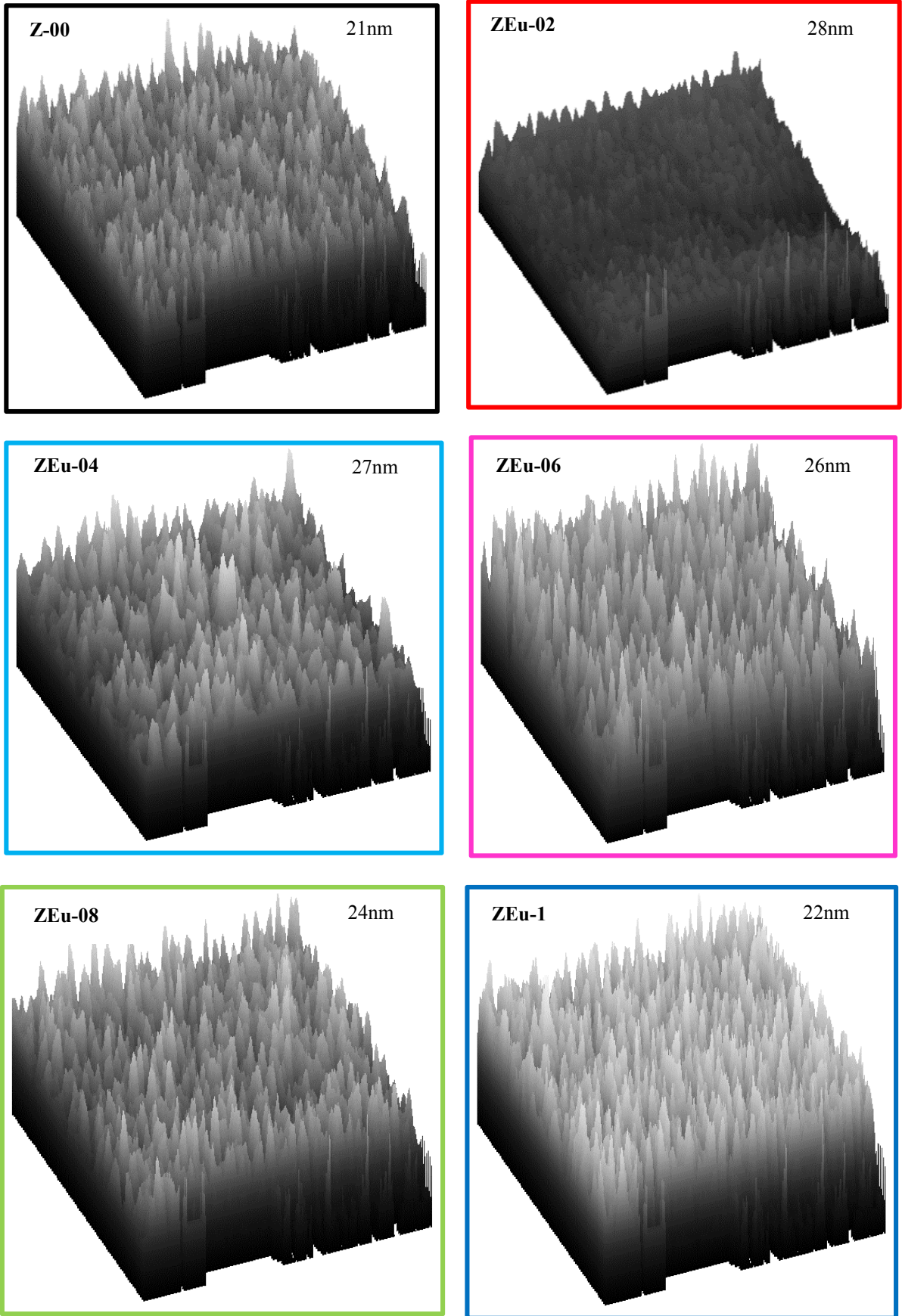
Şekil 3'te ZnO:Eu filmlerine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, film yüzeylerinin birbirine benzediği, boşluklar ya da gözeneklerin olmadığı, düzgün ve homojen yapıya sahip olduğu, nanoyapılı taneciklerden oluştuğu ve Eu katkısıyla birlikte tanecik boyutunda değişimler olduğu görülmektedir. Katkısız ZnO filminin yüzeyinde, diğer filmlere göre daha küçük taneciklerin oluştuğu gözlenmektedir. Yani, Eu katkısı az da olsa ZnO filminin tanecik boyutunu değiştirmiştir.

Elde edilen filmlerin çekilen SEM yüzey fotoğrafları kullanılarak, ImageJ analiz programı yardımıyla yüzey haritaları çizilmiş ve Şekil 4'te verilmiştir. Analiz programı kullanılarak, film yüzeylerinin ortalama tanecik boyutları ölçülmüştür (Şekil 4). Z-00 filminin en küçük ve ZEu-02 filminin en büyük ortalama tanecik boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir. Birbirine çok benzeyen nanoyapılı taneciklerden oluşan film yüzeylerinin, yüzey pürüzlülük oranlarının değiştiği görülmektedir. SEM görüntüleri ile XRD sonuçlarının uyum içerisinde olduğu söylenebilir.





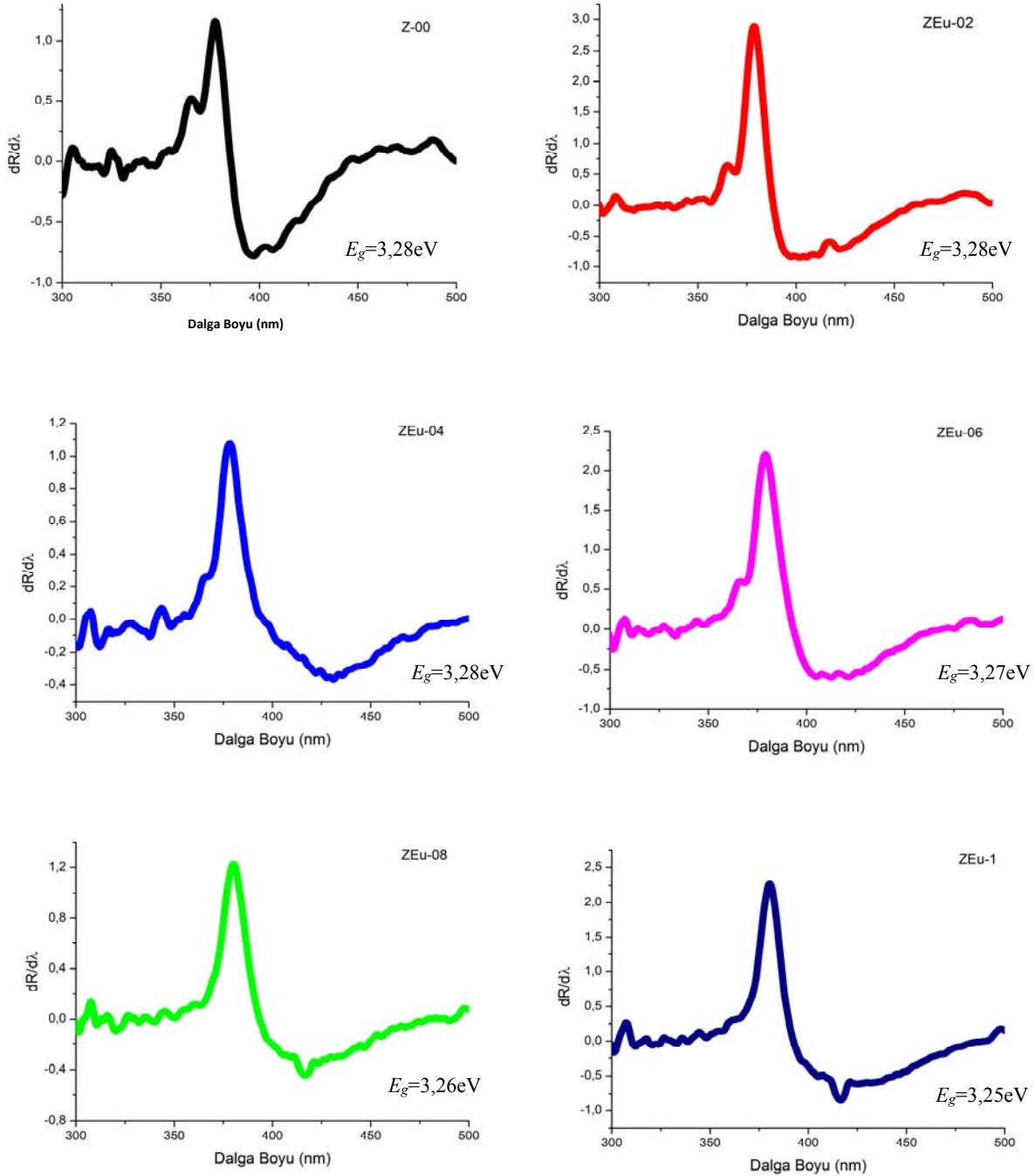
Şekil 3. ZnO:Eu filmlerinin SEM yüzey fotoğrafları (200.000 büyütme).



Şekil 4. ZnO:Eu filmlerine ait yüzey haritaları.



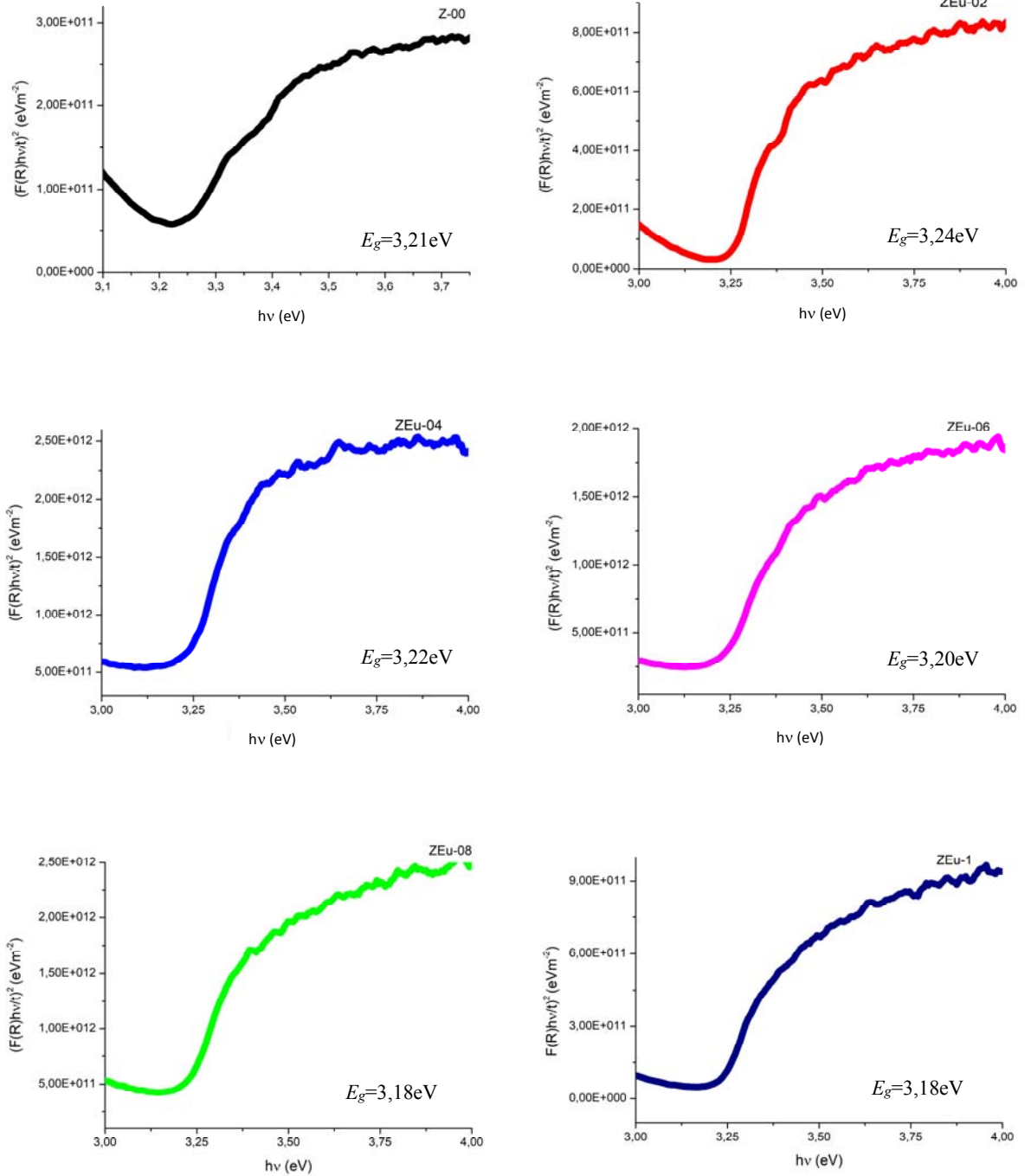
Opak filmlerin optik bant aralığını ( $E_g$ ) belirleyebilmek için en iyi metotlardan biri difüz yansımaya ( $R$ ) spektrumlarının alınmasıdır. Difüz yansımaya spektrum verileri kullanılarak “diferansiyel yansımaya” ya da “Kubelka-Munk Teorisi” yöntemleri kullanılarak opak filmlerin  $E_g$  değerleri hesaplanabilir. Diferansiyel yansımaya yönteminde, öncelikle yansımaya spektrumunun dalgaboyuna göre birinci türevi alınarak,  $\lambda$  dalga boyuna karşı  $dR/d\lambda$  eğrisi çizilir. Eğrideki maksimum noktaya karşı gelen dalgaboyu değerinden optik bant aralığı hesaplanır. Şekil 5’te bu çalışmada elde edilen ZnO:Eu filmlerine ait ( $dR/d\lambda$ )- $\lambda$  eğrileri ve hesaplanan  $E_g$  değerleri verilmiştir.



Şekil 5. ZnO:Eu filmlerine ait ( $dR/d\lambda$ )- $\lambda$  eğrileri.

Kubelka-Munk teorisini kullanarak  $E_g$  değerini belirlemek için öncelikle, yansıma spektrumundaki veriler, Kubelka-Munk fonksiyonlarını kullanarak absorpsiyon değerlerine dönüştürülür. Optik bant aralığının belirlenebilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılır [32].

$$\left(\frac{F(R)hv}{t}\right)^2 = B(hv - E_g) \quad (3)$$



Şekil 6. ZnO:Eu filmlerine ait  $(F(R)hv)/t^2 - hv$  grafikleri.

Bu eşitlikte;  $F(R)$  Kubelka-Munk fonksiyonu,  $t$  film kalınlığı,  $B$  enerjiden bağımsız bir sabittir.  $F(R)$  fonksiyonu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4)$$

ZnO:Eu filmlerinin  $E_g$  değerlerini belirlemek için çizilen  $((F(R)hv)/t)^2 - hv$  grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Bu eğriler ekstrapole edilerek, doğrusal kısımların x eksenini kestiği noktadan  $E_g$  değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntem ile hesaplanan  $E_g$  değerleri, beklendiği üzere, diferansiyel yansıma yöntemi ile hesaplananlara göre daha küçük değerlerdedir [33].

Swapna ve ark. [34] yaptıkları çalışmada, optik geçirgenlik ölçümlerinden, Eu katkısı ile ZnO filmlerinin  $E_g$  değerlerinin azalma eğiliminde olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak bu değişim çok büyük oranlarda değildir. Şimdiki çalışmada da, diferansiyel yansıma yöntemiyle 30meV değerinde ve Kubelka-Munk teorisi ile 60meV değerinde bir değişim gözlenmiştir. Katkı miktarı ile birlikte  $E_g$  değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Spektrumda kırmızıya (kızılötesi bölgeye) kayma sonucu,  $E_g$  değerinde daralma meydana gelmektedir. Bu küçük farkın nedeni, katkı ile birlikte oluşan kusurlara, taşıyıcı konsantrasyonu değişimine ve yeni taşıyıcıların oluşturduğu saçılma merkezlerinin varlığına atfedilebilir. Eu<sup>+3</sup>'ün iyonik yarıçapının (1,07Å), Zn<sup>+2</sup>'nin iyonik yarıçapından (0,74Å) büyük olması da ZnO örgüsünde kusurların oluşabileceğini göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Sol jel metodu ile hazırlanan çözeltiler kullanılarak p-Si alttaşlar üzerine ZnO:Eu filmleri spin kaplama tekniği yardımıyla başarıyla büyütülmüş; filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri sırasıyla XRD, SEM ve UV-vis spektrofotometreden alınan veriler kullanılarak araştırılmıştır. XRD spektrumlarından, Eu katkısı artarken filmin kristalliğinin bozulduğu gözlenmiştir. Bütün filmlerde sadece (002) düzleminde pikin olduğu ve ZEu-02 filminin diğer filmlere göre daha büyük tanecik boyutuna sahip olduğu gözlenmiştir. SEM fotoğraflarından, bütün filmlerin homojen ve düzgün yapıda olduğu ve nanoparçacıklardan oluştuğu görülmüştür. XRD ve SEM analizlerinin birbiriyle uyum içinde olduğu söylenebilir. Difüz yansıma spektrumlarından yararlanılarak belirlenen optik band aralıklarının çok yakın değerlerde olduğu, yöntemle bağlı olarak 30meV ve 60meV kadar bir değişim meydana geldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, düşük Eu katkı miktarının ZnO filminin fiziksel özellikleri üzerine az da olsa bir etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle ZnO filmlerinin önemli bir uygulaması olan p-n heteroeklem diyotların fabrikasyonunda, alttaş üzerine film yüzeyinin boşluksuz olarak tam kaplanması ve kaplanan film yüzeyinin pürüzlülük durumları oldukça önemli olmaktadır. Bu çalışmada büyütülen ZnO:Eu filmleri, p-Si alttaşlar üzerine boşluksuz olarak tamamen kaplanmış ve yüzey homojen düzgün yapıları nanoparçacıklardan oluşmuştur. Bu nedenle

aygıt uygulamaları için her bir filmin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bir sonraki çalışmada, büyütülen ZnO:Eu filmleri kullanılarak, p-n heteroeklem fabrikasyon ve karakterizasyonunun yapılması planmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu 1501F032 no'lu lisansüstü projesi tarafından desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- [1] Özgür Ü., Morkoç H. (2006). Optical Properties of ZnO and Related Alloys. In: Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures Processing, Properties and Applications, Jagadish C. ve Pearton S. (eds), Elsevier Science, New York, 175-239.
- [2] Morkoç H., Özgür, Ü. (2009). Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. Wiley Company, Germany, 488.
- [3] Raj C. J., Rajesh M., Manikandan R., Sim J. Y., Yu K. H., Park S. Y., Song J. H., Kim B. C. (2017). Two - Dimensional Planar Supercapacitor Based on Zinc Oxide / Manganese Oxide Core / Shell Nano - architecture. *Electrochimica Acta*. 247, 949–957.
- [4] Baltakesmez, A., Tekmen, S., Koç, P., Tuzemen, S., Meral, K., Onganer. Y. (2013). UV-visible detector and LED based n-ZnO/p-Si heterojunction formed by electrodeposition. *Aip Advances*, 3, 032125.
- [5] Sathya M., Claude A., Govindasamy P., Sudha K. (2012). Growth of pure and doped ZnO thin films for solar cell applications. *Advances in Applied Science Research*. 3 (5):2591-2598.
- [6] Ates, T., Tatar, C., Yakuphanoglu, F. (2013). Preparation of semiconductor ZnO powders by sol gel method: Humidity sensors. *Sensor. Actuat. A-Phys.*, 190, 153-160.
- [7] Liu K., Sakurai M., Aono M. (2010). ZnO-Based Ultraviolet Photodetectors. *Sensors*. 10, 8604-8634.
- [8] Caglar Y., Caglar M., Ilican S., Aksoy S., Yakuphanoglu F. (2015). Effect of channel thickness on the field effect mobility of ZnO-TFT fabricated by sol gel process. *Journal of Alloys and Compounds*. 621, 189-193.
- [9] M. Hjiri, M., Dhahri, R., Omri, K., El Mir, L., Leonardi, S. G., Donato, N., Neri, G. (2014). Effect of indium doping on ZnO based-gas sensor for CO. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27, 319–325.
- [10] Ilican, S. (2016). Improvement of the Crystallinity and Optical Parameters of ZnO Film with Aluminum Doping. *Anadolu University Journal of Science and Technology A.*, 17(1), 181-190.
- [11] Yakuphanoglu, F., Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y. (2010). Microstructure and electro-optical properties of sol-gel derived Cd-doped ZnO films. *Superlatt. Microstr.*, 47(6), 732-743.
- [12] Ajili, M., Castagné, M., Turki, N. K. (2013). Study on the doping effect of Sn-doped ZnO thin films. *Superlatt. Microstr.*, 53, 213–222.
- [13] Ilican, S. (2016). Structural, Optical and Electrical Properties of Erbium-Doped ZnO Thin Films Prepared by Spin Coating Method. *J. Nanoelectron. Optoelectron.*, 11(4), 465-471.
- [14] Nouri, A., Beniaiche, A., Soucase, B. M., Guessas, H., Azizi, A, (2017). Photoluminescence study of Eu<sup>+3</sup> doped ZnO nanocolumns prepared by electrodeposition method. *Optik*, 139, 104–110.
- [15] Turgut, G., Duman, S., Sonmez, E., Ozcelik, F.S. (2016). A study of Eu incorporated ZnO thin films: An application of Al/ZnO:Eu/p-Si heterojunction diode. *Materials Science and Engineering B*, 206, 9–16.
- [16] Chen J.T., Wang J., Zhang F., Zhang G.A., Wu Z.G., Yan P.X. (2008) The effect of La doping concentration on the properties of zinc oxide films prepared by the sol-gel method. *Journal of Crystal Growth*, 310, 2627–2632.
- [17] Ilican, S., Ilgu, G. (2016). Electrical Properties of n-ZnO:La/p-Si Heterostructure Diode. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics.*, 11(4), 401-406.

- [18] Nurul Fadzilah, A. R., Othman, R. N., Miskon, A., Sahdan, M. Z., Tawil, S. N. M. (2017). Gadolinium-doped zinc oxide thin films prepared on different substrates by sol-gel spin-coating. *AIP Conference Proceedings*, 1901, 020028.
- [19] Opel, M., Geprägs, S., Althammer, M., Brenninger, T., Gross, R. (2017). Laser molecular beam epitaxy of ZnO thin films and heterostructures. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 47, 034002.
- [20] Purica, M., Budianu, E., Rusu, E., Danila, M., Gavrilă, R. (2002). Optical and structural investigation of ZnO thin films prepared by chemical vapor deposition (CVD). *Thin Solid Films*, 403–404, 485-488.
- [21] Jazmati, A. K., Abdallah, B. (2018). Optical and Structural Study of ZnO Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering at Different Thicknesses: a Comparison with Single Crystal. *Materials Research*. 21(3), e20170821.
- [22] Arslan, A., Hur, E., Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M. (2014). Controlled growth of c-axis oriented ZnO nanorod array films by electrodeposition method and characterization. *Spectrochim. Acta A.*, 128, 716-723.
- [23] Ilican, S. (2013). Effect of Na doping on the microstructures and optical properties of ZnO nanorods. *J. Alloys Compound.*, 2013, 553, 225-232.
- [24] Ilgu, G., Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M., Ruzgar, S. (2014). The effect of sol concentration on the structural and electrical parameters of nanostructure ZnO films by sol gel dip coating. *J. Nanoelectron. Optoe.*, 9, 622-627.
- [25] Inbaraj, P. F. H., Prince, J. J. (2018). Optical and structural properties of Mg doped ZnO thin films by chemical bath deposition method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(2), 935–943.
- [26] Yakuphanoglu, F., Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y. (2007). The determination of the optical band and optical constants of non-crystalline and crystalline ZnO thin films deposited by spray pyrolysis. *J. Optoelectron. Adv. M.*, 9(7), 2180-2185.
- [27] Rayes, R. M. S., Kumar, Y., C.-Jacome, M. A., Antonio, J. A. T., Mathew, X., Mathews, N. R. (2017). Effect of Eu Doping on the Physical, Photoluminescence, and Photocatalytic Characteristics of ZnO Thin Films Grown by Sol–Gel Method. *Phys. Status Solidi A*, 214, 1700229.
- [28] Cullity, B.D., Stock, S.R., *Elements of X-ray Diffraction*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2001.
- [29] Özmen, Ö. T., Sedani, S. H., Karaman, M. Gökşen, K., Turan, R. (2019). Farklı Üretim Parametrelerinin Katı Faz Kristalizasyon (SPC) Tekniği Kullanılarak Üretilen Polikristal Silisyum İnce Filmlerin Kalitesi Üzerine Etkileri. *Politeknik Dergisi*, Baskıda.
- [30] Belahssen, O., Benramache, S., Benhaoua, B. (2015). Effect of crystallite size and precursor molarities on electrical conductivity in ZnO thin films. *27th International Conference on Microelectronics (ICM)*, 182-185.
- [31] Tahir, D., Jae, K. H. (2017). Effect of growth temperature on structural and electronic properties of ZnO thin films. *AIP Conference Proceedings*, 1801, 020007.
- [32] Murphy, A. B. (2007). Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 91, 1326–1337.
- [33] Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M. (2017). FESEM, XRD and DRS studies of electrochemically deposited boron doped ZnO films. *Materials Science-Poland*, 35(4), 824-829.
- [34] Swapna, R., Reddy, T. S., Venkateswarlu, K., Kumar, M. C. S. (2015). Effect of Post-Annealing on the Properties of Eu Doped ZnO Nano Thin Films. *Procedia Materials Science*, 10, 723–729.