

NANOYAPILI LANTAN KATKILI ZnO FİMLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Gonca İLGÜ BÜYÜK¹, Salih İLİCAN^{2*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Eskişehir, 26470, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Eskişehir, 26470, Türkiye

ÖZET

Sol jel metodu ile elde edilen çözeltiler kullanılarak, spin kaplama tekniği ile Lantan (La) katkıli çinko oksit (ZnO) filmleri p-tipi silisyum (*p-Si*) alttaşlar üzerine elde edilmiştir. Elde edilen ZnO filmlerinin morfolojik, yapısal ve optik özellikleri üzerine Lantan katkısının etkisi araştırılmıştır. Ortalama tanecik boyutu, tane sınırları ve filmlerin yüzey durumlarının araştırılması amacıyla, elde edilen filmlerin taramalı electron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilmiş ve ImageJ programı ile analiz edilmiştir. SEM görüntülerinden, filmlerin yüzeylerinin birbirine benzediği, gözeneksiz ve homojen olduğu, dairesel nanotaneciklerden oluştuğu ve La katkısı ile birlikte dairesel taneciklerin şekilsel yapısının bozulmadığı gözlenmiştir. Ortalama tanecik boyutlarının 20-31nm aralığında olduğu ve en büyük değere %0,4 La katkıli olan filmin sahip olduğu belirlenmiştir. Filmlerin X-ışınları kırınımı (XRD) spektrumları, X-ışınları toz kırınım cihazı ile alınmıştır. Bütün filmlerin heksagonal wurtzite yapıda zinksit fazda kristallendiği ve (002) tercihli yönelime sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen filmlerin ortalama tanecik boyutları Scherrer formülü ile hesaplanmıştır. %0,4 La katkıli olan filmin diğer filmlere göre daha iyi kristallendiği ve en büyük tanecik boyutunun bu filme ait olduğu belirlenmiştir. La katkıli ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları UV-vis spektrofotometre kullanılarak alınmıştır. Bu spektrumlar kullanılarak diferansiyel yansıma ve Kubelka-Munk teorisi kullanılarak iki farklı yöntemle optik bant aralık değerleri hesaplanmıştır. Her iki yöntemden de, ZnO filminin optik band değerinin La katkısıyla önce arttığı, katkı miktarı daha artınca da azalmaya başladığı belirlenmiştir. %0,4 La katkıli filmin optik band aralığının diğer filmlere göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katkıli ZnO, nanoyapı, spin kaplama, XRD, SEM, Kubelka-Munk

DEPOSITION AND CHARACTERIZATION OF NANOSTRUCTURED LANTHANUM DOPED ZnO FILMS

ABSTRACT

Lanthanum (La) doped zinc oxide (ZnO) films were deposited onto p-type silicon (*p-Si*) substrates by sol gel method using spin coating technique. The effect of Lanthanum on the structural, morphological and optical properties of ZnO films was investigated. In order to investigate the average particle size, grain boundaries and the surface of the films, scanning electron microscopy (SEM) images of the obtained films were taken and analyzed by the ImageJ program. From these images, it was observed that the surfaces of the films were similar, homogeneous and non-porous, consisted of round-shaped nanoparticles, and the circular structure of the nanoparticles did not change with increasing the La content. Average particle size was calculated to be in the range of 20-31nm and the film having the highest value was determined to be 0,4% La doped ZnO film. The X-ray diffraction (XRD) spectra of the films were taken by using X-ray powder diffractometer. All the films were crystallized in hexagonal wurtzite structure in zincite phase and (002) had preferential orientation. The average particle size of the obtained films was calculated by the Scherrer formula. It was determined that 0,4% La ZnO film was better crystallized than other films and the largest particle size belongs to this film. Diffuse reflectance spectra of La doped ZnO films were carried out using UV-vis spectrophotometer. Using these spectra, optical

* e-posta: salihailican@gmail.com

film was better crystallized than other films and the largest particle size belongs to this film. Diffuse reflectance spectra of La doped ZnO films were carried out using UV-vis spectrophotometer. Using these spectra, optical band gap values were calculated by using two different methods which are differential reflection and Kubelka-Munk theory. In both methods, it was determined that the optical band value of ZnO film first increased with the incorporation of La, and then decreased with increasing La content. It was observed that the optical band gap of the 0,4% La doped ZnO film was larger than the other films.

Keywords: Doped ZnO, nanostructure, spin coating, XRD, SEM, Kubelka-Munk

1. Giriş

Elektronik devrelerin çoğunda kullanılan çinko oksit (ZnO), geniş optik bant aralığına ($E_g=3,30\text{eV}$, oda sıcaklığında) sahip n-tipi bir yarıiletkenidir. Görünür bölgede yüksek geçirgenliğe sahip olup, eksiton bağ enerjisi ise 60meV 'dir [1]. Çevreye zarar vermeyen bir malzeme olan ZnO, aynı zamanda yüksek elektriksel iletkenliğe de sahiptir. Bu üstün özellikler nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle güneş pili [2], nem sensörlü [3], gas sensörü [4], fotodiyot [5] ve transistör [6] uygulamalarında sıkça kullanılmakta olan oldukça popüler bir malzemedir.

ZnO filmleri hangi alanda kullanılacaksa, ona göre depolama metodu ve buna bağlı deney şartları belirlenerek çok çeşitli metotlar kullanılarak elde edilebilir. Ucuz ve kolay olmaları, vakum sistemleri gerektirmemeleri nedeniyle elektrokimyasal kaplama [7, 8], püskürterek kaplama [9, 10] ve sol jel [11-13] gibi çözelti başlangıçlı metotlar oldukça fazla kullanılmaktadır. ZnO filmlerinin optik, morfolojik ve elektriksel özellikleri gibi birçok fiziksel özellikleri, deneysel şartlarla değiştirilebilir. Örneğin sol jel metodunda, çözelti molaritesi, çözelti karıştırma sıcaklığı, çözücü türü gibi çözelti hazırlama parametreleri ile döndürme hızı ve süresi, kurutma ve tavlama sıcaklık ve süreleri gibi film depolama parametrelerinin değiştirilmesi, elde edilen filmlerin fiziksel özelliklerini etkiler. Bunun yanında yapılacak katkı işlemleri de, ZnO filmlerinin fiziksel özelliklerini değiştirebilir. ZnO filmlerinin çok geniş kullanım alanının olması ve sol jel metodunun içerdiği çok sayıda değişkenin varlığı, bu çalışmaların uzun yıllar daha süreceğini göstermektedir.

Ulaşılabilir literatürde sol jel yöntemi kullanılarak elde edilen Lantan (La) katkılı ZnO filmleri ile ilgili yapılan çalışmalar [14-17], İndiyum (In) ve Alüminyum (Al) gibi elementlerle katkılı ZnO filmlerine göre çok daha azdır. Bu çalışmalarda sol jel metodu ile hazırlanan çözeltiler, spin kaplama ya da dip kaplama teknikleri ile alttaşlar üzerine kaplanmış ve filmler elde edilmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada literatürden farklı olarak, La katkı oranı %1 ve daha az oranlarda alınarak, küçük katkı oranlarının ZnO filminin fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 1. Ulaşılabilir literatürde sol jel metodu ile elde edilen La katkılı ZnO film çalışmaları.

Teknik	Alttaş	La katkı oranı (%)	La katkı tuzu	Referans
Spin kaplama	Si	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0	$\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Bu çalışma
Spin kaplama	Si	0; 1; 3; 5; 10	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	[14]
Dip kaplama	Cam	0; 1; 3; 5; 10	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	[15]
Spin kaplama	Cam	0; 1; 2; 3; 4	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	[16]
Dip kaplama	Si	0; 1	$\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	[17]

2. Materyal ve Metod

Elde edilecek filmin homojen olması ve fiziksel özelliklerinin iyi olması için alttaşların temiz olması şarttır. Dolayısıyla, film üretiminde en önemli adımlardan biri kullanılacak alttaşın temizliğidir. Bu çalışmada, (100) yönelimli ve 0,1-10 Ωcm öz direnç değerine sahip p-tipi silisyum (*p-Si*) alttaşlar elmas kesici yardımıyla $\sim 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ boyutlarında kesilerek temizlenmiştir. İlk önce, alttaşlar üzerindeki tozların temizlenmesi için deiyonize (DI) suya daldırılmış ve ultrasonik banyoda 10 dakika bekletilmiştir. DI sudan çıkarılan alttaşlar, asetona daldırılmış ve ultrasonik banyoda 10 dakika daha bekletildikten sonra, azot gazı ile kurutulmuştur. Son olarak, Harrick marka plasma cleaner kullanılarak argon gazı ortamında alttaşların temizliği tamamlanmıştır. Temizlenen alttaşlar üzerine film üretimi hiç beklemeden hemen yapılmıştır.

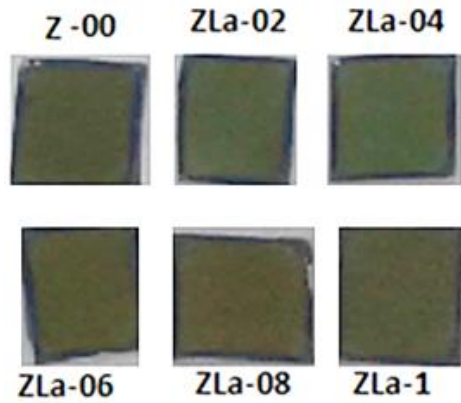
Çözelti hazırlarken çinko kaynağı olarak, çinko asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ZnAc; %99,999; Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. 5 ml'lik balon joje içine 0,35M'lık çözelti için 0,3841g ZnAc tuzu konulmuştur ve üzerine sabitleyici olarak 105 μl etanolamin ($\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{OH}$; EA; $\geq\%99$; Merck) eklenmiştir. Daha sonra 5ml'ye tamamlanacak şekilde 2-metoksietanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$; $\geq\%99,9$; Sigma-Aldrich) eklenmiştir. La katkı kaynağı olarak, lantan(III) asetat hidrat ($\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$; LaAc; $\geq\%99,99$; Sigma-Aldrich) tuzu kullanılmış ve katkı miktarları kütlece hesaplanmıştır. Belirlenen oranlarda hazırlanan çözelti içine katkı tuzları eklenmiştir (Çizelge 2). Hazırlanan her bir çözelti 60°C'de 2 saat karıştırılıp, süzgeç kağıdı kullanılarak filtrelenmiş ve hiç bekletilmeden hemen film üretimine geçilmiştir.

Çizelge 2. Elde edilen filmlere ait film kodları ve çözeltilerin kütlece katkı miktarları.

Film	Film Kodu	ZnAc/LaAc ($m_{\text{Zn}}/m_{\text{La}}$);	Kütlece Katkı Miktarı (mg)
Katkısız ZnO	Z-00	100 / 0	0
%0,2 La katkılı ZnO	ZLa-02	99,8 / 0,2	0,649338
%0,4 La katkılı ZnO	ZLa-04	99,6 / 0,4	1,298676
%0,6 La katkılı ZnO	ZLa-06	99,4 / 0,6	1,944401
%0,8 La katkılı ZnO	ZLa-08	99,2 / 0,8	2,592535
%1 La katkılı ZnO	ZLa-1	99 / 1	3,240669

p-Si alttaşlar spin kaplama cihazındaki (LAURELL marka WS-400B-6NPP/LITE model) numune tutucusunun üzerine yerleştirilmiş ve hazırlanan çözelti mikropipet yardımıyla damlatılmıştır. Çözelti damlatılan alttaşlar, 3000rpm döndürme hızında 30s döndürülmüş ve ıslak film elde edilmiştir. Daha sonra 300°C'de 10dk kül fırında kurutulmuştur. Bu kaplama/kurutma süreci on kez tekrarlanmıştır. Son olarak, iyi bir kristallenme sağlamak amacıyla, filmler kurutma sıcaklığından daha büyük sıcaklıkta tavlansmıştır. Bunun için kurutma sonrası fırın içindeki filmler çıkarılmadan, sıcaklık 300°C'den 600°C'ye çıkıncaya kadar 20dk fırın içinde tutulmuş, böylece film yüzeyinde oluşabilecek olası çatlaklar engellenmeye çalışılmıştır. Son olarak sıcaklığı 600°C olan fırında filmler 60dk hava ortamında tavlansmış, fırın soğumaya bırakılmış ve sıcaklığı oda sıcaklığına düştüğünde filmler fırından çıkarılmıştır. Deneysel sonunda elde edilen bütün filmlere ait fotoğraflar Şekil 1'de verilmiştir.

Elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin yüzey morfolojileri ZEISS Ultraplus alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopu (FE-SEM) kullanılarak çalışılmıştır. Film yüzeylerinin zarar görmemesi için SEM görüntüleri 1,00 veya 2,00 kV gerilim altında alınmıştır. Filmlerin X-ışını kırınım (XRD) spektrumları BRUKER D2 Phaser XRD cihazı kullanılarak $2\theta=30^\circ-60^\circ$ arasında 0,02° adımlarla, 15rpm numune tutucu dönme hızında alınmıştır. XRD ölçümleri monokromatik $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,54059\text{\AA}$) ışını ile gerçekleştirilmiştir. Saydam olmayan filmlerin optik bant genişliğini belirlemek için en iyi metotlardan biri diffüz yansıma spektrumlarının belirlenmesidir.

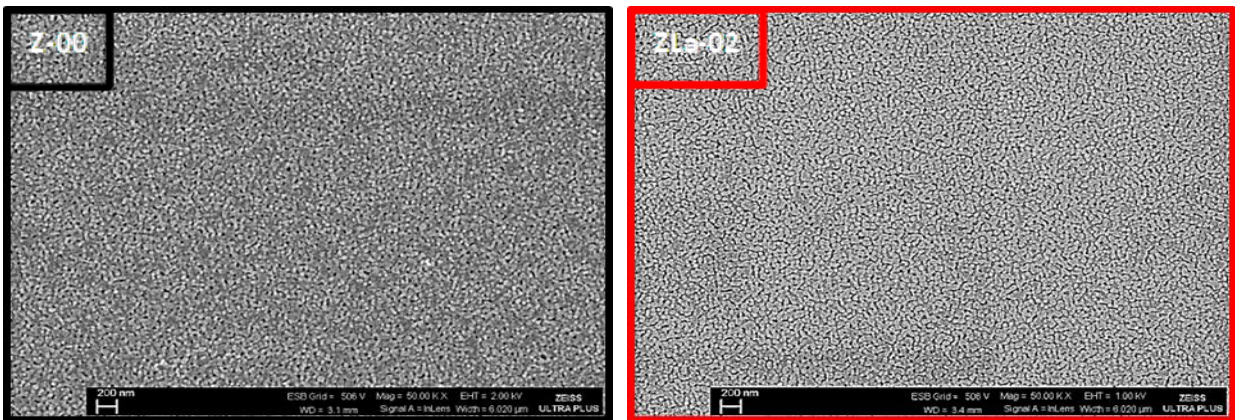


Şekil 1. Elde edilen filmlerin fotoğrafları

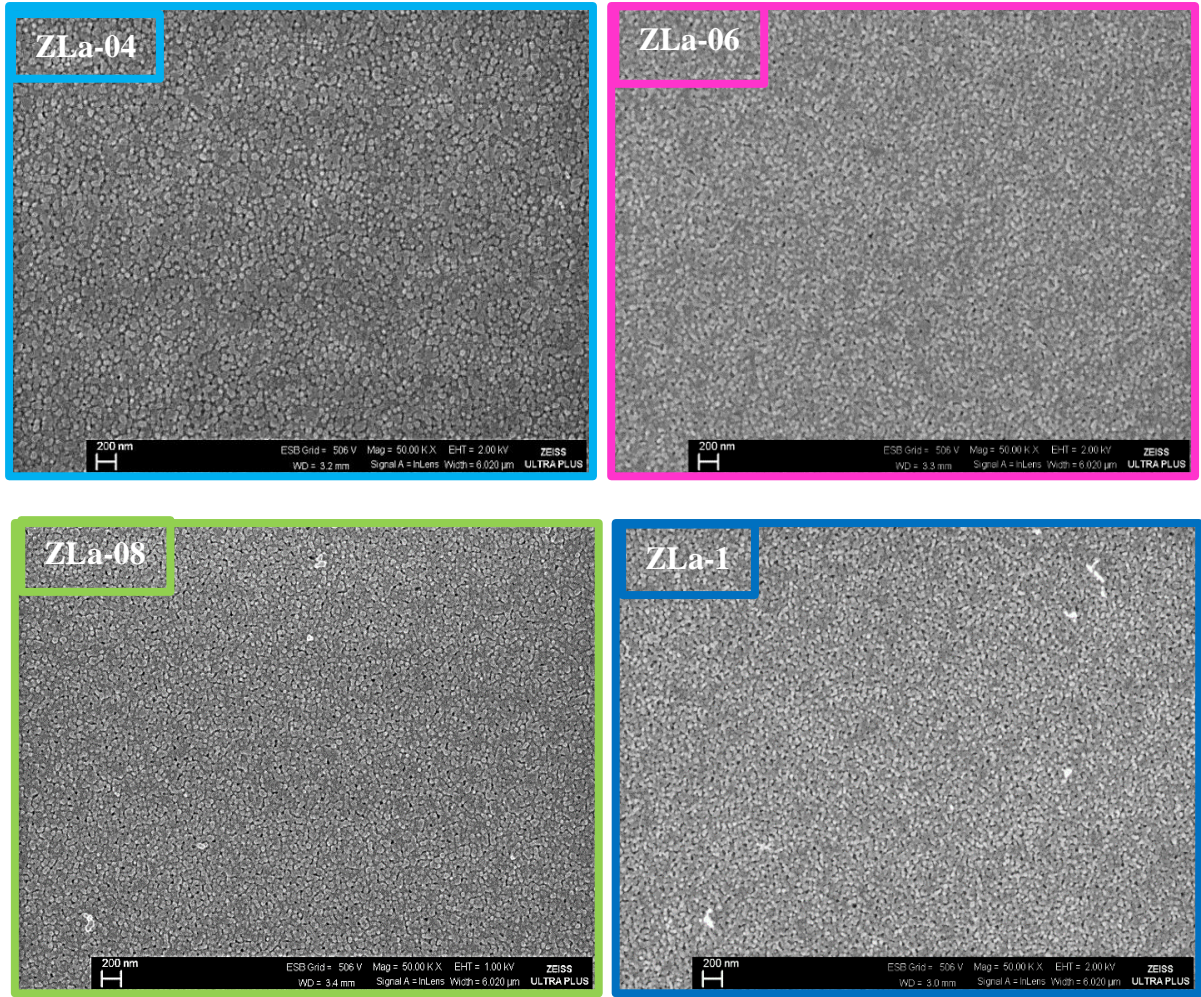
Elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları entegre küre ataçmanlı SHIMADZU UV-2450 UV-vis spektrofotometre cihazı kullanılarak 200-900nm dalgaboyu aralığında, 0,5nm hassasiyet ile ölçülmüştür. Yansıma ölçümlerinde referans olarak, toz halde baryum sülfat (BaSO_4) kullanılmıştır. Bütün ölçümler, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

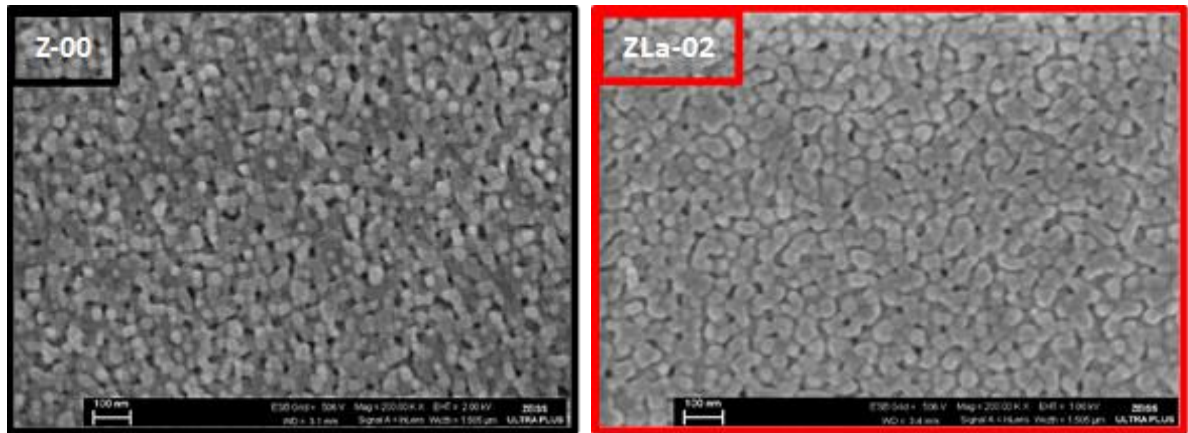
Şekil 2 ve 3'te katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait sırasıyla 50.000 ve 200.000 büyütme oranındaki SEM görüntüleri verilmiştir. Elde edilen filmlerin düşük büyütmedeki SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 2), film yüzeylerinin çatlak ve gözenekler olmadan düzgün ve pürüzsüz olarak sürekli bir yapıda oluştuğu görülmektedir. Yüksek büyütmedeki SEM görüntülerinden (Şekil 3) ise, bütün elde edilen filmlerin yüzeylerinin nanoyapılı dairesel taneciklerden oluştuğu belirgin olarak görülmektedir. Diğer bir deyişle, La katkısı ile ZnO filminin yüzeyini oluşturan nanotaneçiklerin şekilsel olarak yapısının değişmediği, yani bütün film yüzeylerinin dairesel yapıdaki taneciklerden oluştuğu gözlenmiştir.



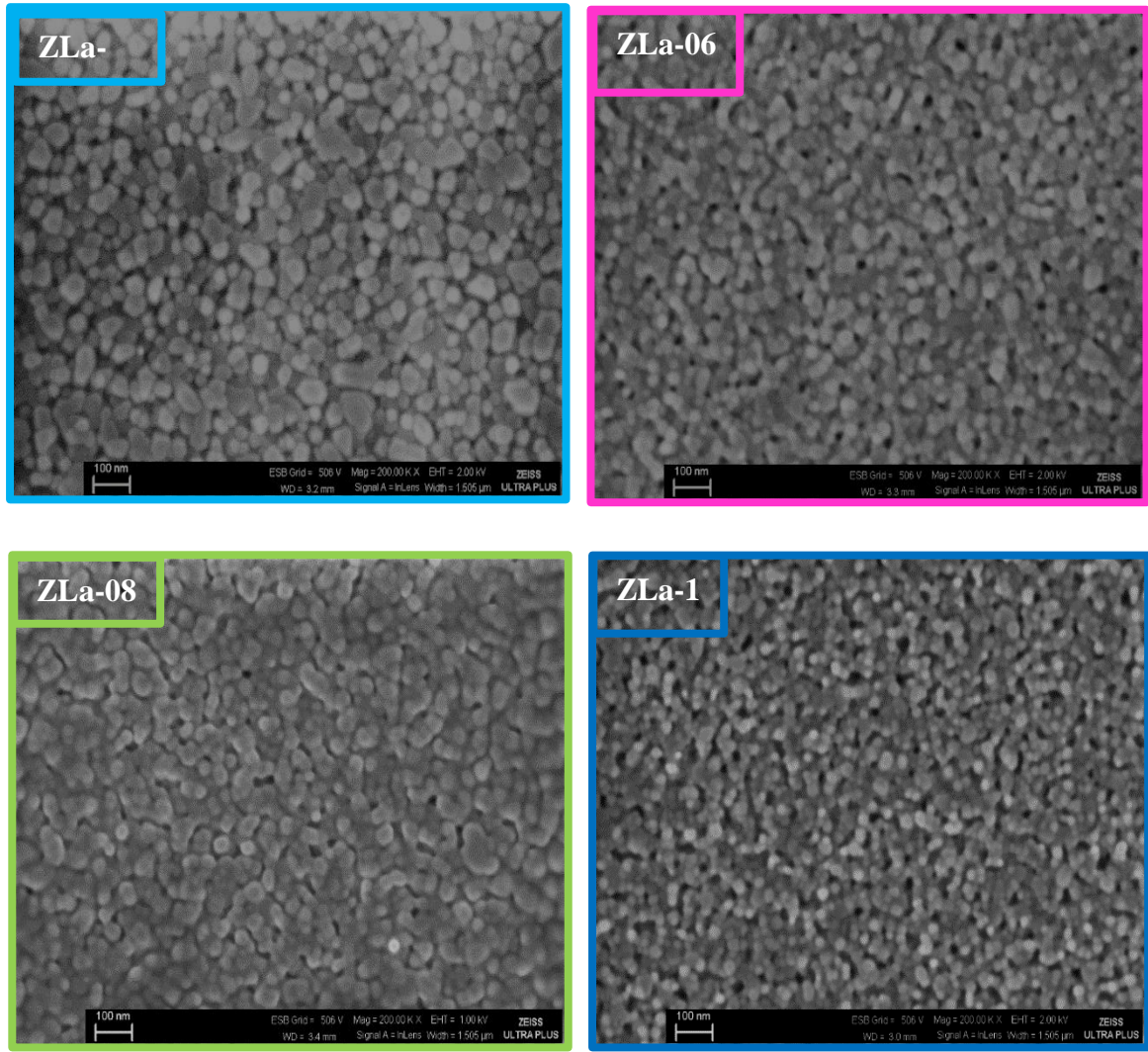
Şekil 2. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait 50.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



Şekil 2.(devamı) Katkısız ve farklı oranlarda La katkı ZnO filmlerine ait 50.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



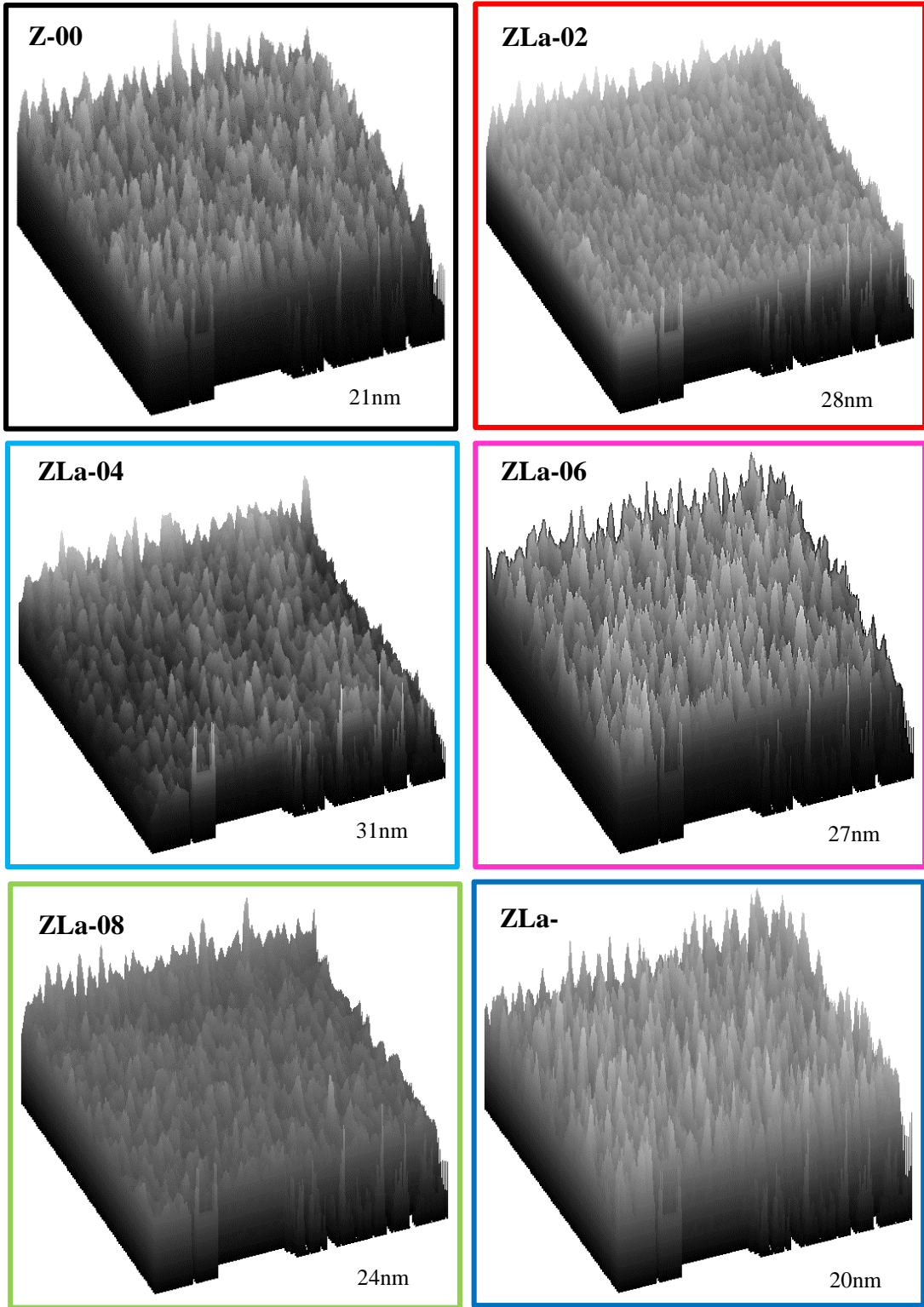
Şekil 3. Katkısız ve farklı oranlarda La katkı ZnO filmlerine ait 200.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



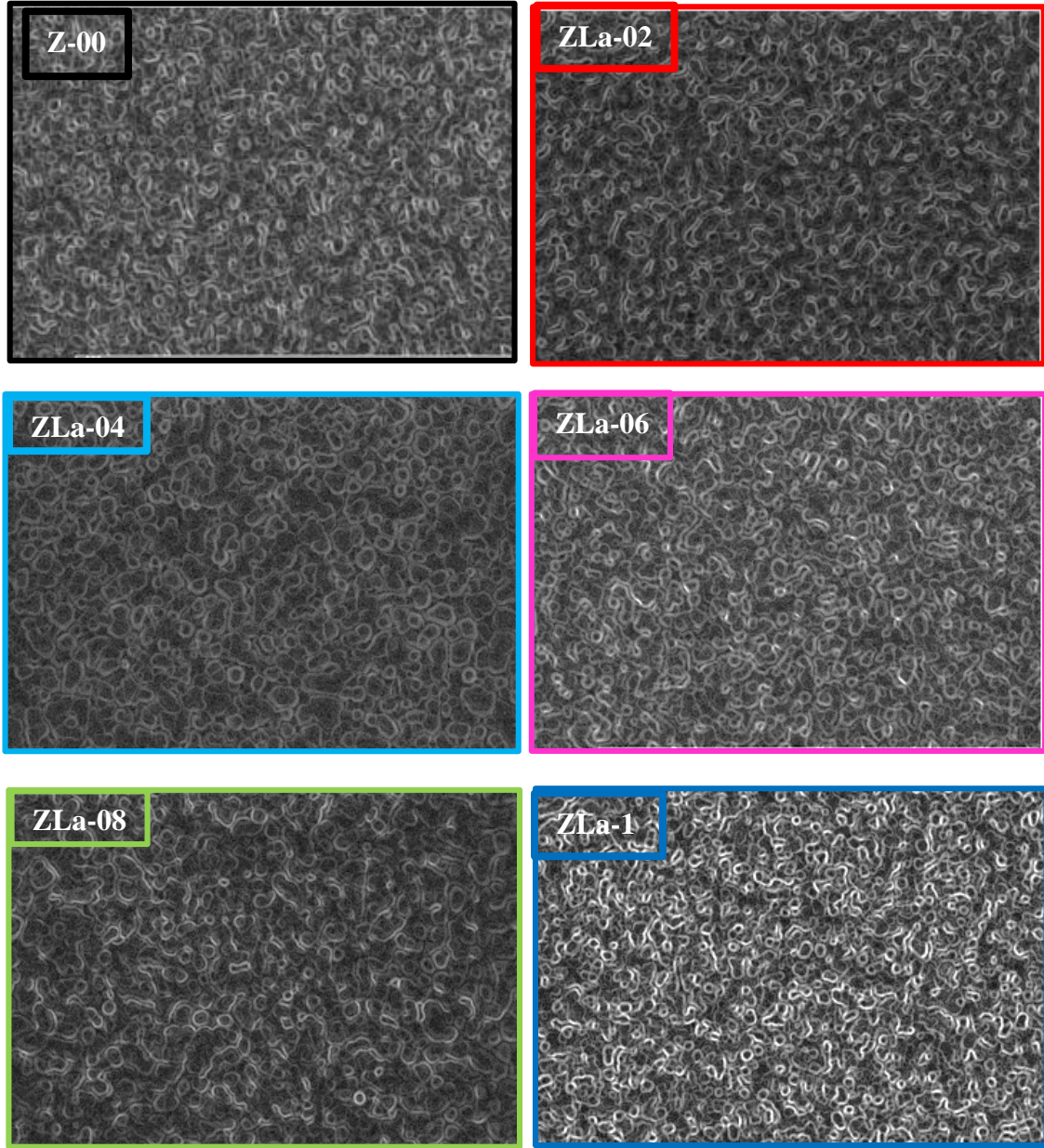
Şekil 3.(devamı) Katkısız ve farklı oranlarda La katkı ZnO filmlerine ait 200.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri

Elde edilen SEM görüntüleri kullanılarak ortalama tanecik boyutları ölçülmüştür. ImageJ programı kullanılarak ölçülen tanecik boyutları Şekil 4’te verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, en büyük ve en küçük ortalama tanecik boyutuna sahip olan filmlerin sırasıyla ZLa-04 ve ZLa-1 olduğu görülmektedir. Elde edilen filmlere ait yüzey haritaları Şekil 4’te verilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde, yüzey pürüzlülük oranlarının değiştiği görülmektedir.

Şekil 5’te elde edilen ZnO filmlerine ait tane sınırları görüntüleri verilmiştir. Tane sınırları incelendiğinde, en büyük taneciklerin ZLa-04 filmine aitken, en küçük taneciklerin ZLa-1 filmine ait olduğu görülmüştür. Elde edilen filmlerin yüzeyinin boşluklar olmadan homojen bir şekilde oluştuğu da görülmektedir.



Şekil 4. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait yüzey haritası (200.000 büyütme oranında alınan SEM görüntüleri kullanılmıştır).



Şekil 5. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait tane sınırları (200.000 büyütme oranında alınan SEM görüntüleri kullanılmıştır).

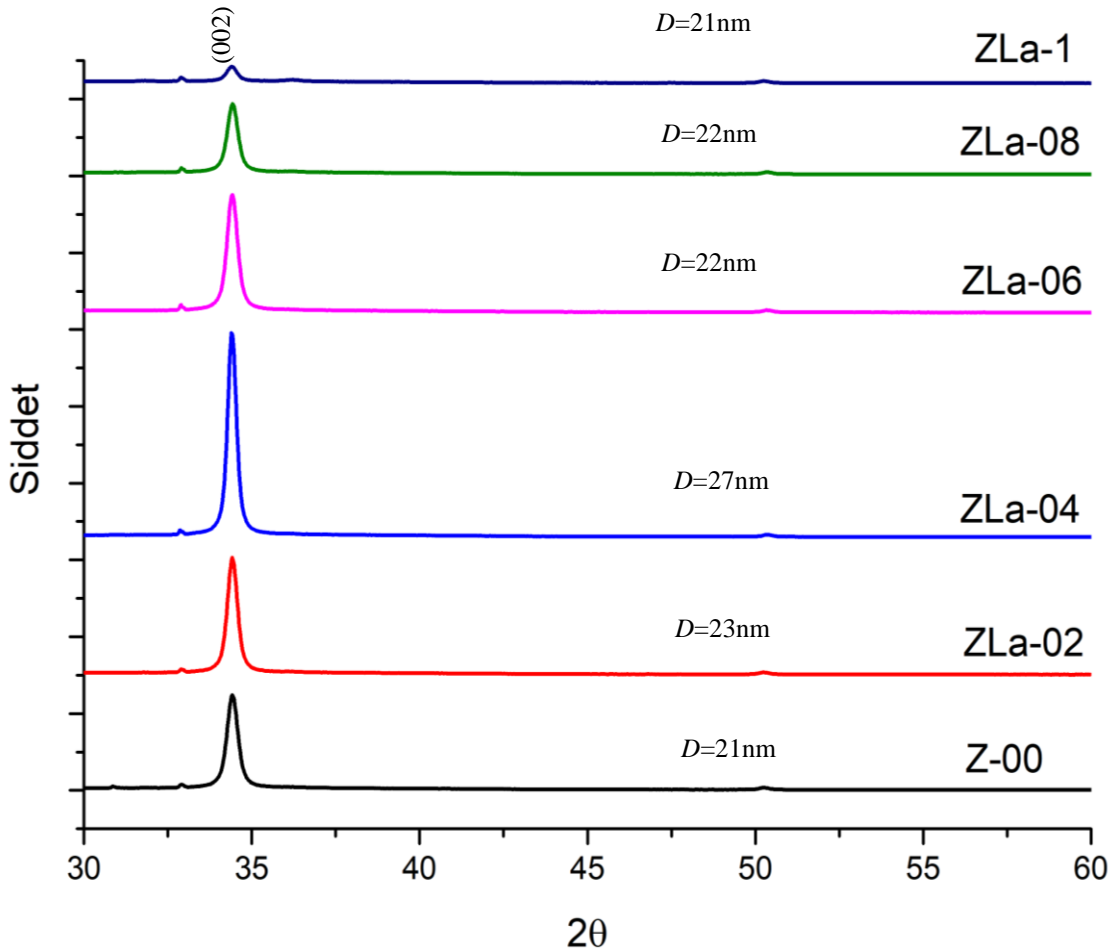
Şekil 5’te elde edilen ZnO filmlerine ait tane sınırları görüntüleri verilmiştir. Tane sınırları incelendiğinde, en büyük taneciklerin ZLa-04 filmine aitken, en küçük taneciklerin ZLa-1 filmine ait olduğu görülmüştür. Elde edilen filmlerin yüzeyinin boşluklar olmadan homojen bir şekilde oluştuğu da görülmektedir.

Elde edilen nanoyapılı filmlerin XRD spektrumları Şekil 6’da verilmiştir. XRD pikleri, hekzagonal yapıda zinksit (JCPDS card no:036-1451) faza aittir. La katkısına ait herhangi bir pik gözlenmemiştir. (002) pikinin yanında diğer pik şiddetlerinin ihmal edilebilir olması nedeniyle, tüm

filmlerin tercihli yöneliminin (002) düzleminde olduğu söylenebilir. Katkı ile birlikte pik pozisyonlarında belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ortalama tanecik boyutları (D) aşağıda verilen Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır [18].

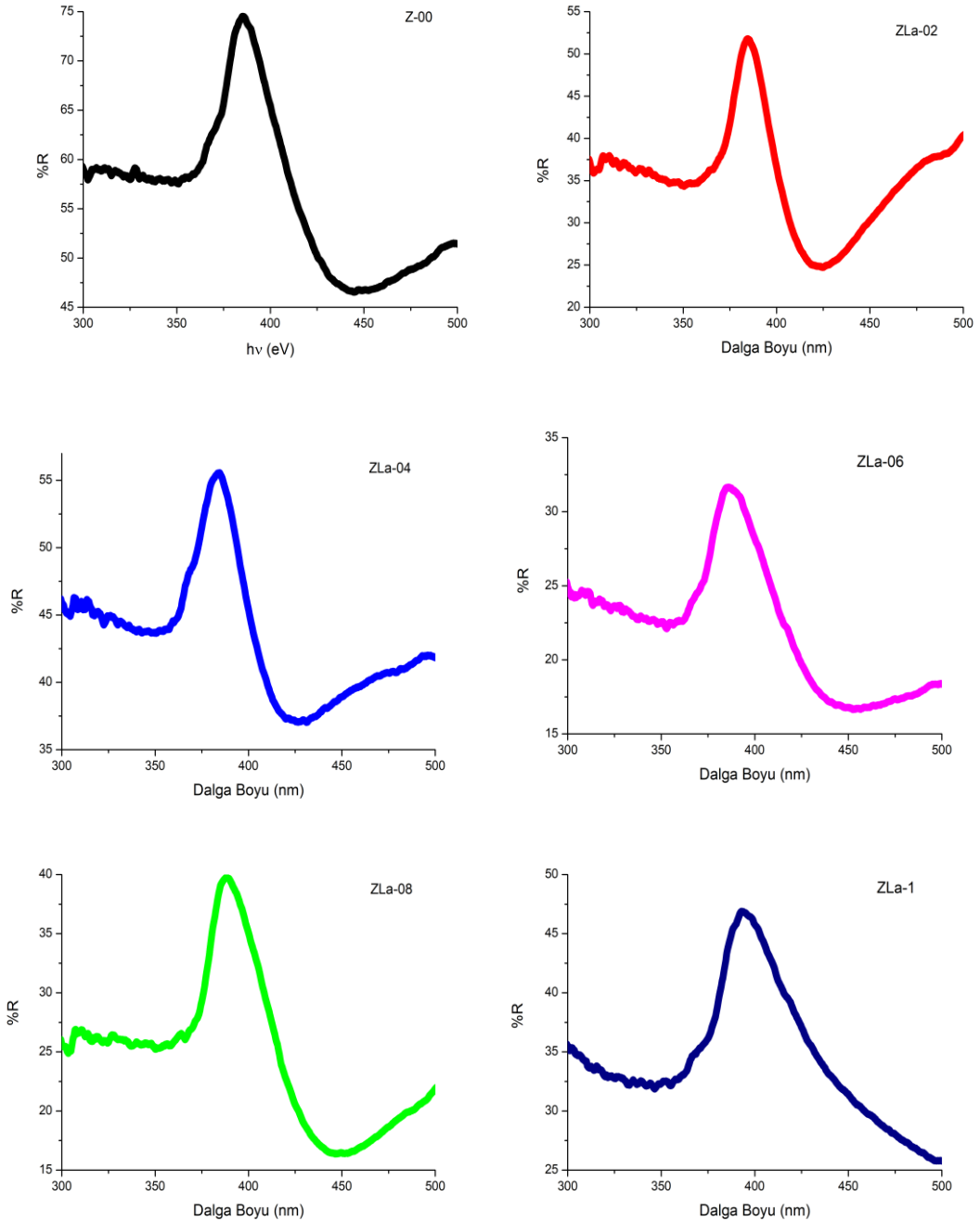
$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada, $\lambda=1,54059\text{\AA}$ değerinde olup kullanılan $\text{CuK}\alpha$ ışınının dalgaboyu, β yarıpik genişliği ve θ kırınım açısıdır. Elde edilen filmlere ait hesaplanan D değerleri Şekil 6'da verilmiştir. En büyük tanecik boyutlu film, ZLa-04 filmidir. Katkı konsantrasyonun daha fazla artışı ile birlikte yapıda bozulmalar olmuş ve tanecik boyutu da küçülmeye başlamıştır. XRD desenleri kullanılarak hesaplanan ortalama tanecik boyutları ile SEM görüntülerinden gözlemlenen tanecik boyutları birbirleriyle uyum içindedir. Artan katkı ile tane boyutları önceleri büyürken, katkı miktarının artmasıyla kristal yapıda bozulmalar olmaya başlamıştır. Benzer durum pik şiddetleri için de geçerlidir. Küçük katkı miktarlarında pik şiddeti artarken, katkının daha da artmasıyla birlikte pik şiddeti azalmaya başlamıştır. Bu durum, La^{+3} ($r_i=1,06\text{\AA}$) ve Zn^{+2} ($r_i=0,74\text{\AA}$) arasındaki iyonik yarıçap farkından kaynaklanmış olabilir. En yüksek pik şiddeti ise yine ZLa-04 filmine aittir. Bu sonuçlar önceden rapor edilen çalışmalar ile uyum içindedir [14, 19].



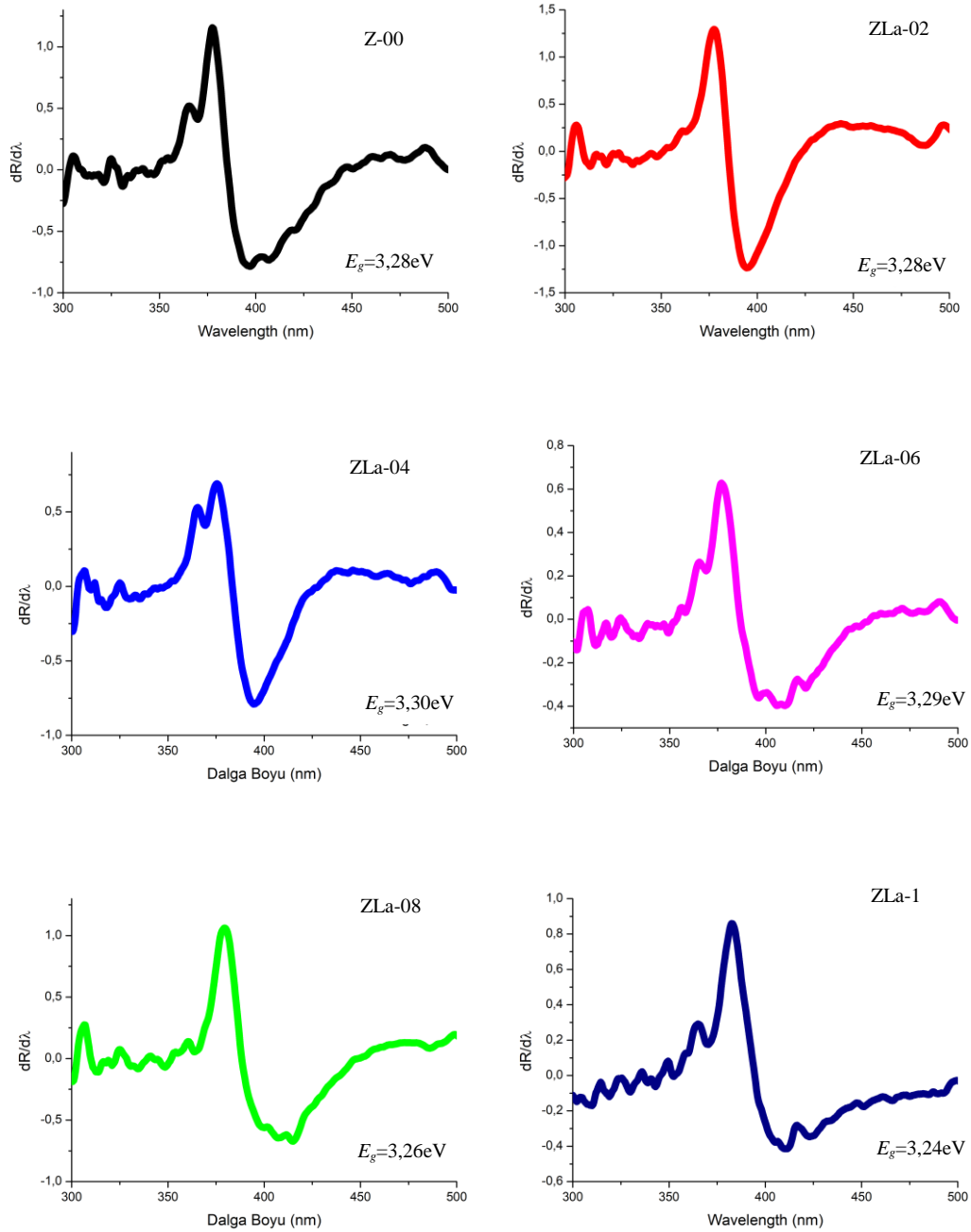
Şekil 6. Katkisız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait XRD spektrumları.

Katkısız ve farklı oranlarda La katkısı ile elde edilen ZnO filmlerin optik band aralık (E_g) değerlerini belirleyebilmek için, diffüz yansıma spektrumlarından yararlanılmıştır. Elde edilen tüm filmlerin diffüz yansıma spektrumları Şekil 7’de verilmiştir. Bu spektrumlar incelendiğinde, 375-450nm dalga boylarında bir pik göze çarpmaktadır. Pikin pozisyonu La katkısı ile değişmektedir. Bu da filmlerin optik bant aralıklarının La katkı miktarı ile değiştiğini göstermektedir.



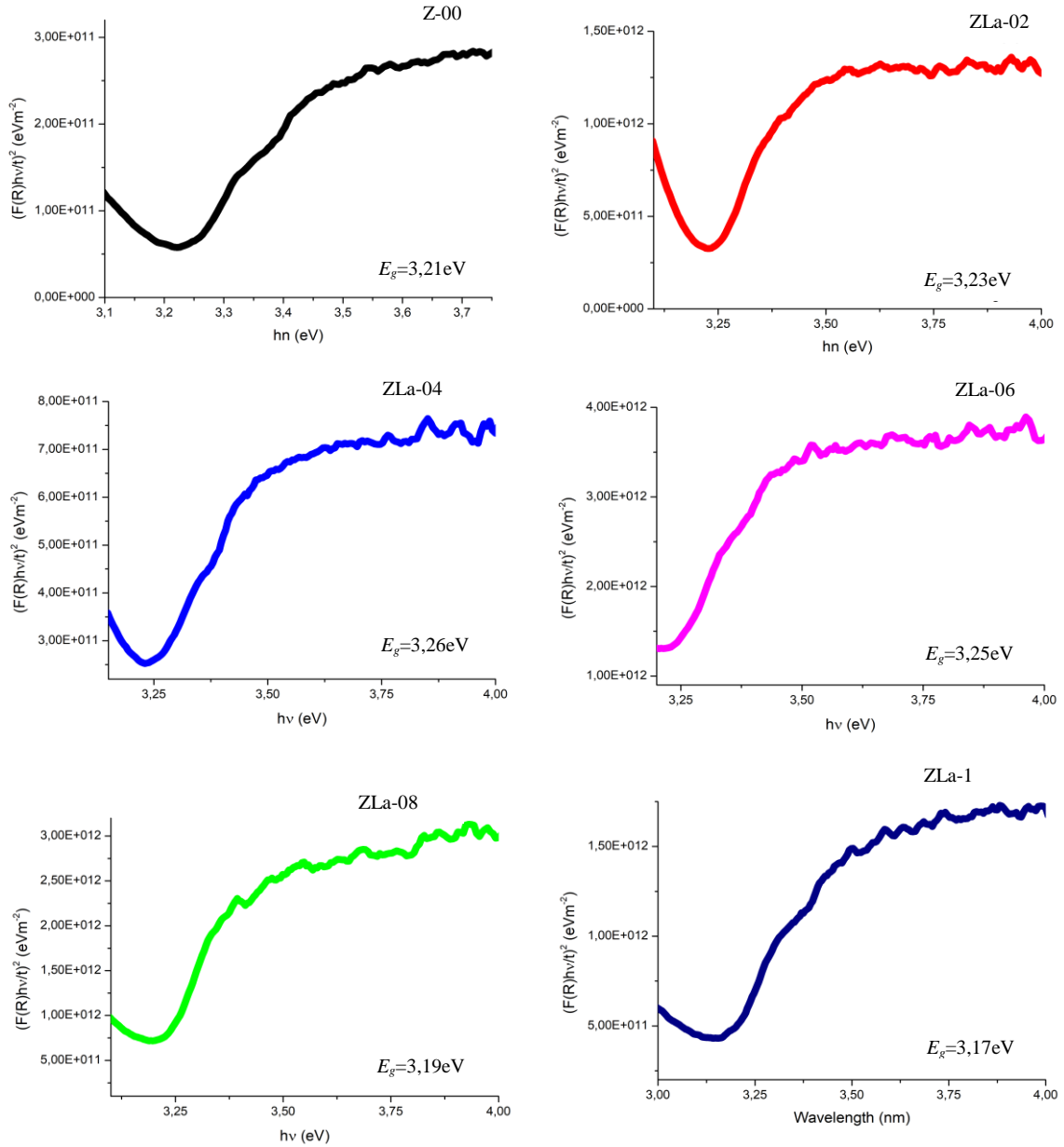
Şekil 7. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları.

Elde edilen opak filmlerin E_g değerini hesaplamak için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde, diffüz yansımada spektrumunun dalga boyuna karşı birinci türevi ($dR/d\lambda$) alınmıştır. Elde edilen bu türev değerleri ile dalga boyuna karşılık bir grafik çizilmiştir (Şekil 8). Çizilen grafikteki maksimum noktaya karşılık gelen dalga boyu değeri kullanılarak da E_g değeri hesaplanmıştır. Bu maksimum nokta, o filmin absorpsiyon kenarına karşılık gelmektedir. Hesaplanan E_g değerleri çizilen grafikler içinde verilmiştir.



Şekil 8. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin dalgaboyuna karşı çizilen $dR/d\lambda$ grafikleri.

İkinci yöntemde ise yansıma değerleri Kubelka-Munk fonksiyonu [20] yardımıyla absorpsiyon değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen bu değerler kullanılarak, nanoyapılı ZnO filmlerine ait E_g değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen filmlerin Kubelka-Munk grafikleri ve hesaplanan E_g değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Her iki yöntemde de en yüksek E_g değeri ZLa-04 filmine, en küçük E_g değeri ise ZLa-1 filmine aittir. En küçük E_g değeri, en yüksek La katkısı yapılan ZnO filminde elde edilmiştir. Bu durum, katkı atomlarının yasak enerji aralığı içine yerleşerek, bant kuyuklarının oluşmasına sebep olmasına atfedilebilir. Elde edilen E_g değerleri literatür ile uyum içerisinde [21].



Şekil 9. Katkisız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin Kubelka-Munk grafikleri.

Spin kaplama tekniği ile elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin fiziksel özellikleri SEM, XRD ve UV-vis spektrofotometresi kullanılarak araştırılmıştır. Kütlece %1 ve daha az katkı oranı ile elde edilen filmlerden ZLa-04 filminin diğer filmlere göre, daha iyi kristallendiği ve en büyük tanecikli yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. XRD ve SEM analizleri sonucunda, en büyük ortalama tanecik boyutuna sahip olan filmin ZLa-04 filmi olduğu belirlenmiştir. Yansıma spektrumlarından yararlanılarak hesaplanan optik band aralıklarınının hemen hemen birbiriyle aynı olmakla beraber, yine ZLa-04 filminin diğer filmlere göre en geniş band aralığına sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, özellikle *p-n* heteroeklem uygulamalarında, yüzeyin pürüzlülük durumları oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada elde edilen bütün filmlerin yüzeylerinin boşluksuz olarak kaplanması ve homojen yüzeye sahip olması aygıt uygulamaları için her bir filmin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. İleriki çalışmalarda, bu filmler 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] Ilgu, G., Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M., Ruzgar, S. The effect of sol concentration on the structural and electrical parameters of nanostructure ZnO films by sol gel dip coating. *J. Nanoelectron. Optoe.* 2014; 9: 622-627.
- [2] Raja, M., Muthukumarasamy, N., Velauthapillai, D., Balasundaraprabhu, R., Agilan, S., Senthil, T.S. Studies on bundle like ZnO nanorods for solar cell applications. *Solar Energy.* 2014; 106: 129-135.
- [3] Ates, T., Tatar, C., Yakuphanoglu, F. Preparation of semiconductor ZnO powders by sol gel method: Humidity sensors. *Sensor. Actuat. A-Phys.* 2013; 190: 153-160.
- [4] Abdi, Y., Jebreil Khadem, S.M., Afzali, P. Resonantly excited ZnO nanowires for fabrication of high sensitivity gas sensor. *Curr. Appl. Phys.* 2014; 14: 227-231.
- [5] Al-Hardan, N.H., Jalar, A., Abdul Hamid, M.A., Keng, L.K., Ahmed, N.M., Shamsudin, R. A wide-band UV photodiode based on n-ZnO/p-Si heterojunctions. *Sensor. Actuat. A-Phys.* 2014; 207: 61-66.
- [6] Alahmed, Z.A., Yakuphanoglu, F. The effects of microfibers on electrical characteristics of zinc oxide thin film transistor. *Microelectron. Eng.* 2013; 110: 25-28.
- [7] Dimova-Malnovska, A.P., Sendova-Vassileva, M., Nichev, H. Ve Starbova, K. Preparation of ZnO nanowires by electrochemical deposition. *Enrgy. Proced.* 2010; 2: 55-58.
- [8] Arslan, A., Hur, E., Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M. Controlled growth of c-axis oriented ZnO nanorod array films by electrodeposition method and characterization. *Spectrochim. Acta A.* 2014; 128: 716-723.
- [9] Caglar, M., Caglar, Y., Ilican, S. The determination of the thickness and optical constants of the ZnO crystalline thin film by using envelope method. *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 2006; 8: 1410-1413.
- [10] Yakuphanoglu, F., Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y. 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.* 2007; 9(7): 2180-2185.

- [11] Caglar, Y., Yakuphanoglu, F., Ilıcan, S., Caglar, M. Electrical characterization of ZnO/organic semiconductor diode. *J. Optoelectron. Adv. M.* 2008; 10: 2584-2587.
- [12] Aksoy, S., Caglar, Y., Ilıcan, S., Caglar, M. Sol-gel derived zinc oxide films: Effect of deposition parameters on structure, microstructure and photoluminescence properties. *Superlattice. Microst.* 2011; 50(5): 470-479.
- [13] Ilıcan, S. Effect of Na doping on the microstructures and optical properties of ZnO nanorods. *Journal of Alloys and Compounds.* 2013; 553: 225-232.
- [14] Chen J.T., Wang J., Zhang F., Zhang G.A., Wu Z.G., Yan P.X. The effect of La doping concentration on the properties of zinc oxide films prepared by the sol-gel method. *Journal of Crystal Growth* 2008; 310: 2627-2632.
- [15] Venkatesh, K. S., Vijayalakshmi, K., Karthick, K., Krishnamoorthi, S. R., Palani, N. S., Ilıngovan, R. Fabrication of room temperature H₂ gas sensor using pure and La: ZnO with novel nanocorn morphology prepared by sol-gel dip coating method. *J. Mater. Sci: Mater. Electron.* 2014; 25: 4339-4347.
- [16] Aal, N.A., Al-Hazmi, F., Al-Ghamdi, A., Hendi, A.A., Aloraimy, R.H., Nawar, A. M., El-Gazzar, S., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F. Nanostructure lanthanum doped zinc oxide optical materials. *J. Nanoelectron. Optoe.* 2014; 9(5): 628-638.
- [17] Ilıcan, S., Ilıgu, G. Electrical Properties of n-ZnO:La/p-Si Heterostructure Diode. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics.* 2016; 11(4): 401-406.
- [18] Cullity B.D., Stock S.R., *Elements of X-ray Diffraction*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2001.
- [19] Xu, J., Hao, S., Duan, X. Gu, S., Meng, X. Preparation and photoelectric properties of La-doped ZnO films. *J Mater Sci: Mater Electron.* 2013; 24: 4175-4179.
- [20] Murphy, A. B. Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* 2007; 91: 1326-1337.
- [21] Manikandan, A., Manikandan, E., Meenatchi, B., Vadivel, S., Jaganathan, S. K., Ladchumananandasivam, R., Henini, M., Maaza, M., Aanand, J. S. Rare earth element (REE) lanthanum doped zinc oxide (La: ZnO) nanomaterials: Synthesis structural optical and antibacterial studies. *Journal of Alloys and Compounds.* 2017; 723: 1155-1161.