Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi
Fen ve Mühendislik Dergisi
Cilt 19, Sayı 56, Mayıs 2017

Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering
Journal of Science and Engineering
Volume 19, Issue 56, May 2017

DOI: 10.21205/deufmd.*2017195648*

Mg Katkılı ZnO Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Seniye KARAKAYA[*1]

1Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 26480, Eskişehir

(Alınış / Received: 09.07.2016, Kabul / Accepted: 10.11.2016,
Online Yayınlanma / Published Online: 02.05.2017)

Anahtar Kelimeler
Mg Katkılı ZnO,
Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği,
XRD,
AFM

Özet: Son yıllarda, ZnO filmler zehirsiz olması, düşük maliyetli ve doğada bol bulunması gibi avantajlı özellikleri nedeniyle tercih edilen saydam iletken oksitler arasında yer almaktadırlar. Bu çalışmada, katkısız ve Mg katkılı ZnO filmleri mikroskop cam tabanlar üzerine, ekonomik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile 400±5oC taban sıcaklığında üretilmiştir. X-ışını kırınım desenlerinden, tüm filmlerin kristal yapısının hekzagonal yapıda olduğu belirlenmiştir. Filmlerin optik geçirgenlik spektrumu, görünür bölgede % 65 ile % 80 aralığında değişen geçirgenlik değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Optik metot kullanılarak elde edilen bant aralığı değerlerinin Mg katkısı ile birlikte arttığı görülmüştür. Filmlerin yüzey morfolojileri atomik kuvvet mikroskobu ile analiz edilmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile farklı oranlarda Mg katkısının ZnO filmlerinin yapısal, optik ve yüzeysel özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve Mg katkılı ZnO filmlerinin optoelektronik uygulamalar için uygun malzemeler oldukları belirlenmiştir.

Synthesis and Characterization of Mg Doped ZnO Thin Films

Keywords
Mg doped ZnO,
Ultrasonic Spray Pyrolysis Technique,
XRD,
AFM

Abstract: Recently, ZnO films are among the preferred transparent conductive oxides because of their advantageous properties such as absence of toxicity, low cost and abundance in nature. In this study, undoped and Mg doped ZnO films have been deposited onto microscope glass substrates at 400±5 ºC by using Ultrasonic Spray Pyrolysis which is simple and economic technique. XRD diffraction patterns have been confirmed that all films have hexagonal wurtzite type structure. Optical transmittance of the films has been shown that have an average transmittance between 65-80% in the visible region. Optical band gap values of films that are obtained using optical method have been increased with Mg doping. The surface topographies of the films in three dimensions and surface roughness have been examined by Atomic Force Microscope. The effect of different Mg concentration doping on the structural, optical, surface properties of ZnO films has been investigated with this study. It has determined that Mg doped ZnO films are suitable for optoelectronic applications.

*Seniye Karakaya: seniyek@ogu.edu.tr

1. Giriş

Saydam iletken oksit grubuna ait olan ZnO II-VI grup bileşiği olup, yüksek elektriksel iletkenliğe ve oda sıcaklığında yaklaşık 3,2 eV' luk yasak enerji aralığına sahip direkt bant geçişli n-tipi yarıiletkendir [1].

ZnO filmlerinin bazı opto-elektronik uygulamalarda kullanılabilmesi ve daha işlevsel olabilmesi için daha geniş bant aralığına sahip olması istenir. ZnO filminin optik bant aralığı II. gruptan Be, Mg, Ca, Cd ve Sr gibi elementler katkılanarak uygun hale getirilebilir [2, 3]. Bu elementler arasında Mg^{2+} iyon yarıçapı (0,57Å) ile Zn^{2+} iyon yarıçapları (0,60Å) birbirine yakın değerlerde olduğundan, Mg^{2+} iyonunun ZnO örgüye katkılanması açısından oldukça uygun bir malzemedir [4-6].

Şu ana kadar yapılan çalışmalarda Mg katkılı ZnO filmleri kimyasal buhar depolama, sol-gel, rf manyetik saçtırma ve kimyasal püskürtme gibi birçok teknik ile üretilmiştir [7-9].
Bu teknikler arasında, kimyasal püskürtme tekniği kolay ve ekonomik olması, tekrarlanabilir olması ve vakum gerektirmemesi gibi özelliklerinden dolayı çok tercih edilen teknikler arasındadır.

Bu çalışmada amacımız, bazı optoelektronik cihazlarda ve özellikle yarıiletken ince film güneş pillerinde kullanılabilecek katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerini basit ve ekonomik bir teknik olan Ultrasonik Kimyasal Püskürtme (UKP) tekniği ile üretmek ve filmlerin optik, yüzeysel ve yapısal özelliklerine Mg katkısının etkisini incelemektir.

Bu çalışmada diğer bir amacımız ise literatürde diğer tekniklere nazaran daha az sayıda çalışma bulunan ve diğer üretim teknikleri arasında ekonomik ve geniş yüzeylere uygulamasının kolay olmasıyla dikkat çeken Ultrasonik Kimyasal Püskürtme tekniği ile üreterek maliyeti düşürmektir. Aynı zamanda, katkısız ZnO filmlerine farklı oranlarda Mg (%1, 3, 5) katkılayarak filmlerin optik bant aralığı değerlerini arttırma hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

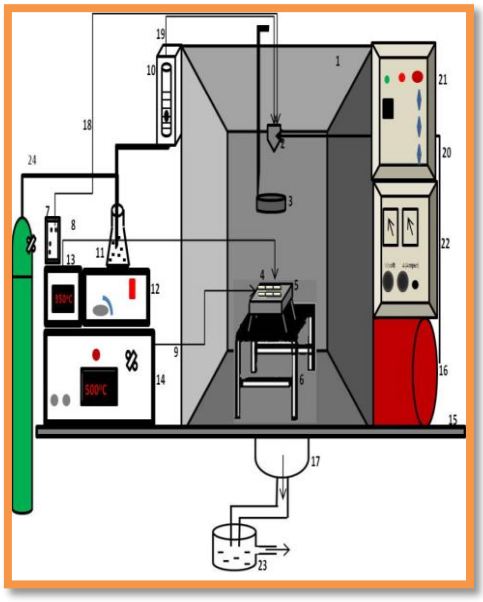
Katkısız ve Mg katkılı ZnO (% 1, 3, 5) filmleri ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak 400 ± 5 °C taban sıcaklığındaki mikroskop cam tabanlar (10mm x 10mm) üzerine püskürtülerek üretilmiştir. Zn ve O kaynağı olarak molekül ağırlığı 219,49 g/mol olan % 99 saflıkta [Çinko asetat $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$] (Merck) kimyasal tuzu kullanılmıştır. 0.3 M konsantrasyonunda başlangıç çözeltisi hazırlanmıştır. Mg kaynağı olarak molekül ağırlığı 214,45 g/mol olan [Magnezyum asetat tetrahidrat $(CH_3COO)_2Mg \cdot 4H_2O$] (Sigma Aldrich) ≥% 99 saflıkta kimyasal tuzu kullanılmıştır. 100 ml'lik deiyonize su içerisinde $(CH_3COO)_2Mg \cdot 4H_2O$ tuzu çözdürülüp Mg kaynağının sulu çözeltisi hazırlanmıştır. Ayrıca çözeltinin daha iyi çözünebilmesi için bir kaç damla asetik asit damlatılmıştır. Başlangıç püskürtme çözeltisi içerisine % 1, 3 ve 5 oranlarında $(CH_3COO)_2Mg \cdot 4H_2O$ çözeltisi eklenerek de Mg katkılı ZnO filmleri üretilmiştir.

Toplam 100 ml çözelti, 5 ml/dk püskürtme hızıyla 20 dakika süreyle ısıtılan cam tabanlar üzerine püskürtülmüştür. Püskürtme hızı akış ölçer yardımıyla ayarlanmış ve taşıyıcı gaz olarak da hava (1 bar) kullanılmıştır. Elde edilen katkısız filmler ZnO, Mg katkılı filmler ise ZnO:Mg olarak adlandırılmıştır. Ayrıca filmlere ait deneysel parametreler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Üretim Parametreleri

Film	**ZnO ve ZnO:Mg**
Kimyasal Tuzlar	$[Zn(CH_3COO)_2.2H_2O]$ $[(CH_3COO)_2Mg\cdot 4H_2O]$
Çözücü, Çözelti Molaritesi ve Miktarı	Deiyonize su; 0,3 M – 100 ml
Katkı Oranı	% 1, 3, 5
Taban Sıcaklığı	400±5 °C
Akış Hızı ve Püskürtme Süresi	5 ml/dk. - 20 dk.

Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinin şematik gösterimi Şekil 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



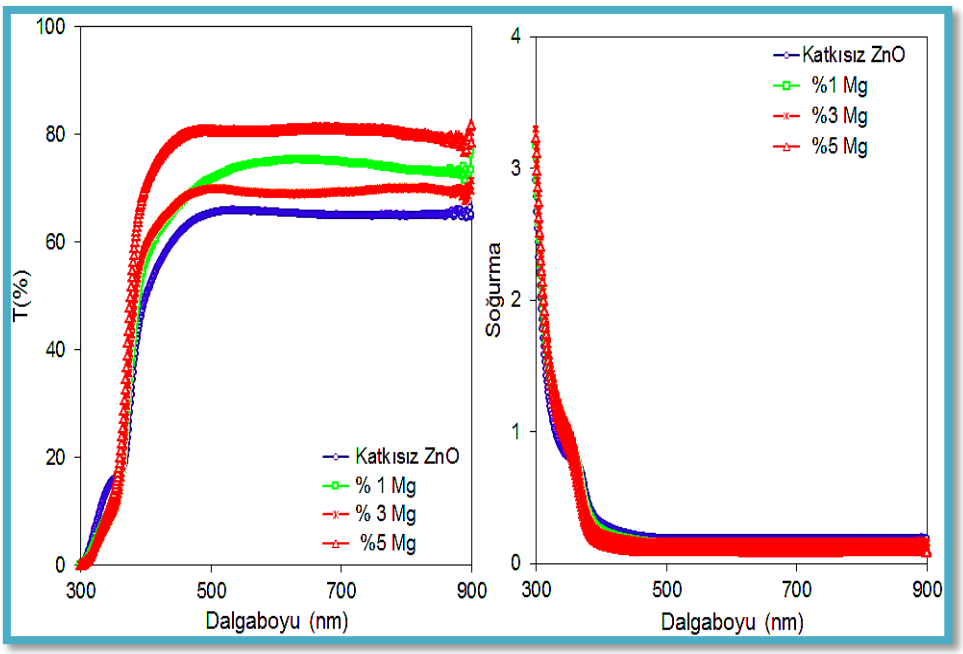
Şekil 1. Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinin şematik gösterimi

Yukarıdaki gösterilen ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinin şematik diyagramında; (1) Püskürtme odacığı, (2) Ultrasonik püskürtme başlığı, (3) hareketli tava, (4) cam tabanlar, (5) gömme rezistanslı bronz blok, (6) Hareketli taban, (7) Osilatör, (8) 1. Termoçift, (9) 2. Termoçift, (10) Akış hızı ölçer (11) Çözelti kabı, (12) Isıtıcılı manyetik karıştırıcı, (13) Yüzey sıcaklık göstergesi, (14) Gömme rezistanslı bronz bloğun ısı kontrol edici düzeneği, (15) Masa, (16) Azot tüpü ve ya hava kompresörü, (17) Fan, (18) Osilatör kablosu, (19) Çözelti akış hortumu, (20) Hava hortumu, (21) ac ampermetre, (22) ac voltmetre, (23) İçerisi bir miktar su dolu kap, (24) Hava tüpünü göstermektedir.

Üretilen filmlerin morfolojik özellikleri, Park Sistem XE 100 model atomik kuvvet mikroskobu ile "non-kontak" modda yaklaşık 300 kHz titreşim frekansında ve 0,7 Hz tarama hızında, hava ortamında, oda sıcaklığında belirlenmiştir. Optiksel özellikleri Shimadzu UV-3700 UV-VIS spektrofotometre cihazı kullanılarak, yapısal özellikleri ise, XRD ölçümlerinden (Bruker-AXD D8 Advance Cihazı ile) yararlanılarak incelenmiştir.

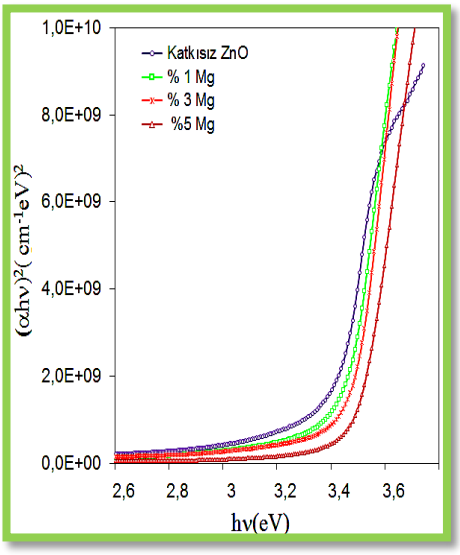
3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen katkısız ZnO ve ZnO:Mg filmlerinin geçirgenlik ve soğurma spektrumları Şekil 2' de verilmektedir. ZnO:Mg filmlerinin görünür bölgede yaklaşık olarak %65-80 civarında geçirgenliğe sahip oldukları belirlenmiştir. Geçirgenlik spektrumundan Mg elementinin katkı oranı artıkça görünür bölgede ortalama geçirgenlik değerinin arttığı görülmektedir. Benzer artış K. Vijayalakshmi ve ark. tarafından ITO kaplı cam tabanlar üzerine püskürtülerek depolanan Mg katkılı ZnO filmlerinde de gözlenmiştir [9]. Filmlerin soğurma değerleri yaklaşık 400 nm' den daha kısa dalgaboylarında filmlerin soğurma özelliklerinin artmasından dolayı keskin bir şekilde artmaktadır.



Şekil 2. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin geçirgenlik ve soğurma spektrumları

ZnO:Mg filmlerinin bant aralıklarını belirlemek için optik metot kullanılmıştır. Filmlerin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafikleri Şekil 3' de verilmektedir.



Şekil 3. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafikleri

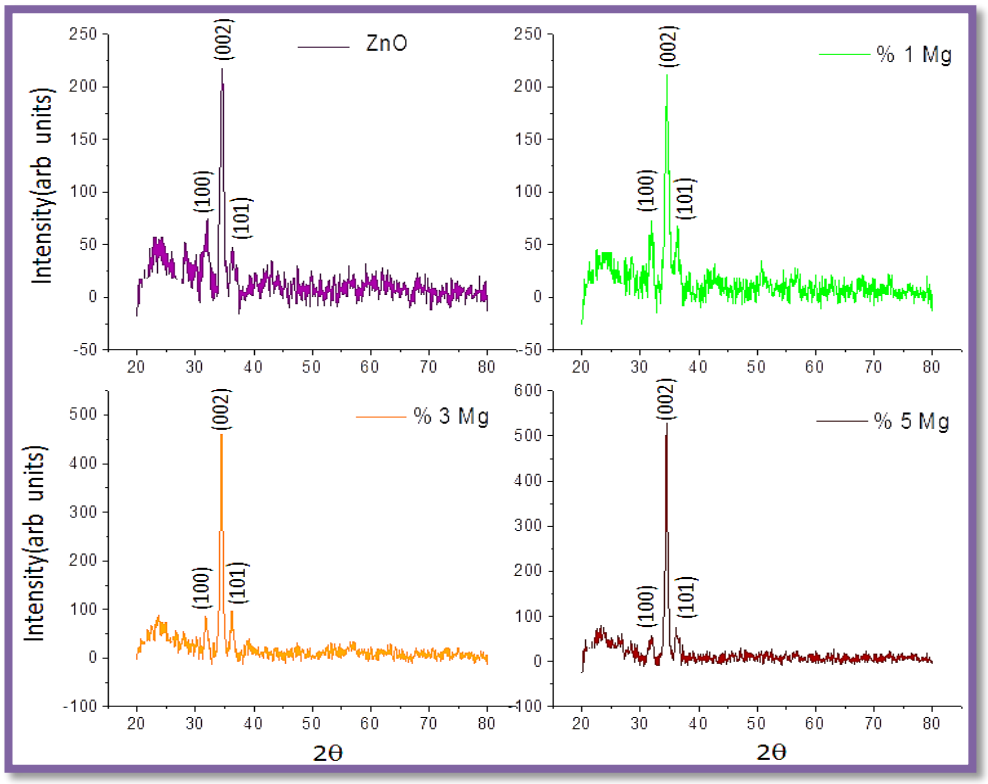
Elde edilen grafiklerin lineer kısımlarının doğrultusunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2=0$' da kestiği noktanın enerji değerleri filmlerinin bant aralıkları olarak belirlenmiş ve her bir filme ait optik bant aralığı değerleri Çizelge 2'de verilmektedir. Bu grafiklerden tüm filmlerin direkt bant aralıklı malzemeler oldukları belirlenmiştir. Bu özellik güneş ışığından daha fazla yararlanma imkânı sağlaması sebebiyle fotovoltaik güneş pili uygulamalarında istenen bir özelliktir.

Çizelge 2 incelendiğinde, Mg katkısı ile optik bant aralığının arttığı görülmektedir. S.W. Shin ve ark. tarafından RF saçtırma tekniği ile elde edilen ZnO:Mg filmlerinde de Mg katkısı ile birlikte optik bant aralığı değerlerinde benzer bir artış meydana gelmiştir [8]. Bu durum literatürde, yüksek bant aralığına sahip MgO (7,3 eV) kaynaklı olarak açıklanmıştır[10-12]. Çalışmamız literatüre ve bilimsel birikime katkı sağlayabilecek bir çalışma haline gelmiştir. Çünkü artan bant aralığı ile beraber özellikle fotovoltaik uygulamalarda güneş ışığından daha çok yararlanmak mümkün olacaktır.

Çizelge 2. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin optik bant aralığı değerleri

Film	E_g (eV)
ZnO	3,26
ZnO:Mg (% 1)	3,28
ZnO:Mg (% 3)	3,38
ZnO:Mg (% 5)	3,43
ZnO:Mg (% 5)	3,43

Katkısız ZnO ve ZnO:Mg filmlerinin 1,5405 Å dalgaboylu CuK_α ışını kullanılarak toz metodu ile $20° \leq 2\theta \leq 80°$ açıları arasında alınan XRD desenleri Şekil 4'te verilmektedir. Tüm desenlerde gözlenen farklı şiddet ve yönelimlere sahip pikler, Mg katkılı ZnO filmlerinin polikristal ve hekzagonal yapıda olduğunun bir göstergesidir (JCPDS card no: 001-1136).



Şekil 4. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin XRD kırınım desenleri

Filmlerin (002) ZnO yönünde tercihli yönelime sahip oldukları görülmektedir. Filmlerin tercihli yönelimlerini sayısal değer olarak belirlemek amacı ile XRD desenleri üzerinde görülen (002) piki için yapılanma katsayıları (*TC*) Haris analizi kullanılarak hesaplanmıştır parametreler hesaplanarak filmlerin yapısal özellikleri analiz edilmiştir.

Yapıya Mg elementinin girmesi ile birlikte pik şiddetlerindeki artış dikkat çekmektedir. Benzer değişim Reddy ve ark. tarafından yapılan çalışmada da görülmektedir [13]. XRD desenlerinden yararlanarak filmlerin kristallenme seviyeleri incelenmiş ve bazı yapısal

Bu amaçla, XRD desenlerinden alınan kırınım açısı (2θ), düzlemler arası mesafe (d) ve yarı pik genişliği (β) değerleri kullanılarak; tane boyutu (D), dislokasyon yoğunluğu (δ) ve yapılanma katsayısı (TC) değerleri hesaplanmış ve bu değerler yardımıyla yapısal özellikleri analiz edilmiştir.

Kristal yapıda tane boyutu, Scherrer bağıntısı olarak bilinen,

$$D = \frac{0.94\,\lambda}{\beta cos\theta} \qquad (1)$$

ifadesi ile verilir. Burada D tane boyutu, β maksimum şiddetli pikin radyan olarak yarı pik genişliği, θ Bragg açısı ve λ kullanılan x-ışınının dalgaboyudur [14,15].

Dislokasyon yoğunluğu Williamson ve Smallman tarafından verilen

$$\delta = \frac{n}{D^2} \qquad (2)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanabilir [16]. δ dislokasyonun birim hacimdeki toplam uzunluğu olarak da tanımlanır. Minimum δ değeri için n=1 alınır.

Tüm filmlerde en şiddetli pik olan (002) piki için hesaplanan tane boyutları, dislokasyon yoğunlukları ve yapılanma katsayıları Çizelge 3' te verilmektedir.

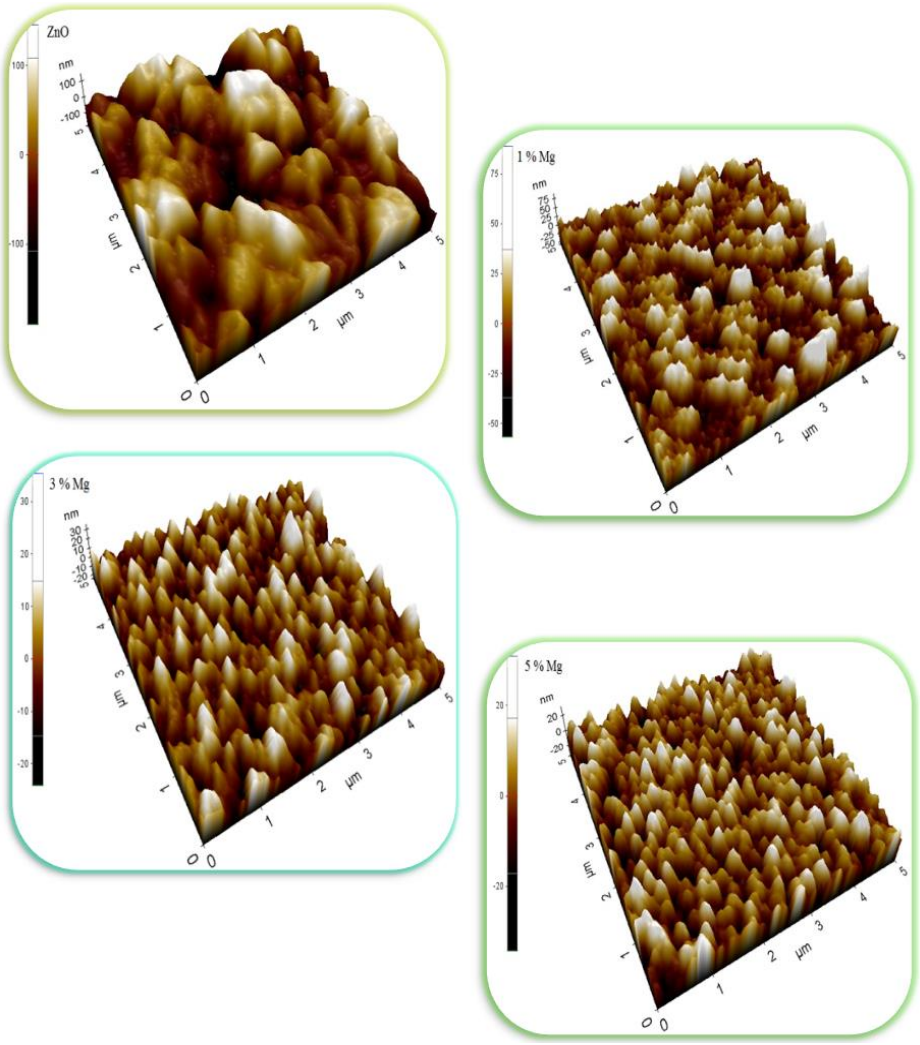
Çizelge 3. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin tane boyutu, dislokasyon yoğunluğu ve yapılanma katsayısı değerleri

Film	**D (nm)**	**δx10³ (çizgi/nm²)**	**TC**
ZnO	20	2,50	1,7
ZnO:Mg (% 1)	22	2,06	1,4
ZnO:Mg (% 3)	26	1,48	2,1
ZnO:Mg (% 5)	27	1,37	2,3

ZnO filmlerine Mg katkılanmasıyla birlikte, tane boyutu değerlerinde katkısız ZnO filmine göre bir artış gözlenmektedir.

Ayrıca verilen dislokasyon yoğunlukları incelendiğinde, değerlerin aynı mertebede (10^{-3}) olduğu görülmektedir. Küçük dislokasyon yoğunluğu değerleri, filmlerin kristallenme seviyesinin iyi olduğunu göstermektedir [17]. ZnO ve ZnO:Mg filmlerinin AFM görüntüleri Şekil 5' te verilmektedir.

Filmlerin AFM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde rastgele dağılmış farklı genişlik ve yüksekliklere sahip birbirinden ayırt edilebilir parçacık oluşumları dikkat çekmektedir. Parçacık boyutlarının katkısız ZnO filmlerinde nispeten daha büyük olduğu görülmektedir. Tüm filmler içerisinde %3 ve %5 Mg katkılı ZnO filmlerinin yüzeyi daha küçük parçacıklardan oluşmuş sıkı ve homojen bir yüzey olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durum güneş pili uygulamalarında bir avantaj olarak kendini gösterecektir.



Şekil 5. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin AFM görüntüleri

Çizelge 4' te verilen R_q (rms pürüzlülük) ve R_a (ortalama pürüzlülük) pürüzlülük değerleri incelendiğinde, Mg katkılı filmlerde azaldığı görülmektedir. Tüm filmler arasında en düşük pürüzlülüğe sahip numune % 5 Mg katkılı ZnO filmleridir.

Çizelge 4. Katkısız ve Mg katkılı ZnO filmlerinin pürüzlülük değerleri

Film	Rpv(nm)	Rq(nm)	Ra(nm)
ZnO	182	32	30
ZnO:Mg (% 1)	125	27	24
ZnO:Mg (% 3)	112	20	19
ZnO:Mg (% 5)	105	18	17

4. Sonuç

Son yıllarda yaygın olarak çalışılan ve güneş pillerinde istenilen bazı özelliklere sahip olmasıyla öne çıkan saydam iletken oksitlerden biri olan çinko oksite Mg katkı elementi katkılanarak ZnO:Mg filmlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Filmlerin XRD desenleri incelenerek, tüm filmlerin polikristal yapıda oluştukları ve (002) yönünde tercihli yönelim sergiledikleri belirlenmiştir. Mg katkılı ZnO filmlerinin kristallenme seviyelerinde katkısız ZnO filmlerine göre bir artış olduğu görülmüştür. Üretilen tüm filmlerin direkt bant geçişli malzemeler olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızın öncelikli amaçlarından biri olan filmlerin optik bant aralığı değerlerinin arttırılması, ZnO filmlerine farklı oranlarda Mg (%1, 3, 5) katkılanarak başarılmıştır. ZnO:Mg filmlerinin görünür bölgede (~%65-80) aralığında optik geçirgenliğe sahip oldukları belirlenmiş ve yapıdaki Mg katkısıyla birlikte filmlerin geçirgenliklerinde bir artış olduğu gözlenmiştir. ZnO:Mg filmlerinin yüzeysel özelliklerini belirlemek amacı ile alınan AFM görüntülerinden, tüm filmlerin yüzeylerinde farklı genişlik ve yüksekliklere sahip ayırt edilebilir tanelerin oluştuğu ve özellikle tüm filmler arasında %5 Mg katkılı ZnO filmlerin en düşük pürüzlülük değerlerine sahip yüzeyler olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada deney parametresi olarak farklı oranlarda Mg elementinin katkılanması seçilmiş ve bu üretim parametresinin filmlerin oluşumunda ve bazı fiziksel özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yapılan bu çalışmanın bu alanda daha sonra yapılacak araştırma/geliştirme çalışmalarında optimum katkı oranının belirlenmesini sağlaması açısından fikir verebileceğini düşünmekteyiz.

Teknolojik uygulamalarda önemli bir yeri olan polikristal yarıiletken film üretimine yönelik bu çalışma, özellikle maliyet açısından pahalı vakumlu sistemlere alternatif ZnO filmlerinin üretilmesi ve farklı elementlerle katkılama imkânı ile özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlaması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Sağlamış oldukları laboratuvar imkânları için Prof. Dr. Ferhunde Atay ve Prof. Dr. İdris Akyüz'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

[1] Chena, H., Ding, J., Guo, W., Shi, F., Li, Y. 2012. Violet–blue–green emission and shift in Mg-doped ZnO films with different ratios of oxygen to argon gas flow, Applied Surface Science, Cilt 258, s. 9913–9917.DOI:10.1016/j.apsusc.2012.06.050

[2] Sengupta, J., Ahmed, A., Labar, R. 2013. Structural and optical properties of postannealed Mg doped ZnO thin films deposited by the sol–gel method, Materials Letters, Cilt 109, s. 265–268. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.07.104

[3] Makino, T., Segawa, Y., Kawasaki, M., Ohtomo, A., Shiroki, R., Tamura, K, etal., 2001. Band gap engineering based on MgxZn1_xO and CdyZn1-_yO ternary alloy films, Applied Physics Letters; Cilt 78(1237), s.1–3. DOI: 10.1063/1.1350632

[4] Vijayalakshmin, K., Renitta, A., Karthick, K. 2014. Growth of high quality ZnO:Mg films on ITO coated

glass substrates for enhanced H2 sensing, Ceramics International, Cilt 40, s. 6171–6177.DOI:10.1016/j.ceramint.2013.11.070

[5] Huang, K., Tang, Z., Zhang, L., Yu, J., Lv, J., Liu, X., Liud, F., 2012. Preparation and characterization of Mg-doped ZnO thin films by sol–gel method, Applied Surface Science, Cilt 258, s. 3710–3713.DOI:10.1016/j.apsusc.2011.12.011

[6] Shi, Q., Zhang, J., Zhang, D., Wang, C., Yang, B., Zhang, B., Wang, W., 2012. Red luminescent and structural properties of Mg-doped ZnO phosphors prepared by sol–gel method, Materials Science and Engineering B, Cilt 177, s. 689–693.DOI:10.1016/j.mseb.2012.03.045

[7] Vettumperumal,R., Kalyanaraman, S., Thangavel, R., 2014. Photoconductive UV detectors based heterostructures of Cd and Mgdoped ZnO sol gel thin films, Materials Chemistry and Physics Cilt 145, s. 237-242. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2014.02.008

[8] Shin, S. W., Agawane, G.L., et al. , 2013. Development of transparent conductive Mg and Ga co-doped ZnO thin films: Effect of Mg concentration, Surface & Coatings Technology Cilt 231, s. 364–369. DOI:10.1016/j.surfcoat.2012.03.008

[9] Vijayalakshmin, K., Renitta, A., Karthick, K., 2014. Growth of high quality ZnO:Mg films on ITO coated glass substrates for enhanced H2 sensing, Ceramics International Cilt 40, s. 6171–6177.DOI:10.1016/j.ceramint.2013.11.070

[10] Thonglem, S., Intatha, U., Eitssayeam, S., 2015. Effect ofmagnesium and fluorine dopants on properties of ZnO thin films, Ceramics International, Cilt 41, s.331–S336. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.03.215

[11] Abe, T., Nakagaw, A., Nakagawa, M.,et al., 2014. Optical characterization by variable angle spectroscopic ellipsometry of nitrogen-doped MgxZn1 − xO thin films prepared by theplasma-assisted reactive evaporation method, Thin Solid Films Cilt 571, s. 615–619. DOI: 10.1016/j.tsf.2014.02.091

[12] Li, Z., Cho, E., Kwon, S. J. 2014. Mg-doped ZnO thin films deposited by the atomic layer chemicalvapor deposition for the buffer layer of CIGS solar cell, Applied Surface Science, Cilt 314, s. 97–103. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.06.136

[13] Reddy, A., Prathap, P., Subbaiah, Y.P.V., Ramakrishna K.T., Yi, J., 2008. Growth and physical behaviour of $Zn_{1-x}Mg_xO$ films, Thin Solid Films Cilt 516, s. 7084–7087. DOI: 10.1016/j.tsf.2007.12.098

[14] Benramdane, N., Murad, W.A., Misho, R.H., Ziane, M., Kebbab, Z., A 1997. Chemical method for the preparation of thin films of CdO and ZnO, Materials Chemistry and Physics, Cilt 48, s. 119-123. DOI: 10.1016/S0254-0584(97)80104-6

[15] Hammond, C., 1997. The basics of crystallography and diffraction, School of Materials, University of Leeds, 249s.

[16] Williamson, G.K., Smallman, R.E., 1956. Dislocation densities in

some annealed and cold-worked metals from measurements on the X-ray debye scherrer spectrum, Philosophical Magazine Cilt 1, s. 3446.DOI:10.1080/14786435608238074

[17] Zhao, Z., Morel, D.L. and Ferekides, C.S., 2002. Electrical and optical properties of thin-doped CdO films deposited by atmospheric metalorganic chemical vapour deposition, Thin Solid Films, Cilt 413, s.203-211. DOI: 10.1016/S0040-6090(02)00344-9