



SILAR yöntemi ile üretilen CuO filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerine ikili katkılamamanın (Zn, Li) etkisi

Raşit Aydın^{1*}, Bünyamin Şahin², Fatih Bayansal³

05.05.2016 Geliş/Received, 18.07.2016 Kabul/Accepted

doi: 10.16984/saufenbilder.84708

ÖZ

Bu çalışmada katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li-katkılı Li-ZnCuO filmler cam altlıklar üzerine SILAR yöntemi ile başarılı bir şekilde büyütüldü. Üretilen bu filmler metalurjik mikroskop (MM), X-ışını kırınımı (XRD) ve UV-Vis. spektroskopisi ile karakterize edildi. MM sonuçları, CuO filmlerin morfolojisi üzerine Li-Zn ikili katkılama konsantrasyonunun önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterdi. XRD verileri filmlerin nanoboyutta kristalize olduklarını ve kristallenme kalitesinin katkı konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini açığa çıkardı. UV-Vis. analiz sonuçları, filmlerin hem optik bant aralığı değerlerinde hem de geçirgenliklerinde katkı konsantrasyonuna bağlı olarak önemli farklılıkların oluştuğunu ortaya koydu.

Anahtar Kelimeler: CuO, lityum, çinko, ikili katkılama, SILAR, ince film

Effect of co-doping (Zn-Li) on structural, morphological, and optical properties of CuO films produced by SILAR method

ABSTRACT

In this study, un-doped CuO, and different concentrations of Li-doped Li-ZnCuO films were successfully synthesized on glass substrates by the SILAR method. The synthesized films are characterized by metallurgical microscope (MM), X-ray diffraction (XRD) and UV-Vis. spectroscopy. MM results demonstrated that Li-Zn co-doping concentration has a significant influence on morphology of CuO film. XRD data revealed that the films are crystallized in nanoscale and the crystallinity is dependent on the doping concentration. UV-Vis. analysis demonstrated that there are significant differences in the optical band gap and transmittance values of the films as a function of doping concentration.

Keywords: CuO, Lithium, Zinc, co-doping, SILAR, Thin Film

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, KONYA – raydin@selsuk.edu.tr

Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, HATAY – sahin38@gmail.com

İskenderun Teknik Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, HATAY – fbayansal@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda nanoyapılı metal oksit yarıiletken malzemeler, öne çıkan fiziksel özellikleri ve elektronik ve optoelektronik tabanlı yarıiletken cihaz teknolojilerindeki geniş pratik uygulamalarından dolayı pek çok araştırma gurubunun ilgi alanını oluşturmuştur [1-3]. Direkt bant aralık enerji değeri yaklaşık 1.4 eV civarında olan bakır oksit (CuO), birçok metal oksit malzeme arasında önemli bir p-tipi yarıiletken oksit malzemedir [4]. CuO monoklinik kristal yapıya sahip, zehirli olmayan, ucuz, kolay sentezlenebilen ve doğada bol bulunan bir yarıiletken malzemedir. Bu yüzden CuO ince filmler biyosensörler [5], gaz sensörleri [6], güneş pilleri [7], lityum iyon bataryalar [8], ince film transistörler [9] gibi teknolojinin birçok alanında değişik uygulamalar için yaygın biçimde araştırılmaktadır.

Nanoyapılı CuO ince filmleri sentezlemek için kimyasal buhar biriktirme [10], kimyasal banyo biriktirme [11], termal buharlaştırma [12], püskürtme [13], sol-jel [14], sprey piroliz [15], darbeli lazer biriktirme [16] ve ardışık iyonik tabakalı adsorpsiyon ve reaksiyon (SILAR) [17] gibi birkaç fiziksel ve kimyasal büyütme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında SILAR, ucuz, güvenli, kolay uygulanabilir ve sentez süresince değişik parametrelerin kolaylıkla kontrol edilebilmesine imkân tanıma gibi avantajlara sahip olan bir yöntemdir [18-20].

Nanoyapılı ince filmlerin fiziksel performanslarını geliştirmek için çeşitli metotlara başvurulmaktadır. Bu metotlardan bir tanesi de katkılama (doping) dir. Katkılama tekniği hem nanoyapılı metaloksit yarıiletkenlerin, yapısal, morfolojik ve optik özelliklerini kontrol etmek için hem de yeni çok fonksiyonlu yarıiletken malzemeler elde etmek için kullanılabilen bir tekniktir. Malzemelerin başlıca fiziksel ve kimyasal özelliklerini artırmak için Fe, Ga, Sn gibi birçok katkılama elementi araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bunların farklı konsantrasyonlarının fiziksel ve kimyasal özelliklere etkisi birçok araştırmacı için bir odak noktası haline gelmiştir[21-24].

Lityum (Li) elementi periyodik tablonun 1A grubunda yer alır ve +1 değeriğe sahiptir. Elektron verme eğilimi yüksek olup alkali bir metaldir. Li elementi su ile rahatlıkla reaksiyona girip kolayca oksitlenir. Çinko (Zn) ise periyodik tablonun 2B grubunda yer alan +2 değerlikli bir elementtir. Bileşiklerinde genellikle iyonik bağ yapıp, güçlü bir indirgeyici olduğu için çözelti bazlı film büyütme işlemlerinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir[25-26].

Bu nedenle bu çalışmamızda dikkat çekici fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, çözelti bazlı tepkimelerde

etkin olabilen, yapısal, morfolojik ve optik özelliklerin geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan Li ve Zn ikili katkılanmış CuO ince filmler SILAR yöntemi ile sentezlendi. Zn malzemesinin yüzdelik oranı sabit tutularak (%1M) Li'un farklı konsantrasyonlarına (sırasıyla %1M, %2M ve %3M) bağlı olarak üç farklı Li-ZnCuO yapıdaki ikili katkılanmış CuO filmler üretildi. Sentezlenen CuO filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerine ikili katkılamının ve Li konsantrasyon oranlarının etkisi araştırıldı.

2. DENEY (EXPERIMENT)

Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda nanoyapılı Li katkılı Li-ZnCuO filmler büyütülürken altlık olarak mikroskop cam lamalar kullanıldı. Filmleri büyütmeden önce cam altlıklar ve beherler sırasıyla seyreltik sülfirik asit çözeltisi (H₂SO₄:H₂O, 1:5, v/v), aseton ve saf su ile 5 dakika boyunca ultrasonik banyoda temizlendi. İlk önce 0.1M bakır klorür çözeltisi, bakır (II) klorür dihidrat (CuCl₂. 2H₂O) tuzu ile 100 ml saf su (18 MΩcm özdirençli) kullanılarak hazırlandı. Sonra çözeltinin daha şeffaf ve homojen hale gelmesi için birkaç dakika oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Karıştırıldıktan sonra çözeltinin pH değerinin yaklaşık 10 olması için amonyak eklendi ve solüsyon yaklaşık 90 °C ye kadar ısıtıldı. Deneyler sırasında sıcaklık sabit tutuldu ve 1-2 µm kalınlıkta ince film elde etmek için 6 SILAR döngüsü yapıldı. SILAR döngüsü şu şekilde yapıldı: Cam altlıklar çözelti içine daldırıldı ve çözelti içinde 20 s tutuldu. Sonra altlıklar çözeltiden çıkarıldı ve hemen 90 °C deki sıcak suya 20 s batırıldı. Sıcak sudan çıkarılan altlıklar tekrar sırasıyla 20 s süre ile çözelti ve sonra da sıcak su içine daldırılarak çevrim tamamlandı. Bu şekilde 6 tur yapılarak katkısız CuO ince filmler cam altlık üzerine büyütüldü. Daha sonra CuO ince filmler 350 °C fırında 45 dakika boyunca tavlandı.

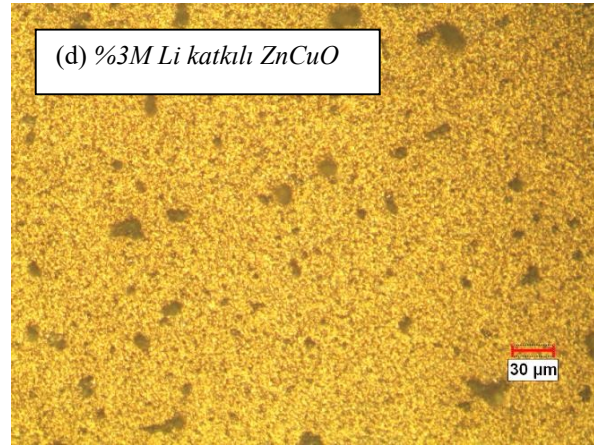
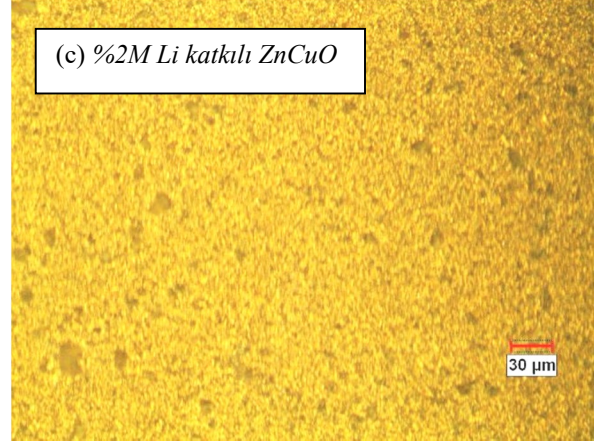
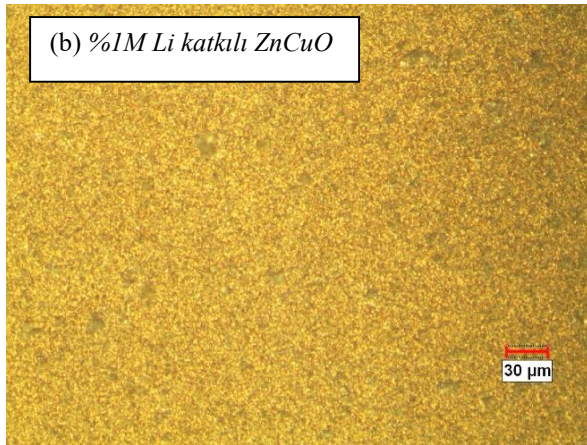
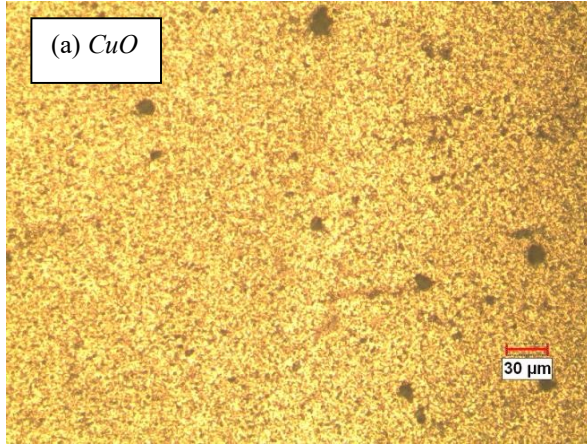
Benzer şekilde CuO ince film üzerine Li-Zn ikili katkılamının etkilerinin araştırılması için Zn oranı %1M değerinde sabit tutularak fakat farklı Li katkı oranlarına (sırasıyla %1M, %2M ve %3M Li) bağlı olarak Li⁺, Zn⁺² ve Cu⁺² çözeltileri hazırlandı ve yukarıdaki zaman ve döngü değerlerinde filmler büyütüldü.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Metalurjik Mikroskop (MM) Görüntüleri (Metallurgical Microscope Images)

Katkısız CuO ve sırasıyla %1M, %2M ve %3M oranlarında Li katkılı Li-ZnCuO ince filmlerin MM görüntüleri Şekil 1(a-d)'de verilmektedir. Katkısız CuO filminin Şekil 1(a)'daki mikroskop görüntüsünde karanlık ve çukur bölgelerin çok az olduğu

görülmektedir. Buradan filmin yüzey homojenliğinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. ZnCuO filme %1M oranında Li katkılanması ile çukur bölgelerin azaldığı ve filmin daha pürüzsüz bir duruma geldiği Şekil 1(b)'de görülmektedir. %2M oranında Li katkılanması ile filmin homojenliği bozulmaya ve yüzey pürüzlülüğü artmaya başlamaktadır. ZnCuO filme özellikle %3M oranında Li katkılanması ile yüzey pürüzlülüğünün daha çok arttığı, filmin homojen ve tekdüzelikliğin daha da kaybolmaya başladığı gözlenmektedir. %2M ve üzerindeki Li konsantrasyonuna bağlı olarak yüzey homojenliği bozulmuştur ve yüzeydeki gözenekler artmıştır. Bu durum Şekil 1(c,d)'de gösterilmektedir. Buradan %1M oranında Li katkılamanın filmlerin yüzey pürüzlülüğünü azalttığı ve bu değerden daha yüksek oranlarda Li katkılanması ile pürüzlülüğün tekrar artmaya başladığı anlaşılmaktadır. Böylece Li katkısının bir fonksiyonu olarak Zn-Li ikili katkısının nanoyapılı CuO ince filmlerin yüzey morfolojisi üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir



Şekil 1. (a) Katkısız CuO, (b) %1M, (c) %2M ve (d) %3M Li katkılı ZnCuO ince filmlerin MM görüntüleri (MM images of (a) Undoped CuO (b) 1%M (c) 2%M and (d) 3%M Li doped ZnCuO thin films)

3.2. X-Işını Kırınımı (XRD) analizi (X-Ray Diffraction Analysis)

Katkısız CuO ve %1M, %2M ve %3M Li katkılı Li-ZnCuO ince filmlerin yapısal özellikleri X-ışını kırınımı (XRD) ölçümleri ile incelenmiştir. Şekil 2 (a)'da bu filmlerin XRD kırınım desenleri verilmiştir. Katkısız CuO ve Li-ZnCuO filmler için tercihli yönelimin $[\bar{1}11]$ ve $[111]$ yönünde olduğu Şekil 2(a)'dan anlaşılmaktadır. Katkısız CuO $(\bar{1}11)$ ve (111) düzlemlerindeki pik şiddetleri Li katkılama oranlarına bağlı olarak artmakta ve %3M Li katkılama oranda ise azalma göstermektedir. Buradan da görüldüğü üzere yüksek oranlı katkılama filmlerin yapısal özellikleri ile ilgili güzel sonuçlar veremeyebilmektedir. Benzer sonuçlar Şahin ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmalarda da görülmüştür [27].

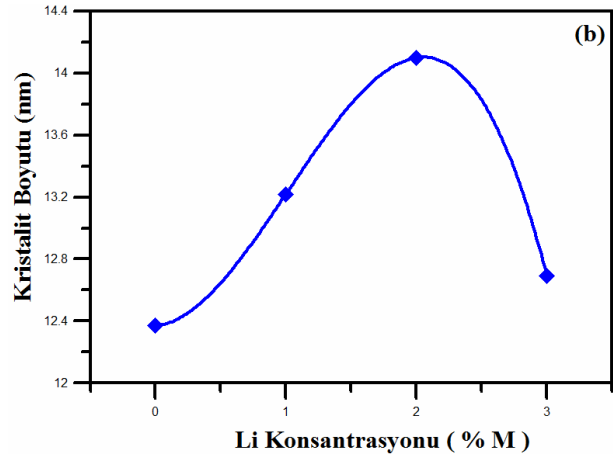
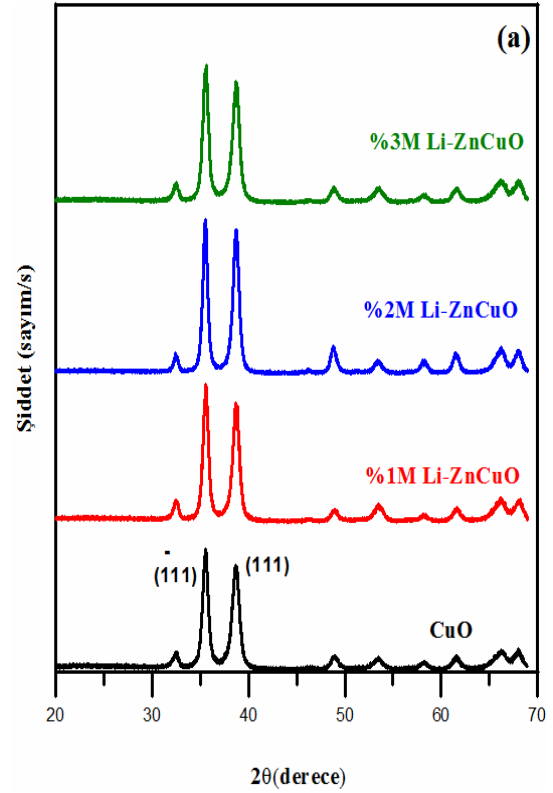
Tablo 1. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li katkılı Li-ZnCuO ince filmlerin pik şiddeti, kristalit boyutu, pik yarı yükseklik genişlik (FWHM) ve optik bant aralığı değerleri (Peak intensity, crystallite size, full width at half maximum intensity (FWHM) and optic bandgap values of undoped CuO and different concentrations of Li-doped Li-ZnCuO films)

Numune	Pik Şiddeti (111) (cps)	Kristalit boyutu (nm)	Pik yarı yükseklik genişliği	Optik bant aralığı (eV)
CuO	6662	12.37	0.704	1.44
%1M Li-ZnCuO	7679	13.22	0.659	1.41
%2M Li-ZnCuO	8789	14.10	0.618	1.38
%3M Li-ZnCuO	7822	12.69	0.686	1.34

Nanoyapılı filmlerin ortalama kristalit boyutu (D), Scherer bağıntısı kullanılarak pik yarı yükseklik genişliği (FWHM) değerinden hesaplanmaktadır. Scherer bağıntısı [3]

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

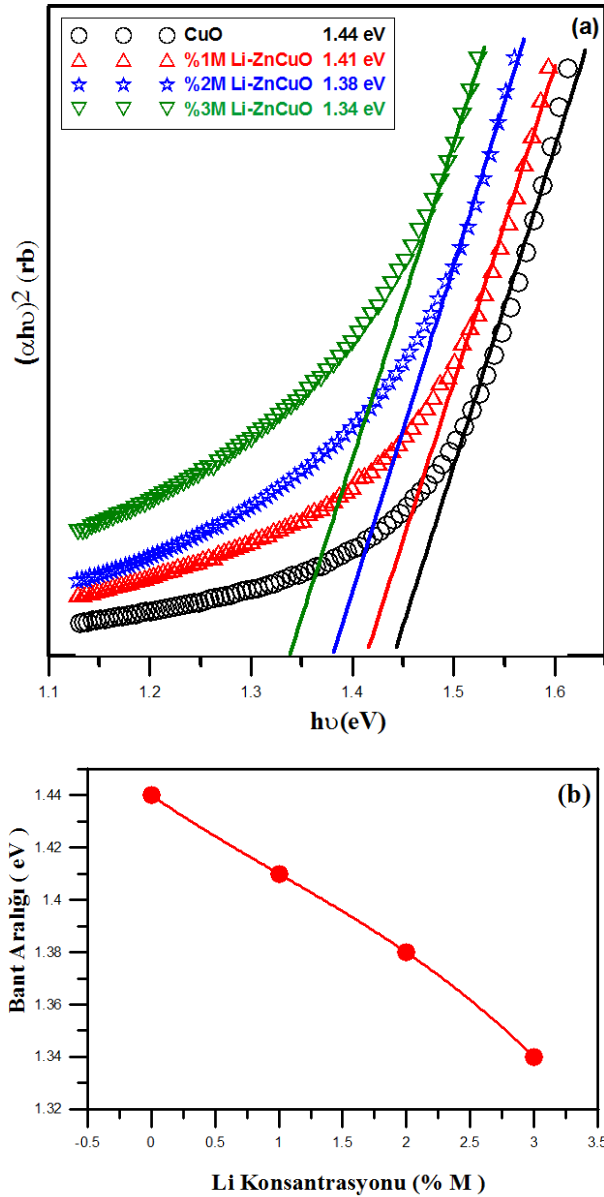
ile verilir. Burada λ X-ışınının dalga boyu, β pik yarı yükseklik genişliği ve θ Bragg açısıdır. Bu bağıntı yardımıyla hesaplanan kristalit boyutu, pik yarı yükseklik genişliği ve pik şiddeti değerleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. (a) Katkısız CuO ve %1M, %2M ve %3M Li katkılı Li-ZnCuO ince filmlerin XRD desenleri ve (b) artan Li konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak kristalit boyutu ((a) XRD patterns of undoped CuO and 1%M, 2%M and 3%M Li doped Li-ZnCuO thin films (b) crystallite size as a function of increasing Li concentration)

Şekil 2(b)’de Li katkı konsantrasyonlarına bağlı olarak kristalit boyutundaki değişim görülmektedir. Kristalit boyutu değerleri, Li katkı oranlarına bağlı değişim göstermektedir. Pik yarı yükseklik genişliği sırasıyla %1M ve %2M Li katkı oranlarında azalırken Denk.(1)’e göre kristalit boyutu artmaktadır (sırasıyla 13.22 nm ve 14.10 nm). Ancak %3M Li katkı değerinde ise pik yarı yükseklik genişliği artmakta, dolayısıyla kristalit boyutu azalarak 12.69nm değerine düşmektedir.

3.3. Optik Özellikler (Optical Properties)



Şekil 3. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li katkılı Li-ZnCuO filmlerin (a) $(\alpha hv)^2$ nin foton enerjisi $(h\nu)$ ye karşı çizimleri ve (b) bant aralığı değerleri ((a) $(\alpha hv)^2$ vs. photon energy $(h\nu)$ plots and (b) bandgap values of undoped CuO and different concentrations of Li-doped Li-ZnCuO films)

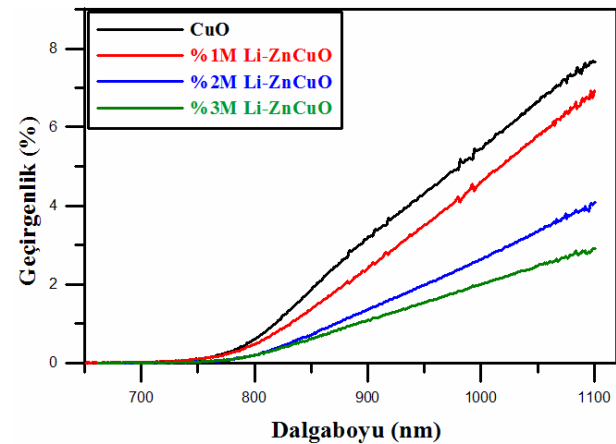
Nanoyapılı CuO ince filmlerin optik bant aralık enerji değerleri E_g ,

$$\alpha hv = C(hv - E_g)^m \quad (2)$$

Tauc denklemini [25] kullanılarak hesaplandı. Burada α optik soğurma katsayısı, $h\nu$ gelen foton enerjisi olup, C ise bağımsız bir sabittir. m doğrudan (direkt) izinli geçişler için $\frac{1}{2}$ dir ve CuO filmler direkt izinli yarıiletken

malzemeler olarak bilinmektedir. Buradan yola çıkarak Şekil 3(a)'da katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li katkılı Li-ZnCuO filmlerin $(\alpha hv)^2$ nin foton enerjisi $(h\nu)$ ye bağlı değişim grafikleri verilmektedir. Filmlerin Li katkılmasına (%1M, %2M, %3M) bağlı olarak hesaplanan E_g değerleri yaklaşık olarak sırasıyla 1.44, 1.41, 1.38 ve 1.34 eV olarak bulunmuştur ve Tablo 1'de listelenmiştir. Li konsantrasyonlarına bağlı olarak Li-ZnCuO filmlerin bant aralığı Şekil 3(b)'de gösterilmektedir. Şekil 3(b)'den artan Li konsantrasyonuna bağlı olarak filmlerin bant aralığı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Optik bant aralığı enerji değerlerindeki bu değişiklik artan oranlarda Li katkılama ile Li-ZnCuO filmlerin kristal yapılarındaki değişimin bir sonucudur. Zira nano yapıda değişen boyut doğrudan optik özellikleri etkilemektedir. Düşük boyutlarda ortaya çıkan kuantum sınırlama etkisi enerji seviyelerinde yarılmalara ve ayrışmalara yol açar. Bunun sonucu olarak da değişen boyut farklı bant aralığı değerlerini ortaya çıkarmıştır [3,25].

Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li katkılı Li-ZnCuO filmlerin 600-1100nm dalga boyları aralığındaki optik geçirgenlik eğrileri Şekil 4'de gösterilmektedir. Katkısız CuO film yüksek dalgaboylarında en yüksek geçirgenliğe sahiptir (%8). Artan Li konsantrasyonlarına bağlı olarak Li-ZnCuO filmlerin geçirgenliği azalmıştır (sırasıyla %7, %4, %3).



Şekil 4. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Li katkılı Li-ZnCuO filmlerin optik geçirgenlik spektrumları (The optical transmittance spectra of undoped CuO and different concentrations of Li-doped Li-ZnCuO films)

Bu sonuç Tablo 1'deki bant aralığı değerleri ile örtüşmektedir. Çünkü geçirgenlik absorpsiyon ile ters orantılıdır. Artan Li katkılama oranları ile Li-ZnCuO filmlerin E_g değerleri absorpsiyonun bir sonucu olarak azalırken geçirgenlik değerlerindeki azalması beklenen bir durumdur.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Nanoyapılı katkısız ve %1M sabit Zn katkısı ile birlikte sırasıyla %1M, %2M ve %3M Li katkılı 3 adet Li-Zn ikili katkılı CuO film basit ve ucuz bir yöntem olan SILAR yöntemi ile başarılı bir şekilde üretildi. Sentezlenen numunelerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerine ikili katkılamanın ve Li katkılama konsantrasyonunun etkisi MM, XRD ve UV-Vis. Spektroskopisi ile incelendi. XRD analizleri katkısız CuO ve Li-ZnCuO filmler için tercihli yönelimin $[111]$ ve $[111]$ yönlerinde olduğunu göstermektedir. (111) ve (111) düzlemlerindeki pik şiddetleri ve kristalit boyutları artan Li katkılama oranları ile artmakta ve %3M Li katkılama oranında ise azalma göstermektedir. Buradan %3M ve üzerindeki yüksek oranlı Li katkılamlarında filmin homojenliğinin bozulduğu anlaşılmaktadır. Benzer sonuçları, MM ölçümleri de göstermektedir. UV-Vis. sonuçlarından ise Li katkı oranının artmasıyla filmlerin E_g değeri ve geçirgenlik oranlarının azaldığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] V. Ramya, K. Neyvasagam, R. Chandramohan, S. Valanarasu ve A. Milton Franklin Benia, «Studies on chemical bath deposited CuO thin films for solar cells application,» *J Mater Sci: Mater Electron*, cilt 26, p. 8489–8496, 2015.
- [2] A. Watanabe, H. Chiba, T. Kawashima ve K. Washio, «Study on Solid-Phase Crystallization of Amorphized Vanadium-Doped ZnO Thin Films,» *Journal of Electronic Materials*, cilt 45, no. 4, pp. 2008-2012, 2016.
- [3] B. Sahin, F. Bayansal ve M. Yüksel, «A novel approach to enhancement of surface properties of CdO films by using surfactant: dextrin,» *Philosophical Magazine*, cilt 95, no. 4, pp. 3888-3895, 2015.
- [4] A. Alami, A. Allagui ve H. Alawadhi, «Microstructural and optical studies of CuO thin films prepared by chemical ageing of copper substrate in alkaline ammonia solution,» *Journal of Alloys and Compounds*, cilt 617, pp. 542-546, 2014.
- [5] A. Uzunoglu ve L. A. Stanciu, «Novel CeO₂-CuO-decorated enzymatic lactate biosensors operating in low oxygen environments,» *Analytica Chimica Acta*, cilt 909, pp. 121-128, 2016.
- [6] B. Behera ve S. Chandra, «An innovative gas sensor incorporating ZnO–CuO nanoflakes in planar MEMS technology,» *Sensors and Actuators B*, cilt 229, p. 414–424, 2016.
- [7] H. Siddiqui, M. Qureshi ve F. Haque, «Valuation of copper oxide (CuO) nanoflakes for its suitability as an absorbing material in solar cells fabrication,» *Optik*, cilt 127, p. 3713–3717, 2016.
- [8] X. Chen, Y. Huang, X. Zhang, C. Li, J. Chen ve K. Wang, «Graphene supported ZnO/CuO flowers composites as anode materials for lithium ion batteries,» *Materials Letters*, cilt 152, p. 181–184, 2015.
- [9] B. Wang, Q. Sun, S. Liu ve Y. Li, «Synergetic catalysis of CuO and graphene additives on TiO₂ for photocatalytic water splitting,» *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 38, pp. 7232 - 7240, 2013.
- [10] T. Koh, E. O'Hara ve M. Gordon, «Growth of nanostructured CuO thin films via microplasma-assisted, reactive chemical vapor deposition at high pressures,» *Journal of Crystal Growth*, cilt 363, p. 69–75, 2013.
- [11] T. Terasako, T. Murakami, A. Hyodou ve S. Shirakata, «Structural and electrical properties of CuO films and n-ZnO/p-CuO heterojunctions prepared by chemical bath deposition based technique,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, cilt 132, p. 74–79, 2015.
- [12] C. Jin, H. Kim, S. An ve C. Lee, «Highly sensitive H₂S gas sensors based on CuO-coated ZnSnO₃ nanorods synthesized by thermal evaporation,» *Ceramics International*, cilt 38, p. 5973–5978, 2012.
- [13] L. Guo, M. Zhao, D.-M. Zhuang, M. Cao, L. Ouyang, X. Li, R. Sun ve Z. Gao, «Influences of CuO phase on electrical and optical performance of Cu₂O films prepared by middle frequency magnetron sputtering,» *Applied Surface Science*, cilt 359, p. 36–40, 2015.
- [14] J. Wu, K. S. Hui, K. N. Hu, L. Li, H.-H. Chun ve Y. R. Cho, «Characterization of Sn-doped CuO thin films prepared by a sol–gel method,» *J Mater Sci: Mater Electron*, cilt 27, p. 1719–1724, 2016.
- [15] S. Ashokan, V. Ponnuswamy ve P. Jayamurugan, «Fabrication and characterization PANI/CuO hybrid films by nebulizer spray pyrolysis technique for diode applications,» *Optik*, cilt 126, p. 2591–2595, 2015.
- [16] A. Chen, H. Long, X. Li, Y. Li, G. Yang ve P. Lu, «Controlled growth and characteristics of single-phase Cu₂O and CuO films by pulsed laser deposition,» *Vacuum*, cilt 83, p. 927–930, 2009.
- [17] P. Mitra, «Preparation of Copper Oxide thin Films by SILAR and their Characterization,» *Journal of Physical Sciences*, no. 14, pp. 235-240, 2010.

- [18] A. Astam, Y. Akaltun ve M. Yıldırım, «Conversion of SILAR deposited Cu₃Se₂ thin films to Cu_{2-x}Se by annealing,» *Materials Letters*, cilt 166, p. 9–11, 2016.
- [19] V. Kumbhar, A. Lokhande, N. Gaikwad ve C. Lokhande, «Synthesis of samarium telluride thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method for supercapacitor application,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, cilt 46, p. 29–34, 2016.
- [20] M. A. Yıldırım, S. Yıldırım, İ. Cavanmirza ve A. Ates, «Chemically synthesis and characterization of MnS thin films by SILAR method,» *Chemical Physics Letters*, cilt 647, p. 73–78, 2016.
- [21] K. Sankarasubramanian, P. Soundarrajan, K. Sethuraman ve K. Ramamurthi, «Chemical spray pyrolysis deposition of transparent and conducting Fe doped CdO thin films for ethanol sensor,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, cilt 40, p. 879–884, 2015.
- [22] M. Thambidurai, N. Muthukumarasamy, A. Ranjitha ve D. Velauthapillai, «Structural and optical properties of Ga-doped CdO nanocrystalline thin films,» *Superlattices and Microstructures*, cilt 86, p. 559–563, 2015.
- [23] Z. Pan, X. Tian, G. Hu, C. Xiao, Z. Wei, S. Wu, Z. Li ve J. Deng, «Investigation of optical and electronic properties in Al–Sn co-doped ZnO thin films,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, cilt 16, p. 587–592, 2013.
- [24] R. Gupta, Z. Serbetçi ve F. Yakuphanoglu, «Bandgap variation in size controlled nanostructured Li–Ni co-doped CdO thin films,» *Journal of Alloys and Compounds*, cilt 515, p. 96–100, 2012.
- [25] B. Sahin ve F. Bayansal, «Facile synthesis of group-I elements (K, Li and Na)-doped nanostructured CdO films,» *Philosophical Magazine*, cilt 94, no. 36, pp. 4171–4180, 2014.
- [26] K. Usharani ve A. Balu, «Structural, Optical, and Electrical Properties of Zn-Doped CdO Thin Films Fabricated by a Simplified Spray Pyrolysis Technique,» *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, cilt 28, no. 1, p. 64–71, 2015.
- [27] B. Sahin, M. Alomari ve T. Kaya, «Hydration detection through use of artificial sweat in doped- and partially- doped nanostructured CuO films,» *Ceramics International*, cilt 41, p. 8002–8007, 2015.