

Çözelti Konsantrasyonu ve Kalınlığın SILAR Tekniği ile Büyütülen CuO İnce Filmi Üzerine Etkisi

Tuba ÇAYIR TAŞDEMİRÇİ^{1*}

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği

Geliş / Received: 03/10/2019, Kabul / Accepted: 13/03/2020

Öz

SILAR tekniği ile ince film büyütmek diğer kimyasal tekniklerle mukayese edildiğinde; daha çekici, daha ucuz, daha basit ve az zaman harcanmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Bu tekniğin en önemli avantajı, büyüme boyunca zaman, kalınlık, daldırma sayısı, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve çözelti pH'sı gibi bazı parametrelerin kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Bu çalışmada çözelti konsantrasyonu ele alınarak CuO ince filmleri farklı çözelti konsantrasyonlarında ve farklı daldırma sayılarında SILAR tekniği kullanılarak cam yüzey üzerine büyütülmüştür. Elde edilen CuO ince filmlerin yapısal ve optiksel özelliklerinde çözelti konsantrasyonu ve daldırma sayısına göre meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Yapısal analizler için X-Işını difraksiyon (XRD), Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji dağılımlı X-Işını spektrometresi (EDAX), optiksel analizler için UV-Vis spektrometresi kullanılmıştır. XRD verileri filmlerin nano boyutta kristalize olduklarını ve kristallenme kalitesinin çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini açığa çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: CuO, İnce film, XRD, SEM, SILAR.

The Effect of Solution Concentration and Thickness on the CuO Thin Film Grown with SILAR Technique

Abstract

When thin film growth with SILAR technique is compared with other chemical techniques; more attractive, cheaper, simpler and less time consuming is preferred. The most important advantage of this technique is that some parameters such as time, thickness, number of immersion, solution concentration, temperature and pH of solution can be easily controlled during growth. In this study, the solution concentration was taken into consideration and CuO thin films were grown on the glass surface by using SILAR technique at different solution concentrations and different numbers of immersion. The structural and optical properties of the obtained CuO thin films were investigated according to the solution concentration and the number of immersion. X-Ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDAX) were used for structural analysis and UV-vis spectrometer for optical analysis. The XRD data revealed that the films were crystallized in nano-size and that the quality of the crystallisation varied depending on the concentration of the solution.

Keywords: CuO, Thin Film, XRD, SEM, SILAR.

1. Giriş

Metal oksit ince filmler elektronik, manyetizma, optik, güneş enerjisi korunumu, piller, fotovoltaik malzemeler, gaz sensörleri gibi geniş uygulama alanları ile teknolojik ve

bilimsel araştırmalarda oldukça önemli hale gelmiştir. Son zamanlarda, bu alandaki araştırmalar, metal oksit ince filmlerin kullanım alanının ne kadar geniş olduğunu ortaya koymuştur. Bu metal oksit malzemeleri çinko oksit (ZnO) Özgür vd. (2005),

*Sorumlu Yazar: tcayir@erzincan.edu.tr

kadmium oksit (CdO) Chandiramouli ve Jeyaprakash (2013), kalay oksit (SnO₂) Presley vd. (2004), titanyum dioksit (TiO₂) Tanemura vd. (2005), nikel oksit (NiO) Akaltun ve Çayır (2015), Çayır Taşdemirci (2019), galyum oksit (Ga₂O₃) Zatsepin vd. (2018), tungsten oksit (WO₃) Gogova vd. (2000) ve bakır oksit (CuO) olarak sıralayabiliriz. Bu metal oksit ince filmler arasında CuO ince filmler, optik, yarı iletken, manyetik, elektronik ve optoelektronik Raghavendra vd. (2018), dahil olmak üzere çok işlevli özelliklerin ilginç bir kombinasyonunu sergilemektedir. CuO ince filmler, gaz sensörleri Baratto vd. (2015), güneş pilleri Diachenko vd. (2018), katalizörler Papurella vd. (2017) ve Li piller Jackson vd. (2014) gibi elektronik cihazların uygulamalarında kullanılmaktadır (Carvalho vd., 2008). CuO, maliyet etkinliği, mükemmel reaktivitesi ve zehirli olmaması nedeniyle etkileyici bir malzemedir (Gençyılmaz ve Taşköprü, 2017). CuO, 1.2 ila 1.8 eV arasında değişen bir optik bant aralığına sahip olan bir monoklinik, p tipi yarı iletkenidir (Sun vd., 2013).

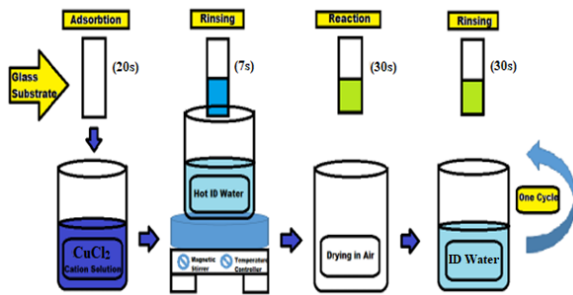
CuO ince filmlerin hazırlanması için çeşitli fiziksel ve kimyasal biriktirme teknikleri vardır. Gözlemlerin bir sonucu olarak, kimyasal biriktirme teknikleri, fiziksel olanlardan daha ekonomik ve uygulanabilir. Ana kimyasal çökeltme teknikleri arasında sol-jel türetilmiş spin kaplama Lin vd. (2010), kimyasal püskürtme Bari vd. (2013),

mikrodalga destekli hidrotermal sentez Qiu vd. (2012), elektrokimyasal biriktirme Dhanasekaran vd. (2012), kimyasal banyo biriktirme (CBD) Dubal vd. (2013) ve ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyonu (SILAR) Çayır Taşdemirci (2019a ve b) gibi teknikler yer almaktadır. Bu kimyasal biriktirme teknikleri arasında, SILAR, kontrollü kalınlıkta ve düşük biriktirme sıcaklığına sahip ince filmlerin uygun şekilde hazırlanması için basit bir çözelti bazlı bir tekniktir. SILAR tekniğinde diğer tekniklerde olduğu gibi bir düzeneğe ihtiyaç duyulmaksızın daha az maliyetlerde yarıiletken ince filmler elde edilebilmektedir. Ayrıca SILAR tekniğinin, amacımıza uygun olması, pratik olması, fazla zaman kaybına sebep olmaması, büyüme boyunca çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve çözelti pH'ı gibi parametrelerin kolaylıkla kontrol edilebilmesi gibi avantajları da mevcuttur. Bu çalışma da CuO ince filmler çözelti konsantrasyonu değiştirilerek ve farklı daldırma sayısı kullanılarak cam yüzey üzerine SILAR tekniği kullanılarak büyütülmüştür. SILAR tekniği ile ince film büyütürken kullanılan parametrelerden tur sayısı ve çözelti konsantrasyonu birlikte ele alınıp CuO ince filmleri büyütülmüştür. Elde edilen ince filmlerin yapısal ve optiksel analizleri XRD, AFM, SEM, EDAX ve UV-Vis spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

SILAR tekniği temel olarak çözeltideki iyonların soğurma, reaksiyonu ve her bir daldırma işlemi sonrasında çözeltideki homojen çökeltmeden kaçınmak için deiyonize veya saf su ile durulama işleminden ibarettir. SILAR tekniğiyle iyi kalitede ince filmler elde etmek için asıl gerekli olan şey, çözeltilerin konsantrasyonu, çözeltilerin pH'ı ve soğurma, reaksiyon ve durulama zamanı gibi hazırlama şartlarını düzenlemektir. CuO ince film kaplamak için 0.1 M ve 0.2 M CuCl₂ çözeltisi kullanılmıştır. Hazırlanan çözeltilerin pH dengesi ayarlanmak üzere yapılan birçok deneme sonrasında çözeltinin hacmine bağlı olarak 10:1 oranında amonyak NH₃ çözeltiye ilave edilmiştir.

İnce film kaplanacak altlık olarak mikroskop cam lameller 10×10×2mm³ boyutunda kesitler alınarak hazırlanmıştır. Cam altlıklar kaplama yapılmadan önce temizleme aşamasından geçmiştir. Önce seyreltik sülfirik asit çözeltisinde daha sonra aseton kullanılarak temizlenmiş, saf sudan geçirilerek kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 1'de SILAR tekniğinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. SILAR tekniğinin şematik gösterimi.

SILAR tekniği dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, CuCl₂ çözeltisine cam altlık daldırılarak 20 saniye boyunca çözelti içinde bekletilir, böylelikle Cu⁺² ve Cl⁻² iyonları cam altlık üzerine tutunurlar. İkinci aşamada, cam altlık 90°C'de kaynayan deiyonize su içerisinde

7 saniye daldırılarak altlık üzerindeki zayıf bağlı olan Cl⁻² iyonları yüzeyden ayrılırlar. Üçüncü aşamada ise havada 30 saniye kurutma işlemine tabii tutulmaktadır. Dördüncü aşamada zayıf bağlı olan O⁻² iyonları yüzeyden ayrılсын diye deiyonize su içerisinde 30 saniye daldırılır. Böylece, bir SILAR döngüsü tamamlanmış olur. Film kalınlıkları her bir CuO ince film için 0.1M ve 0.2M(50tur) sırasıyla 155nm ve 175 nm iken 0.1M ve 0.2M(60tur) 190nm ve 210nm'dir. Tablo 1'de CuO ince filminin meydana gelmesi için kullanılan parametreler verilmiştir.

Tablo. 1. CuO ince filmlerinin oluşum sürecinde kullanılan parametreler

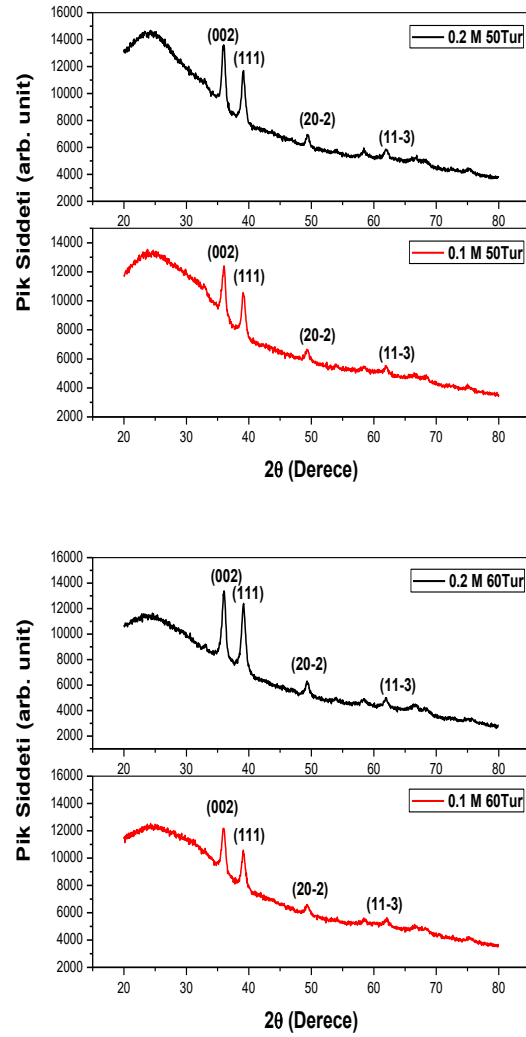
Parametreler	Katyonik Çözelti	Anyonik Çözelti
Çözelti	CuCl ₂ /NH ₃	-
Molarite (M)	0.1/0.2M	-
Daldırma Süresi(s)	20	30
Çalkalama Süresi (s)	7	30
Çözeltinin hacmi (mL)	100	100
SILAR Döngü Sayısı	50/60	50/60

CuO ince filmler cam yüzeyler homojen kaplanana kadar büyütülmüştür. 50 ve 60 SILAR döngüsü yapılarak farklı molaritelerdeki dört ince film elde edilmiştir. Her bir ince film için yapısal ve optiksel analizler yapılmıştır. Yapısal analizler için X-ışını difraksiyon (XRD), Atomik Kuvvet mikroskobu (AFM), Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji dağılımlı X-ışını

(EDAX), optiksel analizler için UV-vis spektrometresi kullanılmıştır. XRD verileri filmlerin nanoboyutta kristalize olduklarını ve kristallenme kalitesinin çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini açığa çıkarmıştır. CuO ince filmlerin analizi için kullanılan XRD, AFM, SEM, EDAX ve UV-vis cihazlarının marka ve modelleri sırasıyla, Rigaku 2200D/Max, X-Işını Difraktometre, Park System marka XE-100-E model, Zeiss Supra 50 VP model SEM, EDAX ve Perkin-Elmer UV/VS Lambda 2S Spektrometredir. Film kalınlığını ölçmek için PHE 102 Elipsometre kullanılmıştır.

3.Bulgular

Şekil 2’de, CuO ince filmlerin molariteye ve tur sayısına bağlı olarak elde edilen XRD sonuçlarını göstermektedir. XRD kırılma pikleri, 2θ açısı 20 ile 80 arasında alınmıştır. CuO ince filmi 2θ açısı 35.97, 39.11, 49.33, 54.0, 58.4, 61.89 ve 66.4’de pik vermektedir. Bu açılardaki piklerin yönelimleri JCPDS-045-0937 göre sırasıyla, 35.97 ve 39.11^o’lerde (0 0 2) ve (1 1 1) olarak elde edilmiştir. CuO ince filmlerin farklı düzlemler boyunca yönelimi ile polikristal yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Öncül molaritenin ve tur sayısının artırılması Şekil 2 (a) ve (c)’de Şekil 2 (b) ve (d)’ye göre kristal yapının iyileşme gösterdiğini ve pik şiddetinin arttığını söyleyebiliriz.



Şekil 2. CuO ince filmlerin 50 tur (0.1 M ve 0.2 M) 60 tur (0.1 M ve 0.2M) döngüsünde XRD paternleri.

CuO ince filmlerinin XRD desen sonuçlarında iki adet baskın pik ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada (0 0 2) ve (1 1 1) yönelimine ait pikler için hesaplamalar yapılmıştır. Pik şiddetinin artış göstermesi, FWHM değerinin azalmasına sebep olmuştur. Bragg yasası farklı molarite ve tur sayılarında büyütülen (0 0 2) yönelimine ait CuO ince filmlerin d değerini elde etmek için kullanılmıştır. Tablo 2, 2θ ve d değerlerini göstermektedir.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

CuO filmlerin ortalama kristalit boyut değerleri (D), Scherrer denklemi kullanılarak hesaplandı,

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

β FWHM'deki tepe noktalarının açısal genişliği (Tam Genişlik Yarı Maksimum), λ , X ışını radyasyonunun dalga boyu ve θ tepe

noktalarının Braggs açısıdır. Tane boyutunu ve dislokasyon yoğunluğunu hesaplamak için FWHM değeri kullanılmıştır. Ek olarak, filmlerdeki kusurların sayısı hakkında daha fazla bilgi edinmek için, dislokasyon yoğunluğu (δ),

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

Formülü kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo2. CuO ince filmlerinin (0 0 2) ve (1 1 1) piki için 2θ ve d değerleri

0.1M(50 tur)		0.2M (50 tur)		0.1M (60 tur)		0.2M (60 tur)	
2θ (deg.)	d (Å)	2θ (deg.)	d (Å)	2θ (deg.)	d (Å)	2θ (deg.)	d (Å)
35.97	2.495	35.92	2.498	35.94	2.496	35.91	2.499
39.21	2.3014	39.20	2.3015	39.11	2.3019	39.08	2.3025

Tablo 3. CuO ince filmlerin (0 0 2) / (1 1 1) piki için FWHM (yarı pik genişliği), D (tane boyutu) ve δ (dislokasyon yoğunluğu) değerleri

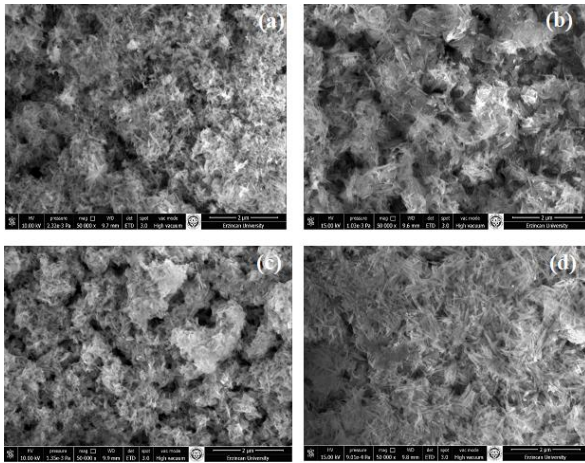
CuO	0.1 M (50tur)	0.2M (50tur)	0.1M (60tur)	0.2M (60tur)
FWHM	0.69/0.75	0.66/0.64	0.58/0.60	0.55/0.58
D (nm)	12.11/11.24	12.65/13.17	14.40/14.05	15.01/14.53
$\delta \times 10^{14}$ (cm ⁻²)	0.68/0.79	0.62/0.58	0.48/0.50	0.44/0.47

Tablo 3, (0 0 2) piki için FWHM değerinin 0,69'dan 0,55'e düştüğünü ve tane boyutu değerinin 12,11 nm'den 15.01 nm'ye arttığını göstermektedir. Tane boyutuna bağlı olarak değişen dislokasyon yoğunluğu değeri 0,68 ×

10¹⁴ cm⁻² 'den 0,44 × 10¹⁴ cm⁻² 'ye düşmüştür. Aynı hesaplamalar (1 1 1) piki için de yapıldığında FWHM değerinin 0.75'den 0.58'ye düştüğünü, tane boyutunun 11.24nm'den 14.53nm'ye arttığını ve

dislokasyon yoğunluğunun $0,79 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 'den $0,47 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 'ye düştüğü elde edilmiştir. Bu kristal yapıdaki kusurların azaldığı anlamına gelir. Çözelti molaritesinin ve tur sayısındaki artışın, kristal yapının iyileşmesine neden olduğunu göstermiştir (Akaltun ve Çayır, (2015), Mageshwari ve Sathyamoorthy, (2013)). XRD desenleri ve hesaplamalar sonucunda bu kaniya varılmıştır.

Şekil 3'de CuO ince filmlerin yüzey özelliklerini incelenerek SEM sonuçları gösterilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılan ölçümlerde CuO ince filmlerin yüzeyde homojen bir şekilde kaplandığı görülmüştür. Öncül molaritenin artışına bağlı olarak elde edilen ince filmlerin yüzeylerinde daha fazla birikmeler meydana geldiği tespit edilmiştir. Yani Şekil 3 (a) ve (c)'de 0.1 M olan çözeltilere göre Şekil 3 (b) ve (d)'de 0.2 M kaplanan ince filmin yüzeyinde CuO ince film yapısının daha homojen ve pürüzlülük oranının daha az olduğu görülmüştür.

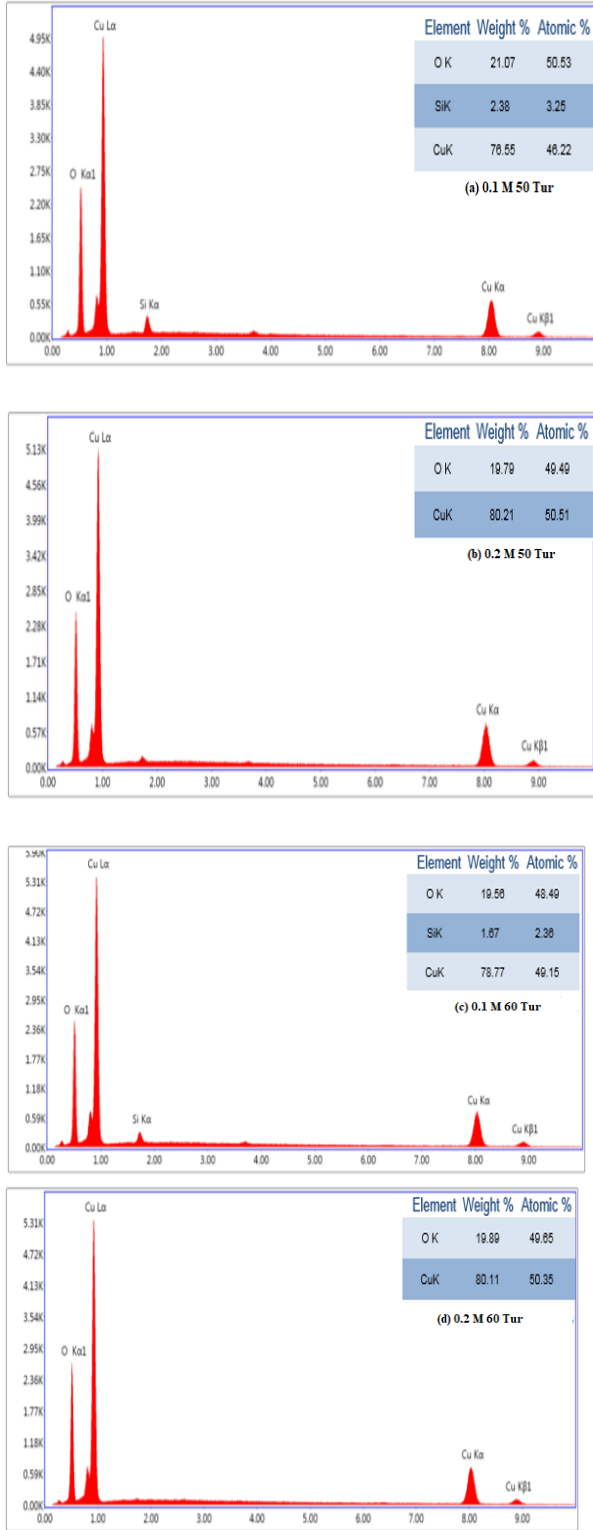


Şekil 3. (a) 0.1 M 50 tur (b) 0.2 M 50 (c) 0.1 M 60 tur (d) 0.2 M 60 tur kaplanan CuO ince filmlerin 50.000 büyütme de SEM görüntüleri.

Ayrıca tur sayısının artışı da yüzey kalınlığının artmasına ve yüzeyde tane

boyutunda artış meydana getirmiş böylelikle kristal yapının iyileştirildiğini söyleyebiliriz. Özellikle, Şekil 3 (d)'de 60 tur büyütülen 0.2 M CuO ince filminin kristal yapısının diğerlerine oranla daha iyi olduğu görülmektedir. SEM analizleri sonucunda tur sayısı ve çözelti konsantrasyonu arttıkça yüzey çiçeksi bir yapıya sahip olmuştur.

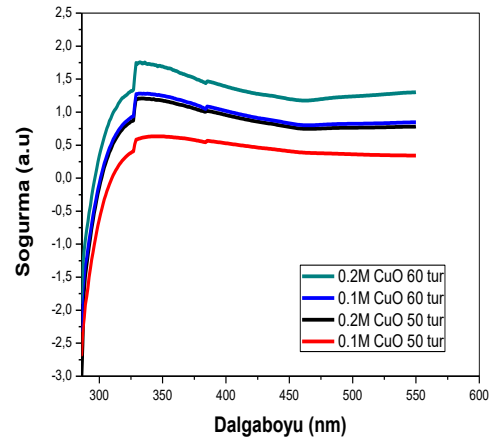
Elde edilen CuO ince filmlerin kimyasal bileşimleri EDAX analizi kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4, cam altlıklar üzerine biriken bakır, oksijen ve diğer elementlerin varlığını ortaya çıkaran CuO ince filmlerinin EDAX spektrumlarını göstermektedir. Filmlerdeki Cu ve O'nun atomik konsantrasyonları EDAX analizi ile elde edilmiştir. Şekil 4 (a)'da 50 tur büyütülen CuO ince filmlerin 0.1 M çözeltilerde kaplanması sonucunda %76,55 Cu elementi, %21,07 O elementinin var olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4 (b)'de aynı tur sayısında büyütülen 0.2 M çözeltilerde kaplanan CuO ince filminde de %80,21 Cu elementi, %19,79 O elementinin olduğu elde edilmiştir. Şekil 4 (c)'de 60 tur büyütülen CuO ince filmlerin 0.1 M çözeltilerde kaplanması sonucunda %78,77 Cu elementi %19,56 O elementi olduğu elde edilmiştir. Şekil 4 (d)'de 0.2 M çözeltilerde kaplanan CuO ince filmlerin %80,11 Cu elementi, %19,89 O elementi olduğu elde edilmiştir. Atomik yüzdeler gözönüne alınarak; 50 tur büyütülen CuO ince filmlerin 0.1M ve 0.2M çözelti konsantrasyonunda Cu/O oranı 0,914 ve 1,020 olarak tespit edilmiştir. 60 tur büyütülen CuO ince filmlerin 0.1M ve 0.2M çözelti konsantrasyonunda Cu/O oranı 1,013 ve 1,014 olarak elde edilmiştir. EDAX analizleri sonucunda CuO ince filmlerin yüzeylerinde Cu/O oranlarının artış gösterdiği tespit edilmiştir (Daoudi vd., (2019)). Bu sonuçlar elde ettiğimiz diğer sonuçları desteklemektedir.



Şekil 4. (a) 0.1 M 50 tur (b) 0.2 M 50 tur (c) 0.1 M 60 tur (d) 0.2 M 60 tur kaplanan CuO ince filmlerin EDAX grafikleri.

Şekil 5’de CuO ince filmlerin optiksel grafiklerini göstermektedir. CuO ince filmlerin optiksel analizi, 300-600 nm aralığında UV-Vis spektrofotometrisi ile

yapılmıştır. Optiksel grafiklerinden elde edilen sonuçlar aynı tur sayısında olan CuO ince filmlerin çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak soğurma spektrumunun da artış göstermektedir. Bu durum 60 tur büyütülen CuO ince filmi içinde aynıdır. Aynı çözelti konsantrasyonunda olan CuO ince filmler tur sayısı arttıkça soğurma spektrumları artmıştır. Yasak enerji aralığı tur sayısı ve çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak 1.25 eV’den 1.43 eV değerine artış göstermiştir. Optik soğurmadaki artış ve döngü sayısı ile iletimdeki azalma, gelişmiş tane büyüklüğüne bağlanabilir (Akaltun vd., (2011)). Tur sayısı ve çözelti konsantrasyonu arttıkça, filmler daha homojen hale gelir ve bant yapısındaki lokalize durumların yoğunluğunu azaltan ve dolayısıyla optik bant boşluğunu azaltan kusur ve düzensizlik sayısını azaltır (Ubale, (2010).

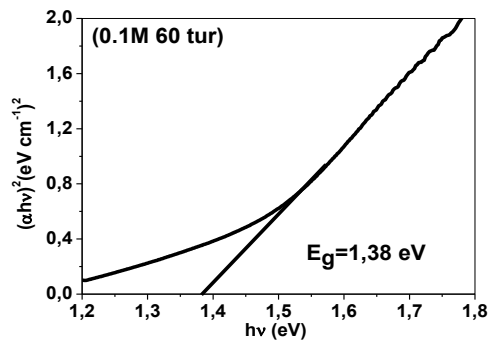
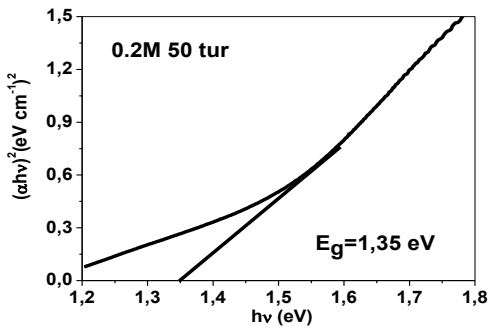
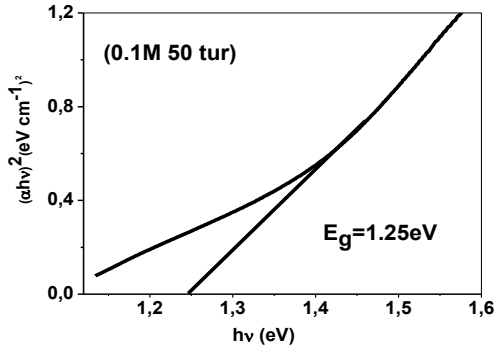
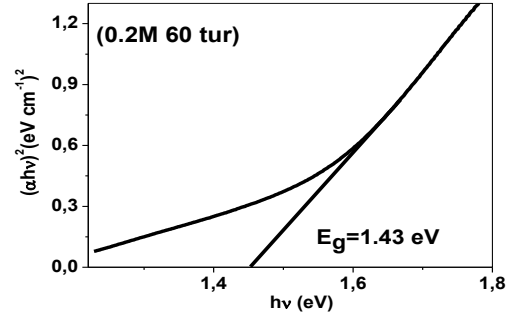


Şekil 5. CuO ince filmlerin 50 (0.1M ve 0.2M) ve 60(0.1M ve 0.2M) tur sayılarında soğurma grafiği.

CuO ince filmlerde optik bant boşluğu ve geçişin doğası, denklemde verilen emilim katsayısı (α) ve foton enerjisi ($h\nu$) arasındaki ilişki kullanılarak belirlenmiştir.

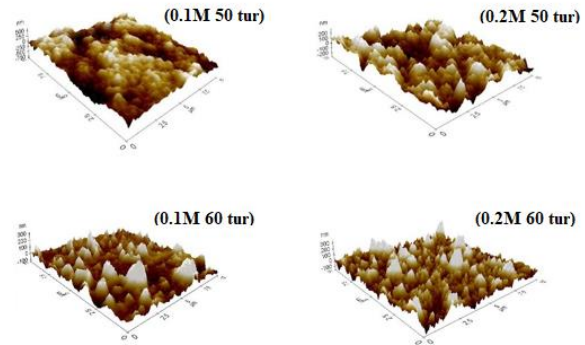
$$\alpha h\nu = C(h\nu - E_g)^m \quad (4)$$

Burada m üstel sabittir, izin verilen doğrudan geçiş için $m = 1/2$, E_g , bant boşluk enerjisi, ν frekanstır, h Planck sabiti, C orantılılık sabiti ve α soğurma katsayısıdır. Şekil 6'da optik bant boşluğunu belirlemek için, " $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ grafiğine karşı" çizilmiştir. Bu grafiğin enerji eksenini üzerindeki kesişmeleri, malzemenin enerji bandı boşluğunu verir.



Şekil 6. CuO ince filmlerin 50 (0.1M ve 0.2M) ve 60 (0.1M ve 0.2M) tur sayıları için $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ya karşı grafiği.

Hazırlanan nano yapıların yüzey morfolojisi ayrıca AFM kullanılarak incelenmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu ile farklı tur sayısı ve çözelti konsantrasyonunda ince filmlerin yüzey topografisi Şekil 7'da gösterilmektedir. Tarama boyutu $1.0 \mu\text{m} \times 1.0 \mu\text{m}$ olarak yapıldı, tüm numuneler için sabit tutuldu. Tur sayısı ve çözelti konsantrasyonundaki değişimin biriken filmlerin yüzey morfolojisini etkilediği gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü tur sayısı ve çözelti konsantrasyonunun artışıyla azalmıştır (Çayır Taşdemirci (2019)). AFM analizi sonucunda, 50 turda 0.1M ve 0.2M büyütülen ince filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri (RMS) sırasıyla 56.21 ve 48.82 iken, 60 tur büyütülen 0.1M ve 0.2M ince filmlerin yüzey pürüzlülük değeri 45.76 ve 38,20 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. CuO ince filmlerin AFM görüntüleri.

3. Sonuç

Bu çalışmada CuO ince filmlerin farklı molaritelerde ve tur sayılarında SILAR tekniği kullanılarak cam yüzey üzerine oda sıcaklığında kaplama işlemi yapılmıştır. Molarite ve tur sayısına göre incelenen CuO ince filmlerin yapısal ve optiksel özellikleri incelenmiştir. İnce film büyütme işlemleri sıcaklığa, kalınlığa vs. gibi parametreler göz önüne alınarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, CuO ince filmde molarite ve tur sayısı arttırarak daha kısa sürede daha homojen ve kristal yapısı daha iyileşmiş filmler elde edebileceğimizi ortaya koymuştur. SILAR tekniğinin CuO ince film büyütme için uygun bir yöntem olduğunu söyleyebiliriz.

4. Kaynaklar

Özgür Ü, Alivov YaI, Liu C, Teke A, Reshchikov MA, Doğan S, Avrutin V, Cho SJ, ve diğerleri. 2005. “A comprehensive review of ZnO materials and devices 2”, *J Appl Phys*, 98, 41301-41403.

Chandiramouli R, Jeyaprakash B G. 2013. “Review of CdO thin films”, *Solid State Sci*, 16, 102-110.

Presley, R. E., Munsee C L, Park C-H, Hong D, Wager J F, Keszler DA. 2004. “Tin oxide transparent thin-film transistors”, *J Phys D Appl Phys*, 37, 2810-2813.

Tanemura, S. Miao L, Wunderlich W, Tanemura M, Mori Y, Toh S, Kaneko K. 2005. “Fabrication and characterization of anatase/rutile-TiO₂ thin films by magnetron sputtering: a review”, *Sci Technol Adv Mater* 6, 11-17.

Akaltun, Y. Çayır, T. 2015. “Fabrication and characterization of NiO thin films prepared by SILAR method”, *J Allys and Compds* 625, 144-148.

Çayır Taşdemirci, T. 2019. “Influence of annealing on properties of SILAR deposited nickel oxide films”, *Vacuum*, 167, 189-194.

Zatsepin D A, Boukhvalov D W, Zatsepin Yu A F, Kuznetsova A, Gogova D, Ya Shur V, Esin A A. 2018. “Atomic structure, electronic states, and optical properties of epitaxially grown β -Ga₂O₃ layers”, *Superlattice Microst*, 120, 90-100.

Gogova D, Gesheva K, Kakanakova-Georgieva A, Surtchev M. 2000. “Investigation of the structure of tungsten oxide films obtained by chemical vapor deposition”, *Eur. Phys. J Appl Phys*, 11, 167-174.

Raghavendra P V, Bhat J S, Deshpande N G. 2018. “Visible light sensitive cupric oxide metal-semiconductor-metal photodetectors”, *Superlattice Microst*, 113,754-760.

Baratto C, Kumar R, Faglia G, Vojisavljević K, Malič B. 2015. “p-type copper aluminum oxide thin films for gas-sensing applications” *Sensor. Actuator. B Chem.*, 209, 287-296.

Papurello R L, Cabello A P, Ulla M A, Neyertz C A, Zamaro J M. 2017. “Microreactor with copper oxide nanostructured films for catalytic gas phase oxidations” *Surf. Coating. Technol.*, 328,231-239.

Diachenko O V, Dobrozhan O A, Opanasyuk A S, Ivashchenko M M, Protasova T O, Kurbatov D I, Čerškus A. 2018. “The influence of optical and recombination losses on the efficiency of thin-film solar cells with a copper oxide absorber layer” *Superlattice. Microst.*, 122, 476-485.

Jackson E D, Mosby J M, Prieto AL 2014. “Evaluation of the electrochemical properties of crystalline copper antimonide thin film anodes for lithium ion batteries produced by single step electrodeposition” *Electrochim. Acta*, 214,253-264.

Carvalho A T, Lima R R, Silva L M, Fachini E, Silva M L P. 2008. “Nanostructured copper

- thin film used for catalysis”, *Sensor Actuator B Chem*, 130, 141-149.
- Gençyılmaz O, Taşkopru T. 2017. “Effect of pH on the synthesis of CuO films by SILAR method”, *J Alloy Comp*, 695, 1205-1212.
- Sun S, Zhang X, Sun Y, Yang S, Song X, Yang Z. 2013. “Hierarchical CuO nanoflowers: water-required synthesis and their application in a nonenzymatic glucose biosensor”, *Phys Chem Phys* 15, 10904-10913.
- Lin M Y, Lee C Y, Shiu S C, Wang I J, Sun J Y, Wu W H, Lin Y H, Huang J S, Lin C F. 2010. “Sol-gel processed CuO_x thin film as an anode interlayer for inverted polymer solar cells”, *Org Electron*, 11, 1828-1834.
- Bari R H, Patil S B, Bari A R. 2013. “Spray-pyrolized nanostructured CuO thin films for H₂S gas sensor”, *Int. Nano Lett*, 3, 1-5.
- Qiu G, Dharmarathna S, Zhang Y, Opembe N, Huang H., Suib S L. 2012. “Facile microwave-assisted hydrothermal synthesis of CuO nanomaterials and their catalytic and electrochemical properties”, *J. Phys. Chem. C*, 116, 468-477.
- Dhanasekaran V, Mahalingam T, Chandramohan R, Rhee J K, Chu J P. 2012. “Electrochemical deposition and characterization of cupric oxide thin films” *Thin Solid Films*, 520, 6608-6613.
- Dubal D P, Gund G S, Holze R, Jadhav H S, Lokhande C D, Park C J. 2013. “Surfactant-assisted morphological tuning of hierarchical CuO thin films for electrochemical supercapacitors”, *Dalton Trans*, 42, 6459-6467.
- Çayır Taşdemirci T. 2019. “Study of the physical properties of CuS thin films grown by SILAR method”, *Opt and Quant Elect.* 51, 245-253.
- Çayır Taşdemirci T. 2019. “Effect of Different Thickness and Solution Concentration on CuS Thin Film Grown By SILAR Method” *Journal of Scientific Perspectives*, 3, 207-214.
- Çomaklı O, Yazıcı M, Kovacı H, Yetim T, Çelik A. 2018. “Tribological and electrochemical properties of TiO₂ films produced on Cp-Ti by sol-gel and SILAR in bio-simulated environment” *Surf. Coating. Technol.*, 352, 513-521.
- Akaltun Y, Yıldırım M Ali, Ates A, Yıldırım M. 2011. “The relationship between refractive index-energy gap and the film thickness effect on the characteristic parameters of CdSe thin films” *Opt. Communications* 284, 2307–2311.
- Ubale A.U. 2010. “Effect of complexing agent on growth process and properties of nanostructured Bi₂S₃ thin films deposited by chemical bath deposition method.” *Mater. Chemistry and Phys.* 121, 555–560.
- Mageshwari K, Sathyamoorthy R. 2013. “Physical properties of nanocrystalline CuO thin films prepared by the SILAR method” *Mater. Sci. Semicond Process*, 16, 337-343.
- Daoudi O, Qachaou Y, Raidou A, Nouneh K, Lharch M, Fahoume M. 2019. “Study of the physical properties of CuO thin films grown by modified SILAR method for solar cells applications” *Superlattice. Microst.*, 127, 93-99.