



Sol-Gel Döndürerek Kaplama Tekniği ile Saydam İletken ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Sinan TEMEL^{1,*}, Murat NEBİ², Derya PEKER²

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, BİLECİK

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ESKİŞEHİR

Öz

Sürekli gelişen optoelektronik teknolojisi alternatif saydam iletken oksit (SİO) malzemeler ihtiyacı duymaktadır. Optik geçirgenliklerinin yüksek olmasından ve iletken olmalarından dolayı SİO malzemelerin birçok uygulama alanı vardır. Çinko oksit (ZnO) ince filmler de, SİO malzemelerin en önemlilerinden biri olup optoelektronik teknolojisinde sıklıkla kullanılır. Bu çalışmada, ZnO ince filmler basit ve düşük maliyetli bir ince film kaplama tekniği olan sol-gel döndürerek kaplama tekniği ile cam taban üzerine üretilmiş ve üretilen ince filmler farklı sıcaklıklarda hava ortamında tavlansmıştır. Döndürerek kaplama tekniğinin parametreleri değiştirilerek üretilen ince filmlerde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin oluşacağı şartlar X-Işını Kırınımı (XRD) ile belirlenmiştir. Ayrıca üretilen filmlerin yüzeysel ve optiksel özellikleri sırasıyla, Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) ve UV-Visible Spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucunda, elde edilen ince filmlerin kristal yapıları ayrıntılı olarak incelenerek deney parametrelerinin ve tavlama sıcaklığının ince filmlerin kristalleşmesine etkisi belirlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/11/2016

Düzeltilme: 28/07/2017

Kabul: 28/07/2017

Anahtar Kelimeler

Sol-Gel
Saydam İletken Oksit
(SİO)
ZnO
İnce Filmler

Keywords

Sol-Gel
Transparent Conductive
Oxides (TCO)
ZnO
Thin Films

Deposition and Characterization of Transparent Conductive Oxide ZnO Thin Films By Sol-Gel Spin Coating Technique

Abstract

Continuously developing optoelectronic technology needs alternative transparent conductive oxide (TCO) materials. TCO materials have many application areas due to their high optical transmittance and being conductive materials. Zinc Oxide (ZnO) thin films are one of the most important members of TCO materials and they are widely used in optoelectronic technology. In this study, ZnO thin films were produced on glass substrate by sol-gel spin coating technique which is a simple and low cost thin film coating technique and produced thin films were annealed at different temperatures in air. By changing parameters of spin coating technique, the conditions of the best film that produced were determined X-Ray Diffraction (XRD). Also the surface and optical properties of the films were characterized by using Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) and UV-Visible Spectroscopy respectively. As a result of these studies, by examining the crystal structures of the obtained thin films in detail, the effects of the experimental parameters and the annealing temperature on the crystallization of the thin films were determined.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

SİO malzemeler, sahip oldukları yüksek optik geçirgenlik ve iletkenlik özellikleri sebebiyle birçok alanda uygulama bulmaktadırlar. SİO ince filmler; düz ekran göstergelerde, diz üstü bilgisayarların ekranlarında [1], gaz sensörlerinde [2], güneş pillerinde [3], fırın pencerelerinde ve kışın soğuğa yazın sıcağa karşı koruyan pencerelerde [4] yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek elektriksel iletkenlik ve optik geçirgenlik birçok uygulamada hayati önem taşımakla beraber, çevresel etkenlere karşı dayanıklılık, düşük maliyet ve elektronik devre elemanı olarak uygunluğu da saydam iletken oksit malzemenin kullanışlı olmasını belirleyen etmenlerdir [5].

Çinko oksit (ZnO) de SiO malzemeler içerisinde çok popüler bir malzemedir. Zn'nin doğada bol bulunabilir ve zehirsiz bir element olması, ZnO'nun SiO malzeme olarak kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır [6]. ZnO, çinkonun periyodik tablonun II. grubunda, oksijenin VI. grubunda yer alması yüzünden II-VI grubu yarıiletken bileşikleridir. ZnO, wurtzite (hekzagonal), kübik ZnS ve nadiren gözlemlenen kübik NaCl yapıda bulunabilir. Bu yapılar içerisinde, yarıiletken ince filmler için en genel rastlanan ZnO yapısı wurtzite kristal yapısıdır [7].

ZnO direkt bant yapılıdır ve oldukça geniş yasak enerji aralığı değerine (~3,3 eV) sahip bir yarıiletkendir [8]. Geniş bant aralığından dolayı elektromanyetik dalga spektrumunun mavi ve morötesi bölgesinde LED yapımı için uygun malzeme olarak kabul edilmektedir. ZnO yarıiletkeninin fotoelektrik, piezoelektrik ve termoelektrik özellikleri oldukça iyidir ve bu özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılır. Bu uygulamalar; gaz sensörleri, ince film transistörler, fotoelektrik cihazlar, optoelektronik cihazlar, güneş hücreleri, UV dedektörler, piezoelektrik güç çeviriciler, yüzey akustik devreleri, termoelektrik aygıtlar, pH sensörleri, biosensörler gibi uygulamalardır [9]. Bu çalışmada da, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Sol-Gel Döndürerek Kaplama yöntemi ile saydam iletken ZnO ince filmlerin üretilmesi ve çeşitli uygulamalarda saydam iletken oksit malzeme olarak kullanılabilmesinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

ZnO ince filmler; RF Magnetron Saçtırma [10], pulslu lazer depolama [11], ultrasonik sprey püskürtme [12], elektron demetli buharlaştırma [13] ve sol-gel [14,15] gibi birçok teknikte üretilmektedir. Bu çalışmada da ZnO ince filmler basit ve düşük maliyetli bir ince film kaplama tekniği olan sol-gel döndürerek kaplama tekniği ile üretilmiştir.

Sol-Gel döndürerek kaplama yöntemi, elde edilecek filmler için hazırlanan çözeltilerin bir taban üzerine aktarıldıktan sonra bu tabanı çeşitli hızlarda ve sürelerde döndürerek çözeltinin bu taban üzerine yayılması ile film oluşturmaktır. Döndürerek kaplama yönteminde; film kalınlığı, dönüş hızı, dönüş zamanı, kaplama sayısı, çözelti hacmi ve tavlama sıcaklığı gibi parametreler değiştirilerek üretilmek istenen filmler kolayca çeşitlendirilebilir [16]. Bu yöntem düşük maliyetli ve hızlı üretimlere olanak sağladığı için yaygın olarak tercih edilmektedir [17].

Filmleri kaplamak için alttaş olarak mikroskop camı kullanılmıştır. Mikroskop camları yaklaşık 10mmx10mm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen camlar temizlenerek üzerine film kaplamaya uygun hale getirilmiştir. ZnO çözeltisinin hazırlanması için Zn(CH₃COO)₂.2H₂O (çinko asetat dihidrat), çözücü olarak 2-metoksietanol ve stabilizör olarak monoetanolamin (MEA) kullanılmıştır. ZnO çözeltisi 0,5 M olarak hazırlanmıştır. Çözelti hazırlanırken önce çözeltinin hazırlanacağı kaba 2-metoksietanol konulmuştur. İçerisine çinko asetat dihidrat ilave edilmiştir. 10 dk. 70°C'de karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltiye monoetanolamin (MEA) damla damla eklenmiştir. 150 dk. 70°C'de karıştırılmış ve son olarak hazırlanan çözelti iki gün bekletilmiştir.

İnce filmlerden en iyi sonucu elde edebilmek için damlatma çözeltisi, döndürme süresi, döndürme hızı, kaplama katman sayısı ve tavlama sıcaklıkları parametreleri değiştirilerek kaplamalar yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda; damlatma çözeltisi miktarının 15 µl, döndürme süresinin de 30 s olması kararlaştırılmıştır. Döndürme hızları 1000, 2000 ve 3000 rpm (round per minute-dakikadaki devir sayısı) olarak belirlenen ince filmlerin 3 kat, 6 kat ve 9 kat olarak kaplanması ve hava ortamında 400°C, 500°C ve 600°C'de tavlama karar verilmiştir. Kaplama parametreleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Bu parametreler kullanılarak 27 adet ince film üretilmiştir. XRD yöntemi ile her bir filmin kristal yapısı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen ince filmlere ait x-ışını kırınım desenlerinden, filmlerin kristalleşmeleri hakkında bilgi elde edilebilir. Numuneye ait kristal düzlemleri, bu düzlemlerin pik şiddetleri ve yarı pik genişlikleri (FWHM) kristalleşme hakkında bilgiler verir. Düzleme ait pik şiddetinin büyük ve yarı pik genişliğinin küçük olması kristalleşmenin iyi olduğunu gösterir [18].

Tablo 1. İnce filmlerin kaplama parametreleri.

Damlatma çözeltisi (μl)	Döndürme Süresi (s)	Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Seri
15	30	1000	3-6-9	400	A
		1000	3-6-9	500	B
		1000	3-6-9	600	C
		2000	3-6-9	400	D
		2000	3-6-9	500	E
		2000	3-6-9	600	F
		3000	3-6-9	400	G
		3000	3-6-9	500	H
		3000	3-6-9	600	I

Kristalleşme seviyesine ait diğer bir parametre de ortalama tane boyutudur (D) ve Scherrer Formülü ile hesaplanır;

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta_B} \quad 2.1$$

Burada λ ; x-ışınlarının dalga boyu, β ; radyan cinsinden yarı pik genişliğidir. Tane boyutu değerlerinin artması, tane sınırlarının azalması anlamına gelir. Bu yüzden tane boyutu arttıkça kristalleşme iyileşir [18].

Kristal yapıdaki çizgisel kusurlara dislokasyon denir. Bir malzemenin belli bir kısmında bulunan dislokasyonların miktarı, dislokasyon yoğunluğu ifadesiyle tanımlanır.

$$\delta = n \frac{1}{D^2} \quad 2.2$$

Dislokasyon yoğunluğu (δ) kristalin birim hacmindeki dislokasyon çizgilerinin uzunluğunu temsil eder. Küçük değerleri numunenin kristalleşme seviyesinin iyi olduğu anlamına gelir [19]. Ayrıca numuneye ait x-ışını kırınım deseninden tercihli yönelim olup olmadığını tespit ederek de kristalleşme hakkında bilgiler elde edilebilir. Numunenin tercihli yönelimi yapılanma katsayısı (texture coefficient) formülden hesaplanır [20];

$$TC(h_i k_i l_i) = \frac{I(h_i k_i l_i)}{I_0(h_i k_i l_i)} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I(h_i k_i l_i)}{I_0(h_i k_i l_i)} \right]^{-1} \quad 2.3$$

Burada $I_0(hkl)$ düzleminin standart şiddetini, $I(hkl)$ ise aynı düzlemin gözlenen şiddetini, n ise kırınım deseni üzerindeki piklerin toplam sayısını ifade eder. Yapılanma katsayısı eğer 1'den büyük ise o düzlemin tercihli yönelime sahip olduğu söylenir [21].

Bu parametrelere göre en iyi kristalleşmeyi gösteren film belirlenmiştir. Daha sonra bu belirlenen filmin, FESEM ile yüzey özellikleri incelenmiş ayrıca UV-Visible Spektroskopisi kullanılarak absorpsiyon spektrumu ve ışık geçirgenliği ölçümleri yapılarak yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. Elde edilen filmlerin yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için $(ah\nu)^2$ nin $h\nu$ 'ye göre değişim grafikleri çizdirilir. Bu grafiklerin lineer kısımlarının doğrultusunun $h\nu$ eksenini, $(ah\nu)^2 = 0$ da kestiği noktanın enerji değerleri, filmlerin yasak enerji aralıkları olarak belirlenir. Bu metot Tauc Metodu olarak bilinir [22].

3. DENEYSSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Kaplanan ince filmlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi için PANALYTICAL Empyrean X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı kullanılmıştır. Cihazın çalışma şartları olarak 45 kV voltaj ve 40 mA akım uygulanmıştır. Tarama hızı 2 der./dak. seçilmiş, dalgaboyu 1,5406 Å olan CuK_{α} ışını kullanılmış ve numuneler $30^{\circ} \leq 2\theta \leq 80^{\circ}$ sınır değerlerinde incelenmiştir.

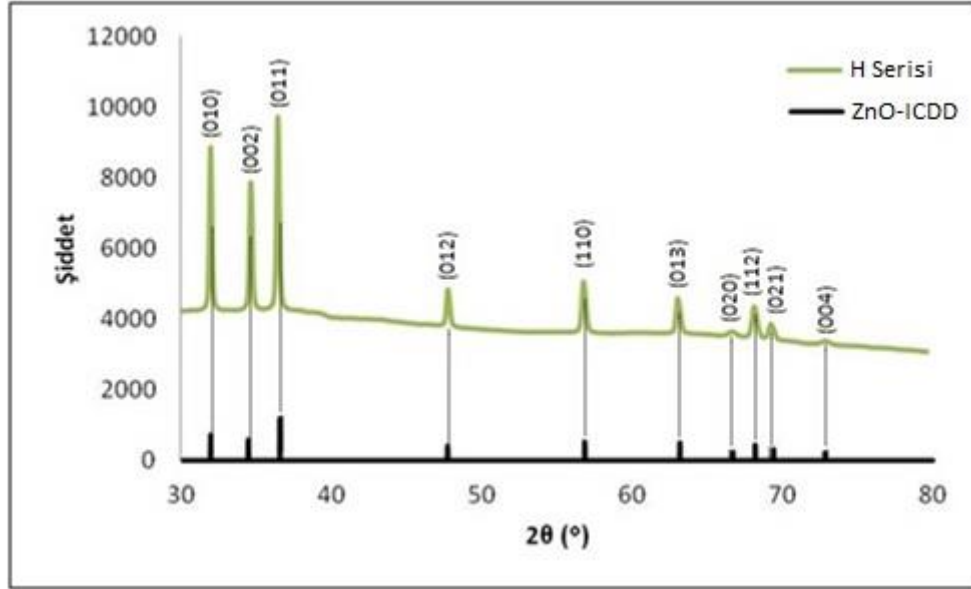
İnce filmlere ait x-ışını kırınım desenleri incelenirken; hegzagonal yapıda ZnO için ICDD (International Centre for Diffraction Data): 98-003-1052 kartıyla karşılaştırılmış ve karşılaştırmalı grafikler çizilirken o yapıya ait ICDD spektrumu da birlikte çizdirilerek daha iyi kıyaslanması amaçlanmıştır.

XRD analiz sonuçları incelendiğinde tüm döndürme hızı (1000, 2000, 3000 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Tablo 2’de 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği (FWHM), eşitlik 2.1’den Scherrer Formülü ile hesaplanan ortalama tane boyutu (D) değerleri, eşitlik 2.2 ile hesaplanan dislokasyon yoğunluğu değerleri ve eşitlik 2.3’e göre hesaplanan tercihli yönelim değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Tablo 2. 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler

Seri	Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM	D (nm)	δ (nm) ⁻²	Tercihli Yönelim
A	1000	9	400	0,25	39	6,91	-
B	1000	9	500	0,23	44	5,57	-
C	1000	9	600	0,25	39	6,91	-
D	2000	9	400	0,28	36	8,13	-
E	2000	9	500	0,18	54	3,40	-
F	2000	9	600	0,20	50	3,94	-
G	3000	9	400	0,23	43	5,51	-
H	3000	9	500	0,17	56	3,15	-
I	3000	9	600	0,18	54	3,40	-

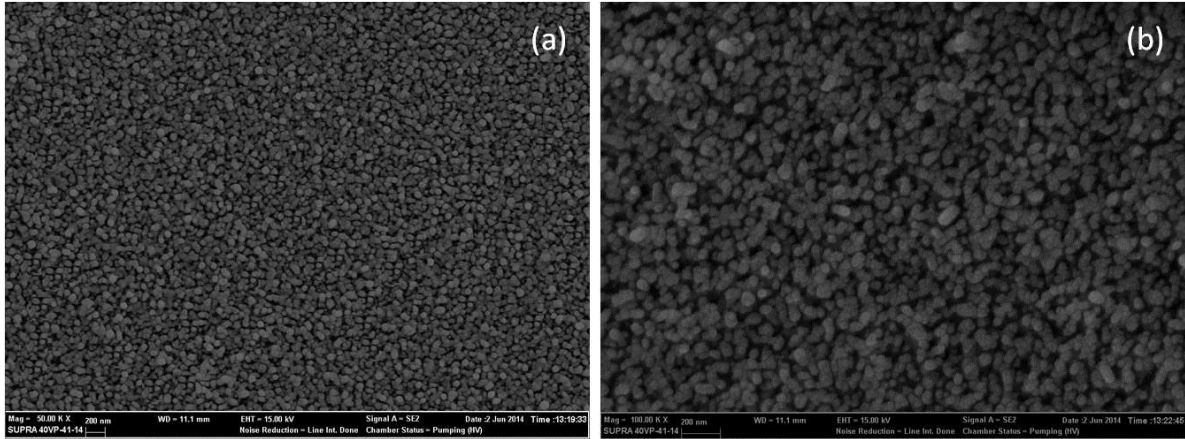
Tablo 2 incelendiğinde, tüm seriler içinde en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler H serisine ait 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C’de tavlanan filmlerdir. Dislokasyon yoğunluğunun ve yarı pik genişliğinin küçük olması kristalleşme seviyesinin iyi olduğu anlamına gelir. H serisine ait filmlerin ortalama tane boyutu da 56 nm ile tüm seriler içinde en büyük değerdir ayrıca bu filmlerin şiddetinin diğer filmlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Tane boyutu arttıkça ve pik şiddetleri yükseldikçe de kristalleşme iyileşir. Bu özellikleri ile en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin H serisine ait 9 katmanlı, 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C’de tavlanan filmler olduğu belirlenmiştir. Şekil 1’de H serisine ait filmin XRD spektrumu, hegzagonal ZnO yapısına ait ICDD: 98-003-1052 kartıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Literatürde yapılan benzer bir çalışmada Çağlar ve ark. [23] da en iyi kristalleşmenin, 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C’de tavlanan 9 katmanlı filmlerde olduğunu göstermiş ve yine benzer bir çalışmada Tari ve ark. [14] ZnO ince filmler için benzer bir XRD spektrumu elde etmiştir.



Şekil 1. H serisine ait XRD spektrumu.

En iyi kristalleşmeyi gösteren H serisine ait ince filmlerin yüzey özelliklerinin incelenmesi için ZEISS Supra 40VP Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) kullanılmıştır.

Yüzey özellikleri incelenirken cihazın İkincil Elektron (SE) dedektörü kullanılmış ve çeşitli büyütme değerlerinde görüntüler elde edilmiştir. Yüzey özellikleri incelenen filmlerin aynı zamanda taramalı elektron mikroskobuna bağlı BRUKER marka EDX dedektörü kullanılarak kimyasal bileşimleri de elde edilmiştir.



Şekil 2. H serisine ait (a)50.000 büyütmeli, (b)100.000 büyütmeli FESEM görüntüsü.

Şekil 2’de gösterilen H serisine ait FESEM görüntülerinde; ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerden tane boyutlarının ortalama 40 – 45 nm civarında olduğu ölçülmüştür. Ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzerdir. Literatürde yapılan benzer bir çalışmada Pati [24] sol-gel yöntemi ile ürettiği ZnO ince filmlerden aldığı FESEM görüntülerinde benzer bir yapı gözlemlenmiştir. Ayrıca alttaş üzerinde ZnO yapısı oluştuğu Tablo 3’deki H serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

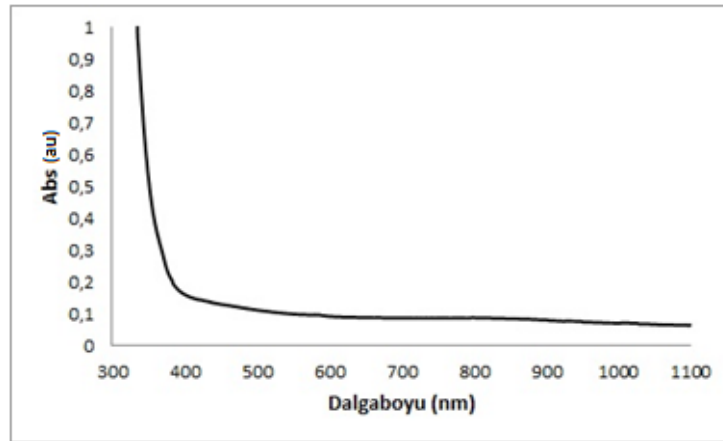
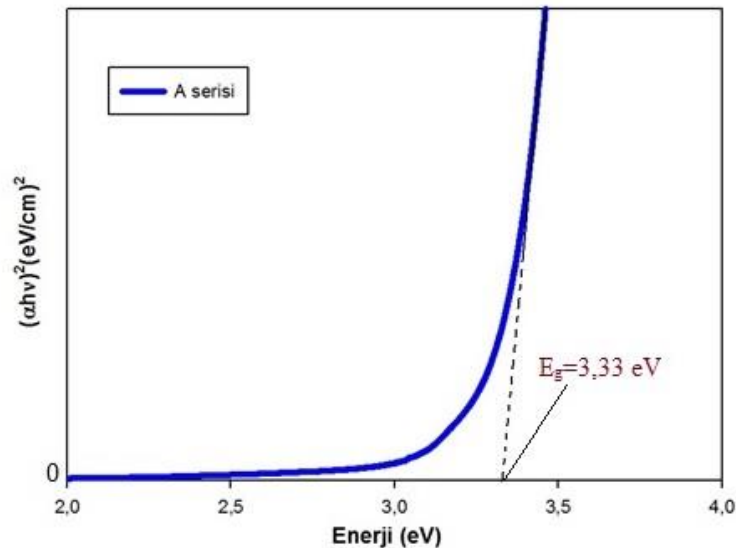
Tablo 3. H serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Çinko (Zn)	22
Oksijen (O)	78

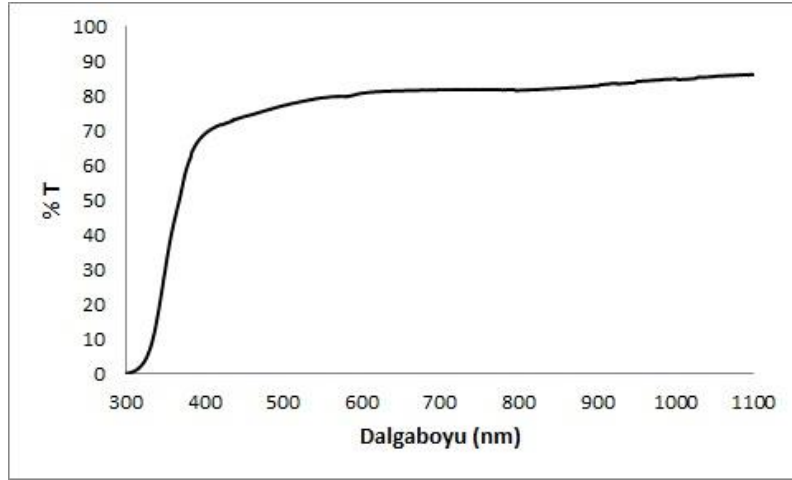
H serisine ait ince filmlerin kalınlıkları Stokes Ellipsometer LSE-2A2W cihazı ile ölçülmüş ve ortalama kalınlıkları 618 nm olarak belirlenmiştir.

H serisine ait ince filmlerin optik özelliklerinin incelenmesi için UV-Vis Spektroskopisi ölçümleri, PERKIN ELMER LAMBDA 25 cihazında 1100–300 nm dalgaboyu aralığında alınmıştır. UV-Vis Spektroskopisi ölçümlerinden elde edilen temel absorpsiyon spektrumu verilerinden yararlanarak öncelikle ince filmlerin direkt bant yapılı olduğu belirlenmiştir. Daha sonra Tauc metodu [22] kullanılarak yasak enerji aralığı değeri hesaplanmıştır.

Şekil 3'te H serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 403 nm dalga boyundan başlayarak 364 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 4'te de $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmının $h\nu$ eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan H serisine ait ince filmlerin yasak enerji aralığı $E_g=3,33$ eV olarak bulunmuştur. Salam ve ark. [8] yaptıkları benzer bir çalışmada ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıklarını 3,35 eV, Tsang ve ark. [25] yaptığı benzer bir çalışmada da 3,3 eV olarak hesaplamışlardır.

**Şekil 3.** H serisine ait ince filmlerin absorpsiyon spektrumu.**Şekil 4.** H serisine ait ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.

Şekil 5'te H serisine ait ince filmlerin optik geçirgenlik spektrumu verilmektedir. Spektrumda da görüleceği gibi görünür bölgede (400 – 700 nm) ince filmlerin optik geçirgenliği % 85–90 civarında olup oldukça yüksektir. Kim ve ark. [26] yaptığı benzer bir çalışmada da optik geçirgenlik değerlerini % 80–90 civarında ölçmüşlerdir.



Şekil 5. H serisine ait ince filmlerin geçirgenlik spektrumu.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada ZnO ince filmler kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Sol-Gel Döndürerek Kaplama yöntemi ile cam tabanlar üzerine üretilmiştir. Döndürerek kaplamanın; döndürme hızı, döndürme süresi, damlatılacak çözelti hacmi, kaplama katman sayısı ve elde edilen filmlerin tavlama sıcaklıkları gibi parametreleri değiştirilerek en iyi filmin oluşacağı şartlar incelenmiştir. Üretilen ince filmlerin her birinin X-ışını kırınım desenleri karşılaştırılarak, en iyi kristalleşmeyi gösteren film XRD sonuçlarına göre belirlenmiştir. Daha sonra yüzeysel ve optiksel ölçümler bu belirlenen filmlerden alınmıştır.

XRD analiz sonuçları ICDD kartları yardımıyla incelendiğinde, H serisine ait 3000 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmlerin pik şiddetlerinin, diğer filmlerden daha büyük olduğu ayrıca en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olduğu görülmüştür. Bu filmlerin ortalama tane boyutu da serideki en büyük değerdir. Bu özellikleri göz önünde bulundurularak 3000 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 500°C'de tavlanan H serisine ait filmlerin en iyi kristalleşmeyi gösterdiği belirlenmiştir.

H serisine ait ince filmlerin en iyi kristalleşmeyi gösterdiği belirlendikten sonra yüzeysel ve optiksel ölçümler bu filmlerden alınmıştır. Yüzeysel özelliklerinin incelenmesinde Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) kullanılırken kimyasal bileşimleri de EDX dedektörü ile belirlenmiştir. H serisine ait FESEM görüntülerinde; ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerden tane boyutlarının XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzer olduğu anlaşılmaktadır. Alttaş üzerinde ZnO yapısı oluşturduğu H serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

Filmlerin optik özelliklerini belirlemek için, geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları alınmış ve oda sıcaklığında elde edilen temel absorpsiyon spektrumlarından yararlanılarak yasak enerji aralığı değeri belirlenmiştir. Buna göre H serisine ait ince filmlerin yasak enerji aralığının 3,33 eV olduğu bulunmuştur. Filmlerin optik geçirgenlik spektrumları incelendiğinde de geçirgenliğin görünür bölgede % 85–90 civarında olduğu belirlenmiştir. Bu geçirgenlik değeri de ZnO'nun saydam iletken oksit yapısı ile örtüşmektedir.

Yapılan bu incelemeler sonucunda, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Sol-Gel Döndürerek Kaplama yöntemi ile elde edilen ZnO ince filmlerin literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu, saydam iletken oksit yapısına sahip olduğu ve çeşitli uygulamalarda saydam iletken oksit malzeme olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ginley, D.S., 2010, Handbook of transparent conductors, Springer, New York.
- [2] Shim, Y.S., 2011, Transparent conducting oxide electrodes for novel metal oxide gas sensors, Sensors and Actuators B, 160, 357–363.
- [3] Shimizu, M., 2014, High-temperature solar selective absorbers using transparent conductive oxide coated metal, Energy Procedia, 57, 418 – 426.
- [4] Kang, D.W., 2015, Highly transparent Zn_{1-x}Mg_xO/ITO multilayer for window of thin film solar cells, Current Applied Physics, doi: 10.1016/j.cap.2015.05.017.
- [5] Alexander, J.N., 2015, Development and characterization of transparent and conductive InZnO films by magnetron sputtering at room temperature, Journal of Alloys and Compounds, 633, 157–164.
- [6] Addonizio, M.L., 2014, Sol–gel synthesis of ZnO transparent conductive films: the role of pH, Applied Surface Science, 305, 194–202.
- [7] Steiner, T., 2004, Nanostructures for optoelectronic applications, Artech House Inc., London.
- [8] Salam S., 2013, Sol–gel synthesis of intrinsic and aluminum-doped zinc oxide thin films as transparent conducting oxides for thin film solar cells, thin Solid Films, 529, 242-247.
- [9] Tsay, C., Fan, K., Chen, S., Tsai, C., 2010, Preparation and characterization of ZnO transparent semiconductor thin films by sol–gel method, Journal of Alloys and Compounds, 495, 126–130.
- [10] Minemoto T, T. Negami, S. Nishiwaki, H. Takakura, Y. Hamakawa, 2000, Preparation of Zn_{1-x}Mg_xO films by radio frequency magnetron sputtering, Thin Solid Films, 372, 173–176.
- [11] Cho, S.W. Shin, Y. Bin Kwon, H.-K. Lee, K.U. Sim, H.S. Kim, J.-H. Moon, J.H. Kim, 2011, The effect of Mg_{0.1}Zn_{0.9}O layer thickness on optical band gap of ZnO/Mg_{0.1}Zn_{0.9}O nano-scale multilayer thin films prepared by pulsed laser deposition method, Thin Solid Films, 519, 4282–4285.
- [12] Zhang, X.M. Li, T.L. Chen, J.M. Bian, C.Y. Zhang, 2005, Structural and optical properties of Zn_{1-x}Mg_xO thin films deposited by ultrasonic spray pyrolysis, Thin Solid Films, 492, 248–252.
- [13] Ashraf, S.M.J. Akhtar, A. Qayyum, 2012, Characterization of ternary Mg_xZn_{1-x}O thin films deposited by electron beam evaporation, Mater. Sci. Semicond. Process, 15, 251–257.
- [14] Tari, A. Aronne, M.L. Addonizio, S. Daliento, E. Fanelli, P. Pernice, 2012, Sol-gel synthesis of ZnO transparent and conductive films: A critical approach, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 105, 179–186.
- [15] Sengupta, R.K. Sahoo, C.D. Mukherjee, 2012, Effect of annealing on the structural, topographical and optical properties of sol-gel derived ZnO and AZO thin films, Mater. Lett., 83, 84–87.
- [16] Huang K., 2012, Preparation and characterization of Mg-doped ZnO thin films by sol–gel method, Applied Surface Science, 258, 3710– 3713.
- [17] Wang M., 2008, Optical and structural properties of sol-gel prepared MgZnO alloy thin films, Thin Solid Films, 516, 1124–1129.
- [18] Cullity, B.D., Stock S.R., 2001, Elements of x-ray diffraction, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.

- [19] Ivanova, T., Harizanova, A., Koutzarova, T., Vertruyen, B., 2010, Study of ZnO sol–gel films: Effect of annealing, *Materials Letters*, 64, 1147–1149.
- [20] Manoj, P.K., 2006, Growth and characterization of indium oxide thin films prepared by spray pyrolysis., *Optical Materials*, 28, 1405-1411.
- [21] Nair, J.P., 1998, In situ Sb-doped CdTe films., *Semiconductor Science and Technology*, 13, 0268-1242.
- [22] Tauc J., 1974, *Amorphous and liquid semiconductors*, Plenum.
- [23] Caglar, S. Ilican, Y. Caglar, F. Yakuphanoglu, 2009, Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film, *Applied Surface Science*, 255, 4491–4496.
- [24] Pati, 2017, Highly textured ZnO thin films grown using sol-gel route for gas sensing application, *J. Alloys Compd.*, 695, 3552–3558.
- [25] Tsang, F.L. Wong, M.K. Fung, J.C. Chang, C.S. Lee, S.T. Lee, 2008, Transparent conducting aluminum-doped zinc oxide thin film prepared by sol-gel process followed by laser irradiation treatment, *Thin Solid Films*, 517, 891–895.
- [26] Kim, W. Tai, S. Shu, 2005, Effect of preheating temperature on structural and optical properties of ZnO thin films by sol – gel process, *Thin Solid Films*, 491, 153–160.