

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZnO İNCE FİLMLEİN OPTİK VE AYGIT ÖZELLİKLERİNİN
MOLARİTE İLE KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELTEM COŞKUN

FİZİK ANABİLİMDALİ

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Murat SOYLU**

BİNGÖL-2019



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ZnO İNCE FİLMLEİN OPTİK VE AYGIT ÖZELLİKLERİNİN
MOLARİTE İLE KONTROLÜ**

Prof. Dr. Murat SOYLU danışmanlığında, Meltem COŞKUN tarafından hazırlanan bu çalışma 29/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından FİZİK Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU *İmza* :
Üye : Prof. Dr. Murat SOYLU *İmza* :
Üye : Prof. Dr. Nezir YILDIRIM *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun / / 2019 tarih ve / nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: BAP-FEF.2017.00.015

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Prof. Dr. Murat SOYLU'ya teşekkür ederim. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi'ne (Proje No: BAP-FEF.2017.00.015) teşekkür ederim.

Tez izleme sınavlarım esnasında yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı Güneş BAŞBAĞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

MELTEM COŞKUN

Bingöl 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	17
4.1. ZnO İnce filmlerin Yapı, Yüzey ve Optik Karakteristikleri.....	17
4.2. ZnO/p-Si Heteroeklem diyotların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ψ_b	:	Engel yüksekliği
ε	:	Ortamın dielektrik sabiti
ε_0	:	Serbest uzayın geçirgenliği
$(\lambda_{\text{incidence}})$:	Uyarma dalga boyu
q	:	Elektronik yük
Δ	:	Dislokasyon yoğunluğu
E	:	Enerji
E_g	:	Yasak enerji aralığı
n	:	İdealite faktörü
h	:	Planck sabiti
k	:	Boltzman sabiti
J	:	Akım yoğunluğu
J₀	:	Saturasyon akım yoğunluğu
V	:	Voltaj
T	:	Sıcaklık
R_s	:	Seri direnç
AFM	:	Atomik kuvvet mikroskobu
UV	:	Atomik kuvvet mikroskobu
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	ZnO ince filmler için sentez prosedürünün akış şeması	10
Şekil 3.2.	Ultrasonik banyo.....	12
Şekil 3.3.	Sıcak tabla (hot plate).....	12
Şekil 3.4.	Dönel kaplama cihazı	13
Şekil 3.5.	Metal kontak kaplama cihazı	13
Şekil 3.6.	XRD cihazı (X-ray diffraction).....	14
Şekil 3.7.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	14
Şekil 3.8.	Atomik kuvvet mikroskobu (AFM).....	15
Şekil 3.9.	UV-vis spektrofotometre	15
Şekil3.10.	Raman cihazı	16
Şekil3.11.	Probe station sistemi.....	16
Şekil 4.1.	ZnO ince filmlerin molariteye bağlı XRD ölçümleri	17
Şekil 4.2.	(a-c) ZnO ince filmler için EDX sonuçları, (d) metaryal için atomic yüzdeye karşılık gelen elementler.....	22
Şekil 4.3.	(a-c) ZnO filmler için $40 \times 40 \mu m^2$ alanda AFM görüntüleri(a) 0.2 M,(b) 0.3 M, (c) 0.3 M.....	24
Şekil 4.4.	(a-d)(a)Geçirme spektrumu,(b)Yansıma spektrumu (c)Soğurma spektrumu,(d)Molaritenin fonksiyonu olarak $(\alpha h\nu)^2-h\nu$ eğrileri.....	25
Şekil 4.5.	ZnO ince filmler için fotolüminesans	27
Şekil 4.6.	ZnO ince filmlerin Raman ölçümleri.....	28
Şekil 4.7.	ZnO filmler için molariteye bağlı $\log \alpha-h\nu$ eğrileri.....	29
Şekil 4.8.	ZnO ince filmler için molaritenin fonksiyonu olarak dalgaboyuna karşılık gelen eksiton eğrileri.....	30
Şekil 4.9.	ZnO ince filmler için molariteye bağlı $1/(n^2-1)-(h\nu)^2$ değişimi için ZnO ince filmler.....	31
Şekil4.10.	ZnO filmler için kayıp faktörü $(\tan \delta)$ -dalgaboyu eğrileri.....	33

Şekil4.11.	ZnO filmler için enerjiye karşı (a) hacim enerji kaybı, (b) yüzey enerji kaybı.....	33
Şekil4.12.	(a,b)(a) Termal dengede enerji-bant diyagramı, (b) ZnO/p-Si heteroeklemlerinin I-V karakteristikleri.....	35
Şekil4.13.	F(V)-voltaj eğrileri.....	38
Şekil4.14.	(a,b) (a) log-log ölçeğinde çizilen ters akım yoğunluğu (b) J-V karakteristiğinin log-log grafikleri.....	41

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Bazı metal oksitlerin bant aralıkları.....	2
Tablo 3.1.	ZnO hazırlama şartları için molariteye bağlı bazı parametreler.....	13
Tablo 4.1.	ZnO ince filmler için bazı yapısal parametreler.....	20
Tablo 4.2.	ZnO için bazı yapısal ve optik parametreler.....	20
Tablo 4.3.	Diyot ve yük transport parametreleri..	39

ZnO İNCE FİMLERİN OPTİK VE AYGIT ÖZELLİKLERİNİN MOLARİTE İLE KONTROLÜ

ÖZET

Çinko oksit (ZnO) nanofiberlerin sentezi, 2-methoxyethanol ve monoethanolamine kullanılarak, çinko asetat dehidrat (ZnAc)'ın molar konsantrasyonunun değiştirilmesi ile gerçekleştirildi. X-ışını difraksiyon ölçümleri, ZnO ince filmlerin yüksek çözelti konsantrasyonuna sahip numunerinin daha iyi kristallenme özelliği sergilediğini gösterdi. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri ZnO nanofiberlerin varlığını gösterdi. Artan çözelti konsantrasyonu ile değişen optik özellikler, geçirgenlik, soğurma ve yansıma ölçümlerinden anlaşıldı. n-tip ZnO ince filmlerin band gap (E_g) daralması (3,28 eV'dan 3,22 eV'a), molar konsantrasyondaki artış ile soğurma kenarı boyunca gözlemlendi. n-ZnO/p-Si heteroeklem yapısı düşük doğrultma oranı (Rectification Ratio, RR) gösterdi. Akım-Voltaj ($I-V$) karakteristikleri, iletkenliğin azalan çözelti konsantrasyonu (0.5 M'dan 0.2 M'a) ile arttığını ortaya çıkardı. Sonuçta, çözelti konsantrasyonunun molar yüzdesinin optimum değerinin fotovoltaiik ve optoelektronik uygulamalar için umut verici olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: ZnO ince film, molar konsantrasyon, optik özellikler, diyot, elektriksel karakteristikler.

CONTROLLING OF OPTICAL AND DEVICE PROPERTIES OF ZnO THIN FILMS BY MOLARITY

ABSTRACT

Zinc oxide (ZnO) nanofibers were synthesised by changing the molar concentration (M) of zinc acetate dihydrate (ZnAc) using 2-methoxyethanol and monoethanolamine. X-ray diffraction measurements indicated that ZnO thin films exhibited good crystallinity at high precursor concentration. Atomic force microscopy (AFM) images showed that ZnO formed from nanofibers. The recorded transmittance, absorbance and reflectance measurements showed that the optical properties changed as the precursor concentration increased. The forbidden energy gap (E_g) narrowing from 3,28 eV to 3,22 eV for nanofiber structured ZnO thin films was seen through the absorption edge with increase in molar concentration. The heterojunctions (n-ZnO/p-Si) obtained by ZnO formed on p-type Si substrate exhibited low rectifying ratio (RR). The current-voltage ($I-V$) characteristics showed that the conductivity increased with decreasing molar concentration (from 0.5 to 0.2 M). It was seen that an optimum value of precursor concentration at molar percentage provided promising results for photovoltaic and optoelectronic applications.

Keywords: ZnO thin film, molar concentration, diode, optical properties, electrical characteristics.

1. GİRİŞ

Bilimsel ve teknik olarak fırsat sunan ZnO kristalinin ince film uygulamalarına yoğun ilgi bulunmaktadır. ZnO ince filmlerin yüksek eksiton bağlanma enerjisi (60MeV), piezoelektrik, verimli emisyon, oda sıcaklığında geniş bant aralığı ve yüksek elektron hareketliliği (60-100 cm² V/s) gibib eşsiz özellikleri olduğu bilinmektedir (Kopidakis 2005). Nanoyapıya sahip ZnO'nun kullanım alanları, daha çok güneş pilleri (Zhang 2013, Udom 2013), fotokataliz (Zhou 2016, Chang 2016) olarak geniş çapta çalışılmış fotonil kristaller (Chang 2009), biyolojik floresan görüntüleme (Zang 2015), sensörler (Park 2008), piezoelektrik nano jeneratörler (Lu 2009), ışık yayan diyotlar (LED) (Zang 2016) ve foto diyotlar (Hendi 2011) olmuştur. ZnO, Zn⁺² ve O⁻² değerlikli elementlerin yapısal karakteristik bağlanmalarından dolayı n tipi iletkenlik gösterir. ZnO, oksidasyonu nispeten kolay olduğu için basit bir yöntemle sentezlenir.

Geçtiğimiz yıllarda ZnO yapıların sentezi, kimyasal buhar biriktirme (CVD) (Lu 2007) sol-jel (Chau 2017), termal buharlaştırma (Fouad 2006) ve yüzey yapısının modifikasyonuna ve nanoyapıların düzenlenmesine izin veren püskürtme (Kim 2003) metodu olmak üzere farklı yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Sol -jel spin kaplama tekniği diğer yöntemlere göre sentez için herhangi bir vakum ve sofistike ekipman kurulumu gerektirmeyen bir metottur. Bu yolla ZnO ince filmlerin üretiminin yanı sıra kompozisyon modifikasyonu (birleştirme), kontrollü stokiyometri, homojen ve pürüzsüz geniş alanda ince filmler tabakası üretmek mümkündür. ZnO ince filmlerin çeşitli metaller ile katılanması, tavlama işlemi, Zn:O oranı ve büyüme sırasında gazın ayarlanması (oksijen, azot ve argon oranı) ve gaz akış hızı direk büyümeye etki etmiştir (Chaitra 2016).

Metal oksitler farklı özellikler sergilerler. Bu farklı özellikler, elektronik yapıların farklılığından kaynaklanan yalıtkan ve yarı iletkenliktir. Periyodik tablonu ortasında

yeralan metaller tarafından oluşturulan oksitler metaloksitler yarıiletken özellik gösterirler. İletkenlik bakımından bazı metal oksitler Tablo 1.1 de verilmiştir

Tablo 1.1. Bazı metal oksitlerin bant aralıkları

Adı	Band Aralığı (eV)	Sınıflandırılması
ZnO	3,32 eV	Yarıiletken(n-tipi)
MnO	4,1 eV	Yarıiletken(n-tipi)
FeO	2,4-2,5 eV	Yarıiletken(p-tipi)
Fe ₃ O ₄	0,1 eV	Metalik
MgO	7,8 eV	Yalıtkan
CaO	7,7 eV	Yalıtkan
CeO ₂	3,2 eV	Yarıiletken

ZnO ince filmlerin duyarlılığı ile ilgili faktörler çözeltinin konsantrasyonun kontrolü ile sağlanabilir (Chaitra 2016, Kamaruddin 2011, Guzman-Carillo 2017). ZnO morfolojisinin değişen aralıkta (0,6-1,0 M) Çinkoasetat (Zn(Ac)₂) çözeltisinin molar konsantrasyonu ile arasında bir ilişki olduğu sonucuna varıldı. ZnO ince filmler, çözelti konsantrasyonunun etkisi ile belli bir molarite seviyesinden sonra kristal kalitesi, şeffaflık, elektriksel iletkenlik vb. film özelliklerinin bozulduğu görüldü.

Bu çalışmada, ıslak kimyasal bir metot olan sol-jel metodu ile farklı çözelti konsantrasyonlarında sentezlenen ZnO ince filmler cam ve kristal Si üzerine oluşturuldu. Çözelti konsantrasyonunun fonksiyonu olarak optik özellikler ve oluşturulan ZnO/p-Si eklemine aygıt özellikleri araştırıldı.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bhaita ve Ark. (2017) farklı teknikler ile ZnO nanopartikülleri temel olarak etanol gaz sensörlerinin hazırlanması üzerine çalışmışlardır. Çinko oksit (ZnO) nanoparçacıklar iki farklı teknik (ısıtıl işlem ve termal buharlaştırma) kullanarak hazırlanmıştır. Isıtıl işlem ile hazırlanan ZnO nanoparçacıkların şekil ve büyüklüğünü kontrol etmek için değişik bölge sıcaklığı (bölge1-800°C ve bölge2-400°C) ile termal buharlaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Pan ve Ark. (2019) ZnO, Ga katkılı ZnO ve ZnMg filmlerin yakın bant aralığı emisyonunun hidrojen plazma yöntemiyle artırılmasını incelemişlerdir. ZnO tabanlı malzemelerin optik özelliklerini geliştirmek için H-plazma yöntemi kullanılmıştır. H-plazma işlemlili ZnO ve ZnMgO'da sırasıyla 83 kat ve 105 kat artış oranları elde edilirken, Ga katkılı ZnO filminde 8.6 kat büyüme oranı elde edilmiştir. ZnO, ZnMgO ve Ga katkılı ZnO arasında yakın bant kenarı (NBE)'nin farkı ortaya çıkmıştır. Bu sayede yüksek verimli ZnO tabanlı ışık yayan cihazların elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

Ou ve Ark. (2019) sol-jel yöntemiyle hazırlanan ZnO film üzerinde yüzey değiştirici olarak 1- benzoil-2-tioure (benzoil tiyore) kullanarak ters polimer güneş hücreleri geliştirerek karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Benzoil tiyore (BT) modifikasyon yüzeyinin daha yumuşak bir morfoloji ve daha fazla hidrofobiklik özelliği gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Mahendrapraphu ve ark. (2019) sol-jel yöntemiyle ürettikleri ZnO nanoküreler ile tutturulmuş YSZ (Yttriyum stabilize zirkonya) tabanlı sensörün CO algılama performanslarını incelediler. Sensör karakteristiklerini çeşitli O₂ konsantrasyonları altında (5,10,15 ve % 21 hacim) 600-800 °C sıcaklık aralığında araştırdılar. Sol jel ile üretilmiş ZnO ile YSZ karışık potansiyel sensörü imal ederek, ZnO' nun nano özelliklerinin CO'ya yüksek hassasiyet kazandırdığı ve duyarlılığa yol açtığını gösterdiler.

Sol jel yöntemiyle sentezlenen ZnO nanopartiküllerinde tuzak dağılımının incelendiği bir çalışmada sığ tuzakların varlığı, ZnO nanopartiküllerin homojen dağılım gösterdiği 10-300 °K sıcaklık aralığında termoluminesans (TL) deneyleri kullanılarak incelenmiştir. ZnO'nun optoelektronik özelliklerini anlamaya çalışmaları bu bileşiğin ışık yayan diyotlar, güneş pilleri, lazerler, ince film transistörleri ve fotodedektörler gibi çeşitli cihazlarda kullanılabileceği gösterilmiştir (Delice 2019).

Seid ve ark. (2019) sol jel metodu ile su ve metanolün ortak çözücü hacim oranını değiştirerek bunun ZnO nanotoz özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Geri akışlı sol jel sentezinde düşük kaynama noktasına sahip çözücüler için sıcaklık kontrolünün en iyi yöntem olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada, kristal olmayan ZnO'nun özelliklerinin metanol ve suyun ortak çözücü hacim oranından etkilendiği kanıtlanmıştır. ZnO'nun enerji bandının, çözücüde artan metanol oranı ile doğrusal olarak azaldığı görülmüştür. Üretilen ZnO malzemesinin özellikleri optoelektronik uygulamalar için bir potansiyel oluşturmuştur.

Ko ve ark. (2019), TiCl₄ arayüzey modifikasyonu kullanılarak sol jel yöntemiyle üretilen ZnO tabanlı perovskite güneş hücrelerinin performansının artırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. ZnO'da biriktirilen CH₃NH₃PBI₃ için N₂ gazında tavlama yapılırken ayrışma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrışmanın ZnO üzerindeki TiCl₄ işlemi ile baskılandığını görülmüştür. Araştırmacılar, bu ayrışmanın süblimasyonun kısıtlanmasıyla geciktirebilir olduğunu göstermişlerdir.

Garcia ve Ark. (2018) sol jel yöntemi ile elde edilen ZnO nanopartiküllerinde sıcaklık ve atomik bozukluğun manyetik faz geçişleri üzerine etkilerini çalıştılar. ZnO numunelerini 2 saat boyunca 600, 800, 1000 ve 1200°C'lik sıcaklığa maruz bıraktılar. Isıl işlem 600°C den 1200 °C ye geçişirken örgü zorlarının %0,181 den %0,169 a azaldığı ve kristal ortalama ölçüsünde 61 nm den 70 nm ye arttığını gördüler. Ayrıca elde edilen ZnO'nun ferromanyetik veya diamagnetik olabileceğini ve ısıl işlem sayesinde manyetik özelliklerin ayarlanmasının sağlanabileceğini rapor ettiler.

Nesheva ve Ark. (2018), sol jel nanokristal ZnO filmlerin yüzey modifikasyonu ve kimyasal hassasiyetini incelemişlerdir. Film yüzeyinde tepe noktaları, çukurlar ve çeşitli

yoğunluktaki agregalar (beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı) gözlemlenmişlerdir. ZnO ince filimler, hidrosiproil selüloz ve etil selüloz kullanılarak modifiye olabileceğini göstermişlerdir.

Shukla ve Ark. (2018) kolay sol jel sentezi ile hazırladıkları V_2O_5 -ZnO nanoflake için yapısal, optik ve fotokatalitik özellikleri incelemişlerdir. XRD, FTIR ve UV analizleri yapmışlardır. Araştırmalar sonunda V_2O_5 'nin ZnO yapıya göre geliştirilmiş fotokatalitik performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Rana ve ark. (2017) tarafından ZnO nanoyapılar, dönele kaplı nanotohumların (seed) kristal kalitesi, tavlama sıcaklığı, tavlama zamanı, çap, yoğunluk, kalınlık ve çözelti konsantrasyonu üzerine büyüme bağıllığı akım çalışması yoluyla gerçekleştirildi. Büyütmenin optimizasyonu için ZnAc'ye ait 0.02 M, 0.04 M ve 0.09 M'lık konsantrasyon değerleri seçildi. Elde edilen ZnO, p-Si üzerine kaplanarak karakteristik özellikleri incelendi. ZnO nano rod'ların optik özellikleri, kristal kalitesi, yoğunluğu ve morfolojisinin nanotohum parametreleri ile doğrudan ilişkili olduğu da rapor edildi.

Singh ve Hazra (2019) Si/ZnO heteroeklem diyotlarda yüksek sıcaklık ortamında akım taşıma mekanizmalarının analizlerini yaptılar. Sol- jel dönele kaplama yöntemi kullanarak p-Si altlık üzerine ZnO ince film sentezlediler. Si/ZnO heteroeklem diyotların elektriksel parametrelerini yüksek sıcaklıkta (298-573K) deneysel olarak elde ettiler. Doğrultma oranı, ters doyum (saturasyon) akımı, idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç ve aktivasyon enerjisi gibi elektriksel parametreler aygıtın akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden belirlendi. Sıcaklığa bağılı elde edilen sonuçlar uzaysal engel inhomojenitesi gösterdi. Ayrıca etkin Richardson sabitini hesaplamak için analizlerde uzaysal engel yüksekliği inhomojensizliğinin Gaussian dağılımı kullanıldı. Sonuçlar ZnO/Si heteroeklem diyotlarını yüksek sıcaklıkta elektriksel davranışının sürdürülebilir olduğunu, diyotların yüksek sıcaklık elektroniği ve optoelektronik uygulamalar için uygun olduğunu gösterdi.

Son ve Ark (2019) CsPbBr₃/ZnO heteroeklemlerde foton ile üretilmiş elektronların transferi üzerine Zn'nin polaritesinin etkilerini incelediler. Sıkı paketlenmiş CsPbBr₃ nanoparçacıklar dönele kaplamayla ZnO'in atomik olarak düz Zn polar (0001) ve O polar

(0001̄) yüzeyleri üzerine kaplandı. Zn polar üzerine CsPbBr₃ nanoparçacıkların fotoluminesans şiddeti O polar yüzeyinin sadece yarısı olduğu görüldü. Zn⁺² polar yüzey üzerine CsPbBr₃ nanoparçacıklardan radyoaktif emisyonun yaşama süreside azaldı. Bu sonuçlar ZnO polar yüzeyinin CsPbBr₃'ten foton ile üretilmiş elektronların rekombinasyonunun açıkça etkilendiğini gösterdi. Bu, ZnO polaritesinin kontrolünün LED ve fotovoltaik aygıtlar gibi yüksek verimli perovskite tabanlı optoelektronik aygıtlar elde etmek için önemli bir yaklaşım olabildiğini ortaya koydu.

Yousefi ve Ark (2019) tarafından yapılan çalışmada başlangıç ZnO nanoparçacıkları Ag@ZnO core shell nanokompozitler ve Ag@Ag/ZnO core shell nanokompozitler farklı bir sol jel metodu (pechini) kullanılarak sentezlendi. Sentezlenen XRD (X ışınımı kırınım yöntemi) UV (ultraviyole ışını), PL (fotoluminesans), FE-SEM (alan etkili emisyon taramalı elektron mikroskobu) ve TEM (geçirme elektron mikroskobu) ile karakterize edildi. Numunelerin fotokatalitik aktivitesi metinblue (MB) çözeltisinin oksidasyonu çalışılarak test edildi. Ag@Ag katkılı ZnO nanokompozitlerin artan fotokatalitik etkisi Ag nanoparçacıkların güçlü elektron salma aktivitesinden dolayı ZnO kabukta elektron hole kombinasyonunun verimli bir şekilde önlenmesine atfedildi.

Torres ve Ark (2017) polipropilr ZnO kompozit nanofilmlerin fotooksidasyonu yüzey morfoloji etkileri ve yapısal özellikler karakterize edilerek analiz edildi. Bu nanokompozitlerin fotooksidasyon süreci kızılötesi (infrared) spektroskopi (FTIR) ve gravimetrik analiz kullanılarak gözlenen ağırlık kaybının yanı sıra oksidatif ürünlerin varlığı ile kontrol edildi. ZnO nanoparçacıkların morfolojik PP/ZnO nanoparçacıkların fotooksidasyonu üzerine önemli bir etki gösterdiği görüldü. Elde edilen bulgular polimer yarıiletken nanokompozitlerin fotooksidasyonu üzerine yarıiletken nanometaryal konsantrasyonu ve morfolojisinin etkilerini ortaya çıkardı.

Tan ve Ark (2018) bir PENG (piezoelektrik nanojeneratör)' de metal/ZnO kontakla ilgili yeni moleküler bilgiler ortaya çıkardılar. Farklı atomistik piezoelektrik potansiyel dağılımları tanımladılar. Metal/ZnO mekanik kontakları doğruladılar. Moleküler dinamik simülasyonları gerçekleştirdiler ve piezoelektrik nanojenaratörde mekanik bükülme altında bir ZnO nanotelinin (NW) piezoelektrik ve mekanik özelliklerini analiz ettiler.

Moleküler dinamik simülasyonlarda (MD) metal ZnO arayüzeyde kesit kontak alanı bir Schottky kontağın arayüzeyde oluşturması gerektiğinin ip uçlarını verdiğini gösterdiler.

Yan ve Ark (2018) ZnO filmlere metal-yarı iletken kontak oluşturma üzerine bir çalışma yaptılar. Altıgen ZnO filmleri, Si (100) altlık üzerine magnetron püskürtme yöntemi ile hazırladılar. Yapı analizi ZnO (001)/Si (100) için açık bir düzlem dışı yönelimi gösterdi. Onlar, kontağın metalik kompozisyonunun ZnO film ile omik kontak yapmak için kritik ve önemli bir parametre olduğunu gösterdiler. Al ve Ti diğer metal kontaklar Schottky engellerinin varlığını göstererek doğrultma ile linear olmayan karakteristikler gösterirken, Al/Ti metal kontaklar omik davranışının lineer I-V karakteristiklerini gösterdiğinin rapor ettiler. Kontakta metalik birleşimin ZnO filmlerine omik kontak için önemli bir parametre olduğunu ve Al(20nm)/Ti(80nm) metal çift tabakasının, yüksek dirençli ZnO filmine omik bir kontak oluşturduğunu gösterdiler.

Potasyum hidroksitinin kullanıldığı bir çalışmada ZnO, p-tip iletkenliğe sahip olarak başarılı bir şekilde üretildi. Elde edilen ince film, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışını difraksiyonu (XRD), hole efekt ölçümleri, fotoluminesans ölçümleri (PL) ve soğurma spektroskopu ile karakterize edildi. Potasyum (K) katkı miktarının ZnO yapısının optoelektronik özelliklerini etkilediği %2-5 miktarında K ile yapılan katkılamının ZnO'nun p tip iletkenlik mekanizması oluşturduğunu rapor edildi. Hole efekt ölçümleri deneysel olarak dar bir spektrum aralığında elde edildi. Doping kaynaklı bozulma band aralığı daralması ile PL ve UV ölçümleri ile kanıtlandı (Yi 2018).

Ghahramanifard ve ark. (2017) Cu katkılı p tip ZnO nanoyapıları (nanorod) düşük sıcaklıkta (FTO) altlık üzerine elektro depozisyon yöntemiyle oluşturdular. Cu katkısının etkisini yapısal, morfolojik, iletkenlik, optik ve fotoelektrokatalitik yönden sistematik olarak araştırdılar. XRD sonuçları, bütün numunelerin cam altlık düzlemine C eksenine dik yön boyunca büyüdüğünü ve ZnO'nun hekzagonal wurtzite yapısının değişmediği tespit ettiler. Soğurma ölçümlerinde Cu katkılaması ile ZnO nanorodların bant aralığının azaldığını gösterdiler. Mott Schottky analizi sayesinde ZnO nanorodlarda Cu katkısının yüksek hol yoğunluğu ile p tip iletkenliğe neden olduğunu ortaya çıkardılar. Ayrıca EIS ve voltametre analizi de Cu katkılamasının görünür ışık altında elektron hol ayrımını

artırdığını ve CO₂ indirgemeye doğru ZnO nanorodların fotoelektrokatalitik özelliğinin de arttığını rapor ettiler.

Xu ve ark. (2018) Ag'nin yüzey ayırımının ZnO ince filmlerin iletkenlik tipi, optik özellikleri ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini ele aldılar. Ag yüzey ayırımının bir iletim tipinin değişmesine neden olduğunu kanıtladılar. Hızlı soğutmanın, Ag'nin ayrışması ve göçünde önemli bir rol oynayabileceğini gösterdiler.

Ahmed ve ark. (2019) kimyasal teknikle hazırlanan ZnO, Ce ve Sm katkılı ZnO filmlere dayanan Schottky diyotların yapısal, optik ve elektriksel özelliklerini incelediler. ZnO, Sm ve Ce katkılı ZnO ve ortak katkılı ZnO'nun şeffaf sol jel filmlerini elde etmişlerdir. Ortak katkılı ZnO'nun (Sm, Ce) fotoluminensansında derin seviye emisyonunun olmadığını kanıtladılar. Sm ve Ce ortak katkılı ZnO ile yapılan Schottky diyotların 1,62 lik düşük idealite faktörü ve 0,82 ilk engel yüksekliği göstererek iyi doğrultmaya sahip aygıt özelliği sergilediklerinin rapor ettiler.

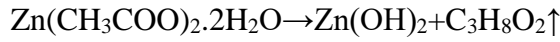
ZnO tabanlı heteroeklemler üzerine yapılan bir çalışmada ITO/a-CZTS/ZnO/Al, ITO/ZnO₂/a-CZTS/Al ve ITO/ZnO₂/c-CZTS/Al diyot yapısının aydınlanma altında fotoelektrik etki sergileyerek karanlık ortamda da bir tünel diyot gibi davrandığını ve bir negatif difrensiyel gösterdiği rapor edildi. a-CZTS ve ZnO ince filmler oda sıcaklığında ITO kaplı cam üzerinde tabaka ince filmler halinde büyütülürken bu numuneler için tavlama işlemi uygulanmadı. ZnO ve a-CZTS, PLD (puls lazer depozisyon) tekniği ile üretilen ince filmlerin, morfolojileri ve kristal yapıları incelenerek karakteristik özellikleri analiz edildi (Gezgin ve ark. 2019).

Mitta ve ark (2018) verimli diyot için Si'un altlık olarak kullanıldığı Si/ZnO heteroeklem yapıların fabrikasyonunu gerçekleştirdiler. ZnO/Si yapıların fotokatalitik oksidasyon performansını alkali elektrolit çözeltisinde araştırdılar. Elde ettikleri aygıtın 4,5 V'luk turn-on voltajına sahip mükemmel bir diyot karakteristiği sergilediğini gösterdiler. Sadece Si altlık ile yapılan aygıta kıyasla ZnO kaplı Si ile yapılan aygıtın Ag/AgCl'e karşı 0.07 V'luk çok düşük on-set potansiyeli boyunca iyi kararlılık ve süreklilik sergilediğini gösterdiler.

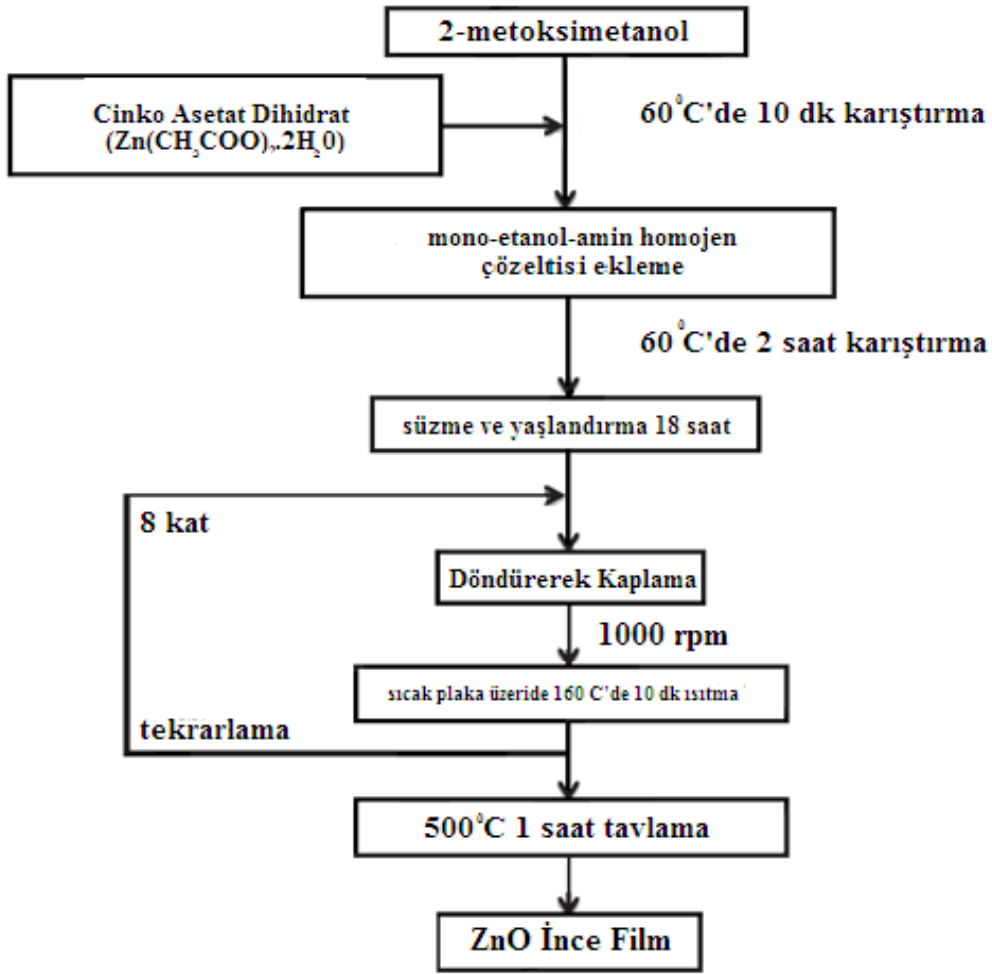
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel İşlemler

Çinko oksit (ZnO) ince filmler hazırlamak için kullanılacak materyaller Sigma-Aldrich Şirketi'nden ticari olarak satın alınarak temin edildi. Bir çinko tuzu olan çinko asetat dihidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) başlangıç esas malzeme olarak, 2-metoksimetanol ($C_3H_8O_2$) çözücü olarak ve monoethanolamine (MEA) (C_2H_7NO) stabilizatör olarak kullanıldı. Çinko tuzu, çözücü ile aşağıdaki gibi bir reaksiyon vererek çözünme işlemine tabi tutuldu.



ZnO ince filmleri elde etmek için basit, etkin, kolay, tekrarlanabilir ve maliyeti düşük olan sol-jel (sol-gel) yöntemi kullanıldı. Deneysel adımlar sol-jel kompozisyonlarını elde etmek için gerçekleştirildi. Şekil 3.1 ZnO ince filmler için sentez prosedürünün akış şemasını gösteriyor. Numuneler ultrasonik olarak temizlendi (Şekil. 3.2). Elde edilecek ZnO ince filmler için çözelti konsantrasyonu 0.2 M, 0.3 M ve 0.5 M olarak seçildi. Deneysel prosedür sonunda hazırlanan çözeltiler 18 saat oda sıcaklığında kapalı bir numune hazırlama şişesinde bekletildi. Kaplama işlemi 3 kez tekrarlandı, her tekrarlama işleminden sonra numune manyetik karıştırıcı (hot plate) (Şekil 3.3) üzerinde kurutuldu. ZnO nanoyapıların hazırlama şartları için molariteye bağlı bazı parametreler Tablo 3.1'de veriliyor.



Şekil 3.1. ZnO ince filmler için sentez prosedürünün akış şeması

Tablo 3. 1. ZnO hazırlama şartları için molariteye bağlı bazı parametreler

Molarite (M)	0.2	0.3	0.5
Zn (%)	64	65	68
O (%)	33	27	29
ZnAc ₂ (g)	0,439	0,658	1,097
Reak. zamanı (h)	6	6	6
Döndürme hızı (rpm)	1000	1000	1000
Etilen glikol (ml)	10	10	10
Manyetik karıştırıcı (°C)	160	160	160

ZnO çözeltisi altlıklar üzerine oluşturulmadan önce; film kalitesini artırmak ve altlıklar üzerindeki istenmeyen kirlilikleri uzaklaştırmak için bazı işlemler yapıldı. Soda lime camlar (SLG) önce deiyonize (DI) ardından aseton ve metanolda ultrasonik olarak temizlendi. Son olarak tekrar DI suda temizlenerek Azot (N_2) gazında kurutuldu. Bir başka altlık olarak da 300 mikron kalınlığında kristal p-tip Si (100) kullanıldı. Bu altlık da sırasıyla DI su, aseton ve metanolda ultrasonik olarak temizlendi. Sonra DI su, NH_4OH ve H_2O (3:1:1) çözeltisinde 1 dk bekletildi. Çıkarılıp DI suda durulandı ve N_2 gazına kurutuldu.

ZnO elde edilirken sol-jel metodu kullanıldı. Bu metot kolay, maliyeti düşük, tekrarlanabilir ve geniş yüzeylere uygulanabilme avantajlarına sahiptir. Bu metotta bir çözelti çözücüde polimer ya da koloidal parçacıkların kararlı bir dağılımını içerir. Parçacıklar amorf ya da kristal olabilir. Burada jel sıvı faza yakın üç boyutlu sürekli bir ağ içerir. Sol parçacıkları Van der Waals ya da hidrojen bağları ile etkileşebilir. ZnO jel, cam altlıklar üzerine 1 dk da 1000 rpm döndürme hızında kaplandı (Şekil 3.4). Kaplamadan sonra numuneler 1 saat boyunca $450\text{ }^\circ\text{C}$ 'de azot gazı atmosferinde tavlandı. Bu işlemle filmlerde oluşabilecek kusurların azaltılması hedeflendi. Daha sonra p-Si için omik kontak yapmak için Al, kristalin mat yüzeyine kaplandı (Şekil 3.5). ZnO jel ise p-Si parlak yüzeye dönük kaplama yöntemi (spin coating) ile kaplandı. Daha sonra ZnO film üzerine çapı 1 mm olan molibden bir maske kullanılarak Al kaplandı. Böylece Al/ZnO/p-Si heteroeklem yapısı elde edilmiş oldu. Kristallerin kendilerine ait olan atomik dizilimlerinin karakteristik X ışınlarını kırma esasına dayanan bir yöntem olan XRD ile ZnO ince filmlerin yapısal karakteristikleri $Cu\ K\alpha$ ışınması kullanılarak analiz edildi (Şekil 3.6). Elektronlar kullanarak numune yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasını sağlayan bir sisteme dayanan taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile ince filmlere ait elemental analiz için EDX ölçümleri için alındı (Şekil 3.7). Yüksek çözünürlüklü görüntüleme imkânı sağlayan Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile de numunelerin yüzey morfolojisi ölçümleri kaydedildi (Şekil 3.8). AFM numune yüzeyinin topografik görüntüsünün tip ve yüzey arasındaki etkileşime dayalı olarak gerçekleştirildiği taramalı probe mikroskobunun bir çeşidir. Nanometre skalasında görüntü almak için kullanılan önemli araçlardan biridir. Bu sistem sayesinde film kalınlığını tahmin etmek de mümkündür. Bu cihaz sayesinde ortalama film kalınlığı 115 ± 0.5 nm olarak tahmin edildi.

Optik karakterizasyon UV spektroskopu ile (Shimadzu UV-VISNIR 3600 spectrophotometer) belirlendi (Şekil 3.9). Moleküler titreşimler hakkındaki bilgi Raman spektroskopu ile sağlandı (Şekil 3.10). Keithley 2400 voltaj kaynağı ZnO/p-Si heteroeklemlerin akım-voltaj ($I-V$) karakterizasyonu için kullanıldı. Ölçümler özel yapım bir platformda (probe station) gerçekleştirildi (Şekil 3.11). Ölçümler ± 2 V voltaj aralığı seçilerek gerçekleştirildi.



Şekil 3.2. Ultrasonik banyo



Şekil 3.3. Manyetik karıştırıcı (hot plate)



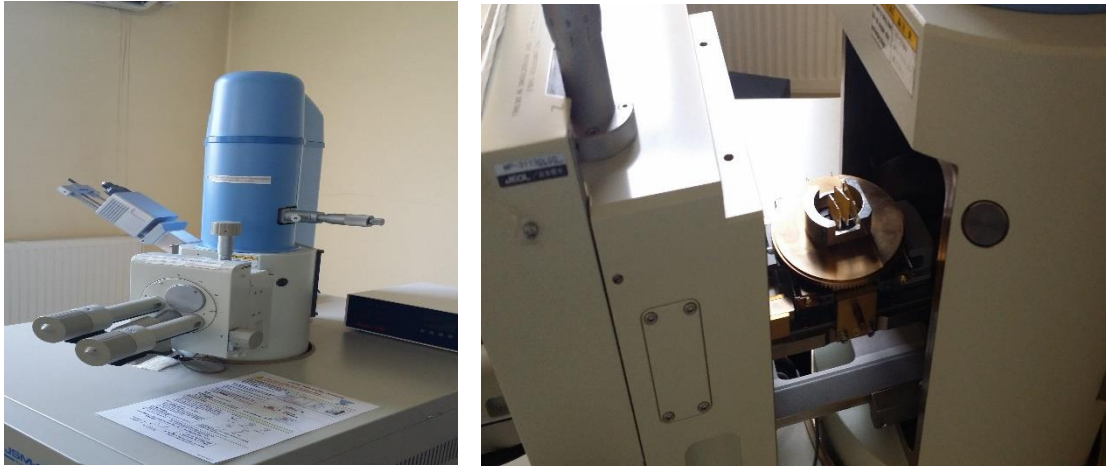
Şekil 3.4. Dönel kaplama cihazı



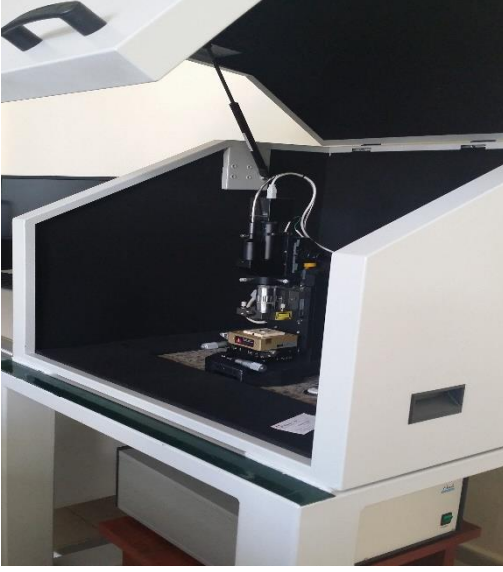
Şekil 3.5. Metal kaplama cihazı



Şekil 3.6. XRD cihazı (X-ray diffraction)



Şekil 3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)



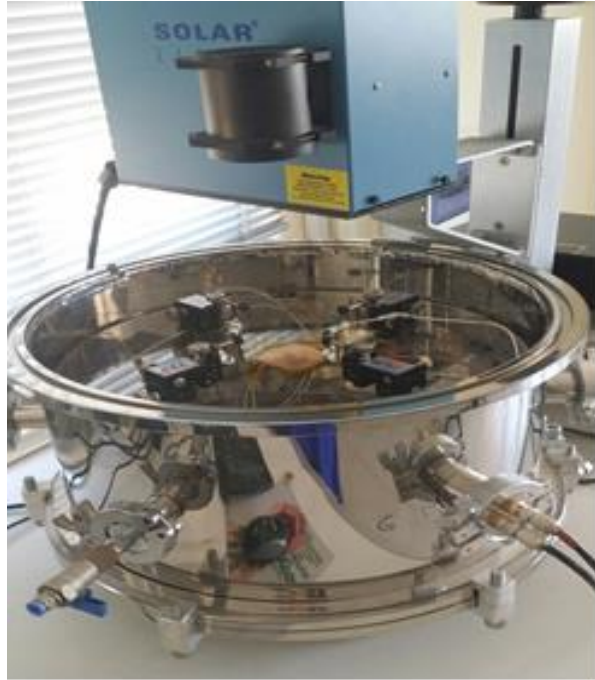
Şekil 3.8. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)



Şekil 3.9. UV-vis spektrofotometre



Şekil 3. 10. Raman cihazı

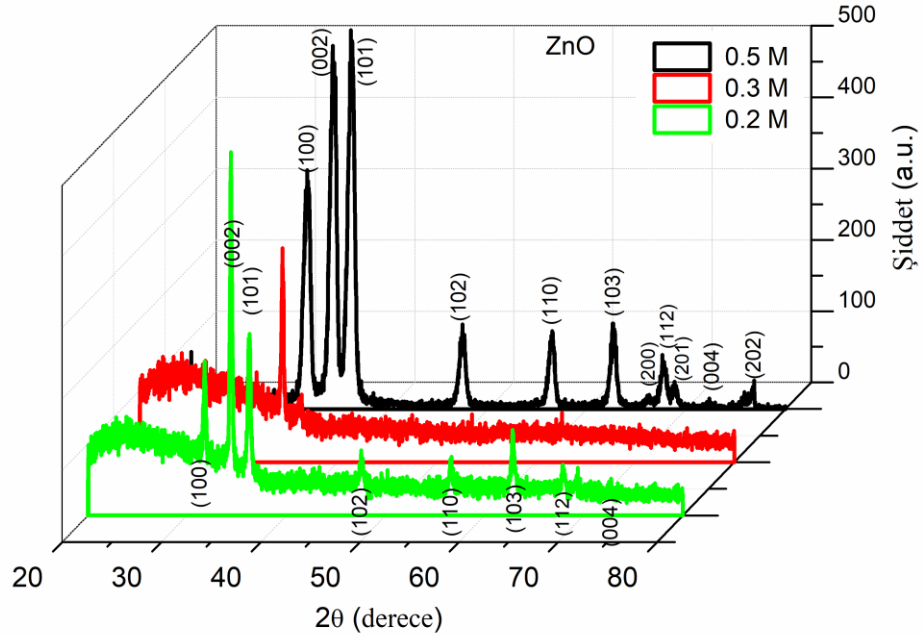


Şekil 3. 11. Probe station sistemi

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. ZnO İnce filmlerin Yapı, Yüzey ve Optik Karakteristikleri

Şekil 4.1 farklı molar konsantrasyonlarda hazırlanan ZnO ince filmlerin XRD (X-ray diffraction) ölçümlerini gösteriyor. Kristal yapı parametrelerini belirlemek için Rietveld analizi (Rietveld Refinement) kullanıldı. XRD spektrumu ZnO ince filmlerin (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004) ve (202) daki difraksiyon düzlemlerine karşılık gelen bütün karakteristik piklerini gösteriyor.



Şekil 4.1. ZnO ince filmlerin molariteye bağlı XRD ölçümleri

Başka bir çalışmada pulslu lazer depozisyon (pulsed laser deposition, PLD) tekniği kullanılarak elde edilen ZnO ince filmler 2θ nın 20-60° aralığında (002) düzlemine karşılık gelen sadece bir adet pik veriyor (Batra 2013). ZnO, P63 /mc uzay grubuna sahip

hegzagonal wurtzite bir yapıya sahiptir. Pikler, uluslar arası toz difraksiyon standartları komisyonunun (Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS)) data kütüphanesindeki değer (card No. 36-1451) ile oldukça iyi bir uyum gösteriyor. Baskın pikler, 2θ nın $27-33^\circ$ olduğu Bragg açısında baskındır. Difraksiyon piklerindeki yükselme, ZnO nun örgüsünde yapısal bir deformasyon meydana getirmeksizin çözeltinin molar konsantrasyonunun farklı değerleri için görülüyor. 0.5 M lık konsantrasyonuna sahip çözelti ile hazırlanan ZnO ince filmlerin XRD pikleri, filmin daha iyi kristalliğini göstererek, daha yoğun ve dar şekillere sahiptir. Bununla birlikte, 0.2 M çözelti konsantrasyonuna sahip ZnO ince filmler, 0.3 M lık numune kıyasla daha iyi kristallik sergiliyor. Yarı maksimumdaki tam genişlik (full width at half maximum, FWHM), 0.3 M'a kadar molar konsantrasyondaki artış ile azalırken, 0.5 M için arttığı Tablo 4.1'den görülüyor. Pik şiddeti, ZnO ince filmlerin yüzey yönelimi üzerine çözelti molaritesinin etkisini göstererek, 0.5 M lık çözelti konsantrasyonu için yüksektir. Bileşen elementlerin içeriği deformasyon yöneliminin tipi üzerine bir etkiye sahiptir. Yönetime bağlı özellikler, magnetiklik, elastiklik stress ve uzamayı etkiler. Düzlemin yönelim katsayısı (texture coefficient) $TC(hkl)$ yüzeyin tercihli yönelimi ile özelleştirilir ve (Benhaoua 2014) de verildiği gibi tahmin edilir.

$$TC_{(hkl)} = \frac{I_{(hkl)} / I_{0(hkl)}}{N^{-1} \sum_n I_{(hkl)} / I_{0(hkl)}} \quad (4.1)$$

Burada, $I(hkl)$ düzlemin ölçülen relative şiddetidir. N difraksiyon piklerinin sayısını temsil eder. $I_0(hkl)$, JCPDS datadan alınan düzlemin standart şiddetidir. Molar konsantrasyona bağlı olarak, düzlemin texture katsayıları Tablo 4.1'de veriliyor. Eğer bu katsayı 1'e eşitse, Kristal yöneliminde bir rasgelelik söz konusudur (Fang 2014). Bütün numuneler için baskın pikler, ince filmlerin yüzeyinin (100) düzlemi boyunca yönlendirildiğini gösteriyor. 0.5 M için belirlenen (100) pikinin katsayı değerleri, diğer numunelere kıyasla yüksektir. Konsantrasyon 0.2 M dan 0.3 M'a artırıldığında (002) pikinin katsayı değeri 2.55'den 2.60'a artıyor. Bu katsayıdaki artış, tane sınırı uyumsuzluğunda bir artışa neden olsa bile ince filmlerde ilave bir gözenekliliğe (porosity) neden oluyor. Artan porosity gaz sensörü mekanizmasında duyarlılık için bir potansiyele sahiptir (Kumar 2015). (100) düzlemi için katsayıdaki azalma, eklem için enerji seviyeleri gibi davranarak, arayüzey halleri yaratarak, düzlem boyunca doymuş

(saturated) bağlar oluşturabilir. Texture analizi gaz adsorbsiyonu ve desorbsiyonunu etkileyerek, faktörler hakkında bilgi sağlar.

Yarı maksimumdaki tam genişlik (Full width at half maximum FWHM), kristalliğin çözelti molaritesine bağlılığın bir göstergesidir. Ortalama kristal boyutuyla ters orantılı olan FWHM Scherrer denklemi kullanılarak ZnO için kristal boyutunu belirlemeyi mümkün kılar. Ortalama kristal boyutu aşağıdaki gibi verilir (Ghosh 2004).

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.2)$$

Burada, λ 1.54 Å'lık değere sahip x-ışınının dalga boyudur. β ise FWHM'dur. 0.94 olarak verilen değer korelasyon değeridir. θ ise Bragg açısıdır. Burdan elde edilen D değerleri Table 4.1'de veriliyor. Kristal boyutu artan molarite ile artıyor. Ancak, molaritenin daha da artışı ile bu azalma eğilimine giriyor. Benzer değişimi literatürden de görmek mümkündür. (Chaitra 2016; Habubi 2015) Dolayısıyla çözelti molaritesi Kristal boyutu üzerine bir etkiye sahiptir. Tane boyutu büyütme oranı, çözeltini bekleme süresi ve çekirdeklenme gibi hazırlama şartlarından da etkilenir. Lines/m² biriminde dislokasyon yoğunluğu (δ), ve Kristal boyutuna bağlı olarak zorlama değerleri (ε) aşağıdaki gibi verilir. (Ghosh 2004)

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos\theta}{4} \quad (4.4)$$

Tablo 4. 1. ZnO ince filmler için bazı yapısal parametreler

Molarity (M)	2 θ (°)	FWHM	<i>hkl</i>	<i>I</i> ₀	<i>I</i> _{<i>hkl</i>}	TC _{<i>hkl</i>}
0.5	31,77	0,740	100	55,1	59,26	2,817
	34,43	0,717	002	41,2	94,51	2,603
	36,26	0,747	101	100	100	2,475
	47,55	0,740	102	22,8	19,2	1,911
	56,60	0,675	110	34,2	18,02	1,625
	62,87	0,675	103	31,0	18,56	1,477
	66,38	0,750	200	4,8	2,01	1,407
	67,96	0,670	112	26,2	9,58	1,378
	69,10	0,720	201	12,9	4,37	1,358
	72,59	0,310	004	2,1	1,25	1,301
	76,97	0,390	202	4,7	2,76	1,238
0.3	34,35	0,226	002	41,2	100	2.603
	31,70	0,226	100	55,1	59,20	2,767
0.2	34,41	0,238	002	40,1	100	2,551
	36,15	0,293	101	100	56,94	2,432
	47,50	0,265	102	22,3	23,12	1,876
	56,53	0,240	110	33,5	12,5	1,597
	62,74	0,280	103	30,2	25,16	1,449
	67,87	0,275	112	25,3	11,73	1,354
	69,35	0,263	201	12,6	3,56	1,335

Tablo 4. 2. ZnO için bazı yapısal ve optik parametreler

Molarite (M)	0.2	0.3	0.5
<i>E</i> _u (meV)	213	236	108
<i>E</i> _g (eV)	3,28	3,25	3,22
<i>d</i> _{<i>hkl</i>} (200)	2,611	2.608	2,608
Kristal boyutu (<i>D</i>) (nm)	42,25	44,47	14,03
Örgü sabiti <i>a/c</i> (°Å)	3.195/5,102	3.249/5,205	3.249/5,205
Dislokasyon yoğunluğu (δ) x10 ¹³ lines/m ²	5,600	5,057	50,800
Zorlama (ϵ)x10 ⁻³	0,856	0,814	2,58
<i>E</i> ₀ (eV)	6,176	6,879	4,043
<i>E</i> _d (eV)	4,265	6,338	4,056

Dislokasyon yoğunluğu (002) piki düşünülerek değerlendirildi. Bu değerler Tablo 4.2 'de veriliyor. Hem dilokasyon değerleri hem de zorlanma değerleri, artan konsantrasyon ile

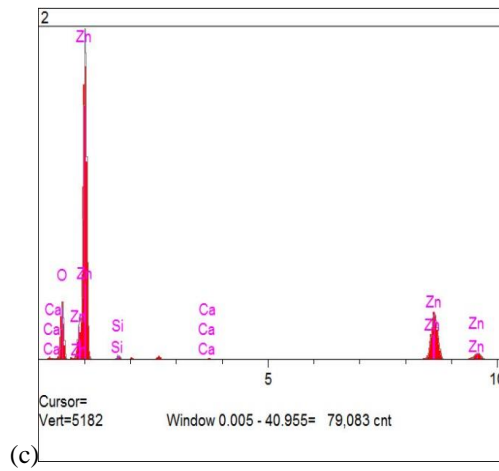
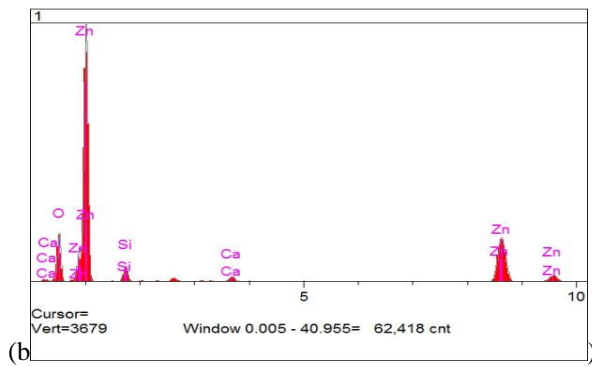
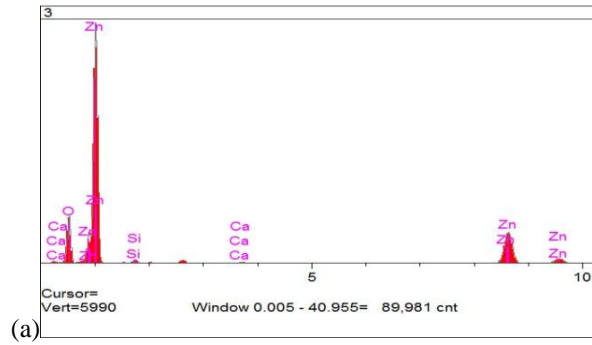
azalıyor. Parametreler 0.5 M için bir artış içeriyor. Dislokasyon yoğunluğu numunelerimiz için 10^{13} mertebesinde bir değer gösteriyor. Bu değer, Alkhayatt and Hussian tarafında spray metodu ile oluşturulan nanokristal ZnO için elde edilen 6.395×10^{14} değeri ile kıyaslandığında düşüktür (Alkhayatta 2017)

Wurtzite yapı için örgü (latis) parametreleri olan “a” ve “c” (hkl) düzlemleri arasındaki mesafe (d_{hkl}) nin tersinden belirlenebilir. Örgü parametresi aşağıdaki ifadelerden elde edilebilir (Culllty 1967).

$$a = \frac{\lambda}{2} \frac{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{\frac{1}{N} \sum I(hkl) / I_0(hkl)} \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \frac{(h^2 + hk + k^2)}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4.6)$$

(002) düzlemi için belirlenen örgü parametreleri Tablo 4.2’de veriliyor. ZnO poli Kristal toz için standart değerler, $a = 3.249 \text{ \AA}$, $c = 5.201 \text{ \AA}$.Li 2008)0.5 M konsanrasyona sahip numune için c/a oranı 1.6 olarak bulundu. Bu, literatürde termal oksidasyon ile elde edilen ZnO için bulunan değer ile oldukça uyumludur. (Rusu 2011). c/a oranı molar konsantrasyon arttıkça standart değere yaklaşıyor. Elemental analiz EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) spektroskopisi yoluyla yapıldı. Sonuçlar Şekil 4.2a-d’de veriliyor. Zn ve O elementlerinin varlığını teyit ediyor. Şekil 4d.’den görüldüğü gibi Zn oranı molarite arttıkça artıyor.



Elt.	0.5 M	0.3 M	0.2 M	
	Kons.	kons.	kons.	Birim
O	29.978	33.417	28.394	wt. %
Si	1.386	1.683	6.375	wt. %
Ca	0.227	0.336	1.680	wt. %
Zn	68.409	64.564	63.551	wt. %
	100.000	100.000	100.000	wt. %

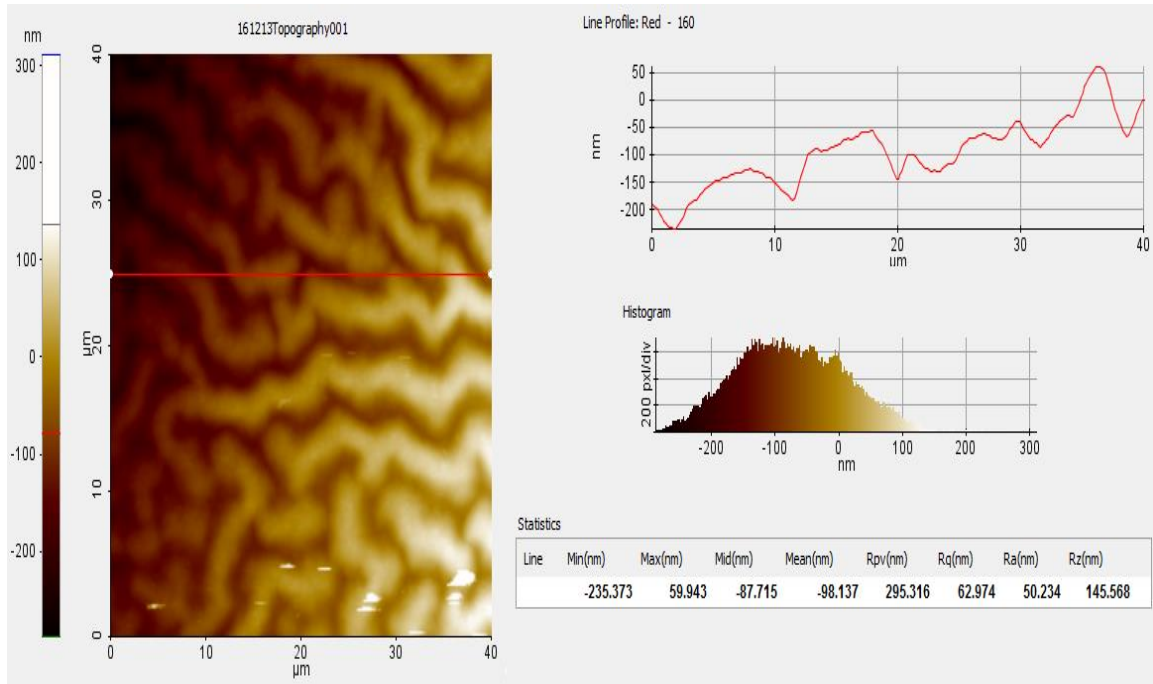
(d)

Şekil 4.2. a-d. (a-c) ZnO ince filmleri için EDX sonuçları, (d) materyal için atomik yüzdeye karşılık gelen elementler

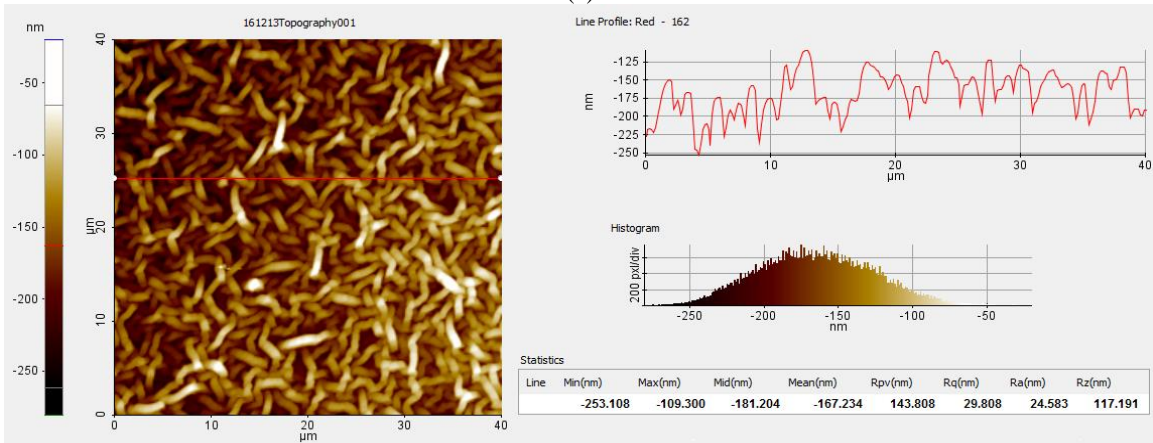
Şekil 4.3 a-c ZnO ince filmler için AFM görüntülerini gösteriyor (sırasıyla 0.2 M, 0.3 M ve 0.5 M). AFM sonuçları, mikrofiber yapıların varlığını ortaya koyuyor. Molar konsantrasyon attıkça nanoparçacıklara sahip yüzey daha baskın hale geliyor. Yüzey pürüzlülüğü (roughness) işlenmiş yüzey halini gösteriyor. Yüzey parametreleri, mutlak değerlerin aritmetik ortalaması (R_a), kök ortalama kare (R_q), her genlik uzunluğundaki en yüksek pik ve en düşük vadi arasındaki ortalama uzaklık (R_z) ve maksimum pik yüksekliğini (R_p) gösteriyor. Yüzey pürüzlülüğünün molar konsantrasyonun ile değiştiği görülüyor. Bu değer 0.5 M için en düşük olarak rapor edildi.

Şekil 4.4a ZnO ince filmler için molaritenin fonksiyonu olarak dalgaboyuna karşılık geçirme ($T-\lambda$) eğrilerini gösteriyor. Yaklaşık 300 nm'de bir soğurma kenarı görülüyor. Ortalama geçirgenlik %80'in üzerindedir. Soğurma kenarının azalan molarite görünür bölgede optik bant aralığında bir değişim göstererek, mavi dalga boyuna yükseldiği görülüyor. Geçirgenlik gelen ışığın dalgaboyu ile değişiyor. İnfrared bölgede artan molarite ile azalıyor. Geçirgenlik Zn/O stikiyometrik oran (stoichiometric ratio) ile de ilgilidir. Bu oran 1'e yaklaştıkça geçirgenlik iyileşti (Panda 2012). Çalışmada geçirgenlik, molar konsantrasyon ve Zn/O oranı azaldıkça 2.28'den 1.93'e arttı. Molaritedeki daha da artış ile geçirgenlik artıyor, ancak Zn/O oranı ile artmıyor. ZnO ince filmlerin spektrumu, elektronik geçişler göstererek, 581 nm ve 663 m'de karakteristik soğurma bantları verdi. Zayıf olarak görüne pikler, karakteristik p-d ($O_{2p} \rightarrow Zn_{3d}$) ve d-d geçiş seviyeleridir (Yu 2006, Zak 2011).

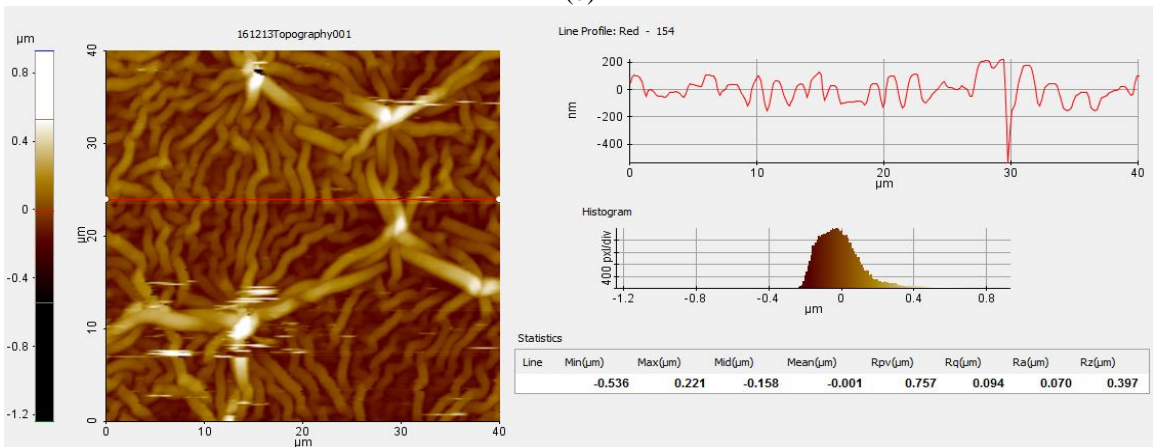
Şekil 4.4b ZnO ince filmler için molaritenin fonksiyonu olarak dalgaboyuna karşılık yansıma (reflectance-wavelength, $R-\lambda$) eğrilerini gösteriyor. Değişen çözelti molaritesi ile yansımanın kontrol edilebileceği görülüyor. Muhtemelen artan konsantrasyon ile kristal sınırlarındaki saçılmadan dolayı yansıma arttı. Şekil 4.4c ZnO ince filmler için molaritenin fonksiyonu olarak dalgaboyuna karşılık soğurma ($A-\lambda$) eğrilerini gösterdi. Valans bandında iletkenlik bandına elektronları uyarmak için güçlü bir soğurma görüldü. Molarite 0.2 M'de 0.5 M'ye artarken, soğurma UV bölgede artıyor. Soğurma 400 nm'den küçük dalga boylarında, ZnO ince filmlerin asal (intrinsic) bant aralığı soğurması (serbest taşıyıcı soğurması) göstererek önemli bir artış sergiledi.



(a)

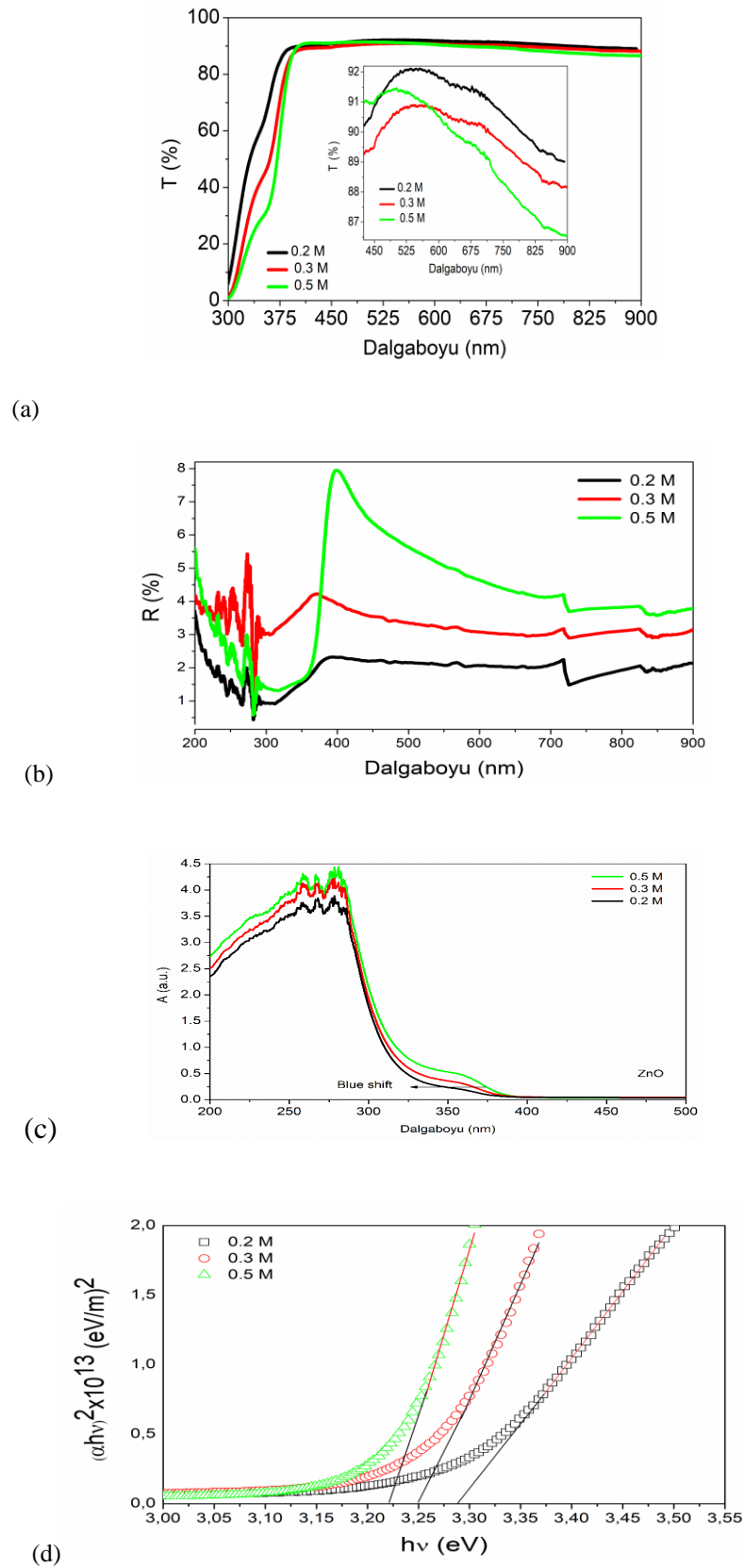


(b)



(c)

Şekil 4.3. a-c. ZnO ince filmler için $40 \times 40 \mu m^2$ alanda AFM görüntüleri (a) 0.2 M, (b) 0.3 M ve (c) 0.5 M



Şekil 4. 4. a-d. (a) Geçirime spektrumu (b) yansımaya spektrumu (c) soğurma spektrumu (d) molaritenin fonksiyonu olarak $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ eğrileri

Optik soğurma ölçümlerinin analizi filmin optik bant aralığını (yasak enerji aralığı, E_g) elde etmek için gerçekleştirilir. Optik bant aralığı aşağıdaki eşitlik ile verilir (Mott 1940).

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (4.7)$$

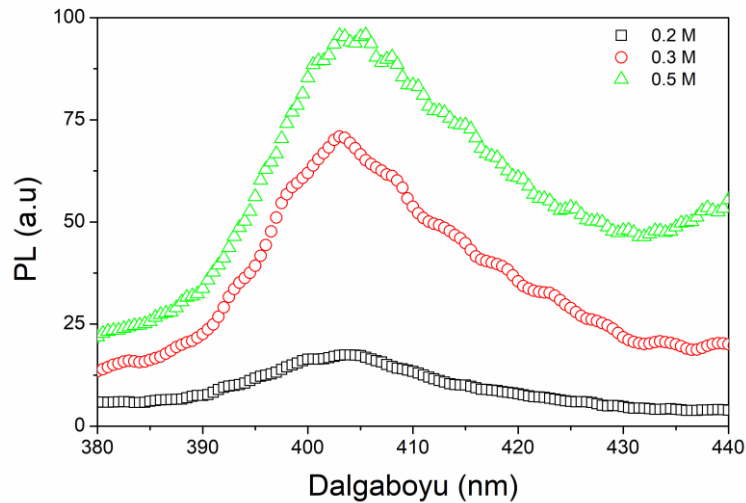
Burada B bir sabittir. α soğurma katsayısı, E_g bant aralığı, $h\nu$ foton enerjisi ve n optik geçişin karakterini belirleyen bir indistir. İzinli direct için $1/2$, yasaklı direct için $3/2$, izinli indirek için 2 ve yasaklı indirect için 3 tür. $(\alpha h\nu - h\nu)^2$ eğrisinden Tauc metodu ile en iyi fit elde edilir (Şekil 4.4d). ZnO filmlerin optik bant aralığı izinli direct geçişe sahiptir. Optik soğurma katsayısı ($\alpha \geq 10^4 \text{ cm}^{-1}$) direct bantından bant geçişini gösteriyor. Optik bant aralığı (E_g) değerleri Tablo 4.2’de veriliyor. Bant aralığı üzerine molar konsantrasyonun etkisi baskın bir şekilde görülüyor. E_g değerleri 3.28 eV, 3.25 eV ve 3.22 eV olarak sırasıyla 0.2 M, 0.3 M ve 0.5 M için elde edildi. ZnO ince filmler için direkt bant aralığı literatürde 2.20 eV’den 3.30 eV’a kadar genişleyen bir aralıkta elde edildi (Raghavendra 2017; Millesi 2017; Zubkins 2017) Bant aralığı ZnO elde edilirken, sol-jel, metalorganic vapour phase epitaxy (MOCVD), DC (reaktif magnetron co-sputtering from metallic Zn ve spray pirolizis method) gibi kullanılan sentez metoduna bağlı olarak değişebilir. E_g ZnO’daki yük taşıyıcılarının miktarı ve rasgele kristal dağılımı ile de değişebilir. Daha yüksek konsantrasyonda enerjideki artış lokalize hallerden kaynaklanıyor olabilir. Haller yapısal bozukluklar dikkate alınarak bazı kusurlar ve oksijen boşluklarından meydana gelebilir (Mohamed 2016). Bununla birlikte molaritedeki artış ile Kristal ölçüsündeki artışın sonucu olarak bant aralığında bir azalma olduğu görülüyor. Dolayısıyla bu parametreler arasında bir ilişki olması beklenir (Özgür 2005). Kristal boyutu ve bant aralığı arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilir (Marotti 2006).

$$E_g = E_g(\infty) + E_b \left(\frac{\pi a_b}{R} \right)^2 \quad (4.8)$$

Burada $E_g(\infty)$ bulk band gap, E_b eksiton bağlanma enerjisidir ve ZnO için yaklaşık 60 meV’dur. a_b eksiton Bohr yarıçapıdır, R nanokristal yarıçapıdır ($D/2$). Bu durumda 0.2 M, 0.3 M ve 0.5 M için elde edilen bant aralıkları 3.20 eV, 3.23 eV ve 3.24 eV olarak

elde edilmiştir. Optik bant aralıklarının Kristal ölçüsü ile değiştiği deneysel olarak yanısıra teorik olarak da teyit edilmiştir.

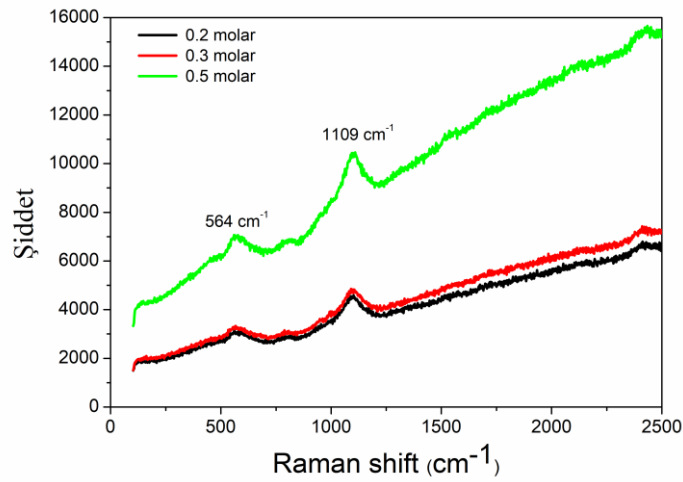
Molaritenin fonksiyonu olarak fotoluminesans (PL) ölçümleri Şekil 4.5’de veriliyor. Bütün numuneler için yakın bant aralığı emisyonu 370 nm uyarma dalgaboyuna altında ortaya çıktı. PL ölçümü 0.2 M için yaklaşık 402 nm’de merkezlenen geniş bir pik gösterdi. Pik maksimumu molaritenin değişimi ile hafifçe yükseliyor. Pik şiddeti 0.5 M için en yüksektir. FWHM için azalma artan molar konsantrasyon ile başarıyor. Pik şiddetindeki azalma non radiative rekombinasyon mekanizmasından kaynaklanıyor. PL’in kırmızı banda geçiş emisyonu, örgü bükülmesi, elektron-fonon etkileşimi ve lokalize yük taşıyıcıları gibi kusur yoğunluğu içeren tabakalara atfedilir (Yang 2009, Mahamuni 1999). PL ölçümleri bant aralığını tespit etmeye yardımcı olur. Bu yöntemle bulunan bant aralığı 3.08 eV olarak belirlendi ve bu değer soğurma ölçümlerinden elde edilene kıyasla düşüktür.



Şekil 4.5. ZnO ince filmler için fotoluminesans spektrumu

Raman ölçümleri taşıyıcı electron, faz yönelimi düşük frekans geçişleri ve transport özellikleri ile fonon etkileşiminin analiz hakkında numuneye zarar vermeyen bir metot sunar. Şekil 4.6 ZnO ince filmler için Raman ölçümlerini gösteriyor. Uyarma dalga boyu ($\lambda_{incidence}$) 532 nm’dir. Raman saçılması 200nm-2500 nm dalgaboyu aralığında molaritenin fonksiyonu olarak kaydedildi. Bütün numuneler ZnO’da fonon dispersiyon ayrılması göstererek pikler vermiştir. Pik pozisyonları molar konsantrasyona zayıf

bağıllık gösterdi. En yüksek pik şiddeti 0.5 M molariteye sahip numune için elde edildi. ZnO hegzagonal wurzite yapıya sahip olduğu için saçılma c-ekseni boyunca meydana geliyor (Sundara Venkatesh 2016). 564 cm^{-1} de FWHM 64.43 cm^{-1} , 82.56 cm^{-1} ve 78.42 cm^{-1} olarak sırasıyla, 0.5 M, 0.3 M ve 0.2 M için belirlendi. Bu durumda, FWHM sonuçları XRD ile uyumlu bilgiler vererek 0.5 M molariteye sahip ZnO numune için kristal kalitesinin daha iyi olduğunu teyit ediyor (Mwankemwa 2017). Raman spektroskopisi sonuçları oksijen atomlarının titreşimini ve ZnO'nun wurzite yapısını tanımladı. Bu durumda 1109 cm^{-1} deki pik $2 A_1^{high}$ boyuna optik fononlar ile ilgilidir.



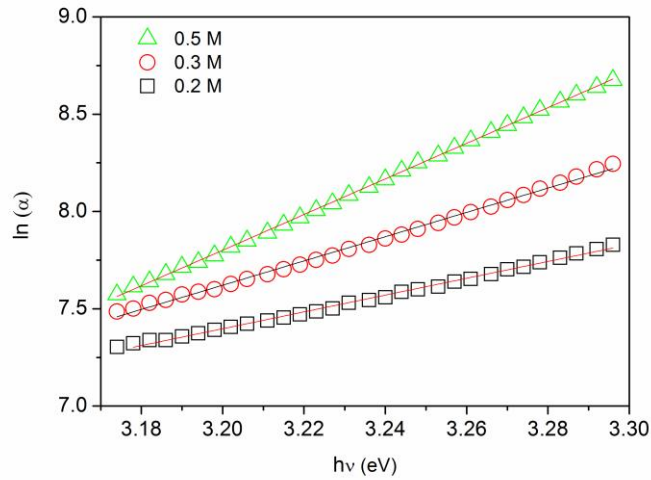
Şekil 4.6. ZnO ince filmler için Raman ölçümleri

Bant aralığındaki lokalize haller ile ilgili soğurma spektrumunun foton enerjisine eksponansiyel bağıllığı Urbach-Martienssen kuraklanması olarak bilinen ve bir teori ile ifade edilir. Bu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{E}{E_u}\right) \quad (4.9)$$

α_0 bir sabittir, E_u ise Urbach enerjisidir. Şeki 4.7 $\ln(\alpha)-h\nu$ eğrilerini farklı çözelti molar konsantrasyonları ile hazırlanan ZnO ince filmler için gösterdi. Eğriler Urbach enerjisini belirlemek için lineer oranın ters gradiyenti teşkil edilerek oluşturuldu. Urbach kuyruğu kirlilik, filmdeki bozukluklar ve hal yoğunluğu gibi mümkün kirliliklerin varlığına

atfedilir. Urbach enerjisi için belirlenen değerler Tablo 4.2’de molaritenin fonksiyonu olarak veriliyor. Urbach enerjisinin en düşük değeri 0.5 M molar konsantrasyona sahip ZnO örneği için elde edildi. Urbach enerjisinde görülebilen bir artış film kalitesindeki bozulmanın da bir göstergesi olarak kabul edilir. Molaritedeki değişim ZnO’daki mesafeyi değiştiren zorlanmaya neden olabilir. Urbach enerjisi ile ilgili olan filmdeki bozukluk atomlar arası mesafeden dolayı local olarak bir bağıllık gösterir. Kırılma indisi ile ilgili eksiton katsayısı Urbach kuyruklanması ile birleştirilir (Al-Kuhaili 2012).



Şekil 4. 7. ZnO filmler için molariteye bağlı $\log \alpha - h\nu$ eğrileri

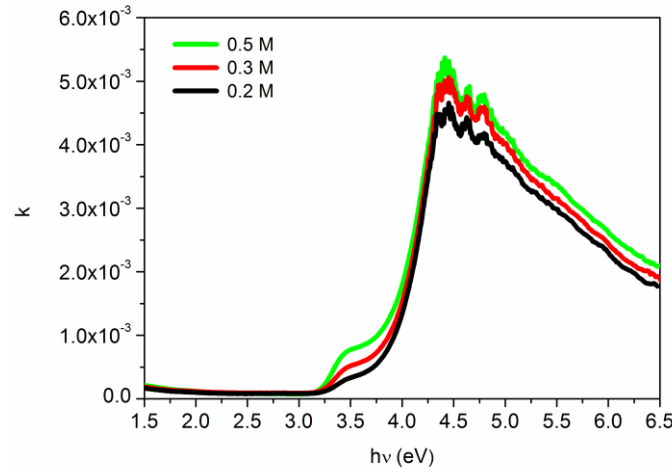
$$k = k_0 \exp\left(\frac{E - E_l}{E_u}\right) \quad (4.10)$$

Burada k_0 bir sabit, E_u Urbach bant enerjisi ve E_l soğurmanın artışa geçtiği enerji değeridir. Soğurma ve eksiton katsayısı (k) benzer karakterler gösteriyor. Şekil 4.8 molaritenin fonksiyonu olarak foton enerjisine karşılık eksiton katsayısının eğrilerini gösteriyor. Eksiton katsayısı normal dispersiyon davranışı göstererek molariteye bağlı bir değişim gösteriyor. Bu değişim bazı sonuçlar ortaya koyuyor. Eksiton katsayısı ve kompleks kırılma indisi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi verilir.

$$n^*(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda) \quad (4.11)$$

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (4.12)$$

$$n = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (4.13)$$



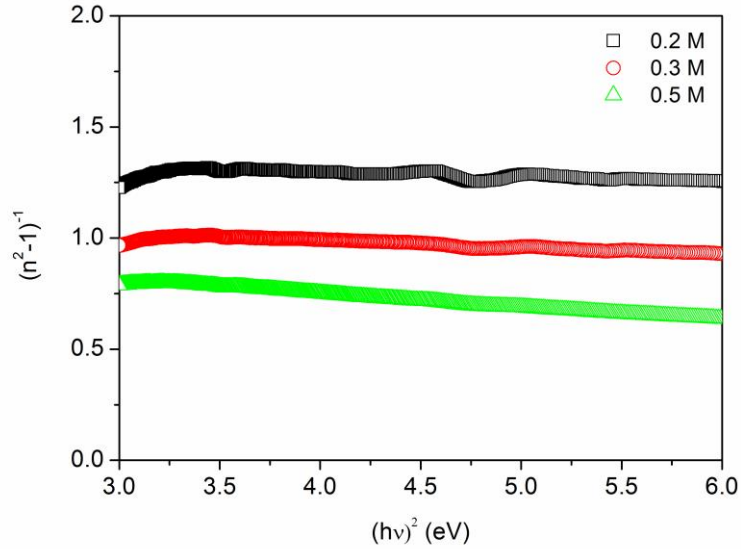
Şekil 4.8. ZnO filmler için molaritenin fonksiyonu olarak dalgaboyuna karşılık eksiton katsayısının eğrileri

Kırılma indisi dispersiyonu Wemple and DiDomenico'nun tek osilatör modeli kullanılarak değerlendirildi. Belirli bir frekansda kırılma indisi aşağıdaki gibi verilir (DiDomenico 1969):

$$n^2 = 1 + \frac{E_d E_0}{E_0^2 - (h\nu)^2} \quad (4.14)$$

Burada E_0 osilatör enerjisidir. E_d dispersiyon enerjisidir ve banttan banda optik geçiş yoğunluğu ile ilgilidir. Şekil 4.9. ZnO ince filmlerin molar konsantrasyonun fonksiyonu olarak $1/(n^2-1)$ vs. $(h\nu)^2$ değişimini gösterdi. E_d ve E_0 lineer bölgeye uyumlu fit ile tahmin edilir. Sonuçlar Tablo 4.3'de veriliyor. Molarite arttıkça osilatör enerjisi azalıyor ve 0.3 M için $E_0 = 2E_g$ değerine yaklaştığı görülüyor. 0.5 M için elde edilen 4.045 eV'luk dispersiyon enerjisi değeri, 0.3 M için elde edilen 6.388 eV'luk dispersiyon enerjisi değeri ile kıyaslandığında e düşük değere sahiptir. Bu dispersiyon enerjisinin molar

konsantrasyona ne denli bağılı olduğunu gösteriyor. Benzer bir çalışma Dhas ve ark. (Dhas 2017) tarafından da kobaltoksit (cobalt oxide, Co_3O_4) ince filmler için yapıldı. Onlar osilatör enerjisi ile bant aralığı arasına bir ilişki buldular ($E_0 = 1.5E_g$). Dispersiyon enerjisi (E_d), molarite ile değişen bantlar arası optik geçişlerin gücünü ortaya koymak için önemli bir parameter olarak görülebilir.



Şekil 4.9. ZnO ince filmler için molariteye bağılı $1/(n^2-1)^{-1}$ - $(hv)^2$ değişimi for ZnO ince filmler

Ayrıca, E_d/E_0 oranı; $n_0=(1+E_d/E_0)^{1/2}$ ilişkisinden statik kırılma indisi (n_0)'nin değerini bulmaya imkan sağlar.

Dielektrik boyunca transfer edilen toplam güç kaybı (volume and surface energy) önemlidir. Arzu edilen bir özellik olarak dielektriğin mükemmelliği kayıp faktörünün (dissipation factor, $\tan\delta$) düşük değerleri ile karakterize edilir. $\tan\delta$ faktörü aşağıdaki oran ile tanımlanır.

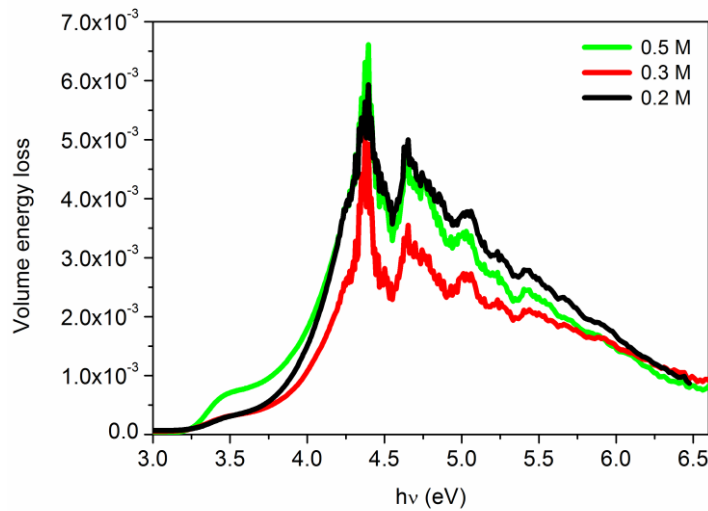
$$\tan \delta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (4.15)$$

Burada ε kompleks dielektrik sabitidir ve ε_1 ve ε_2 olmak üzere reel ve imajiner kısımlardan (real ε_1 , imaginary ε_2) meydana gelir. Bir kayıp modüllü sistemde kayıp faktörü $\tan\delta$ gücün kayıp oranı ile ilgilidir. Şekil 4.10 $\tan\delta - \lambda$ değişimini molaritenin fonksiyonu olarak gösteriyor. Şekilden görüldüğü gibi kayıp faktörü artan molarite ile artıyor. Enerji kayıp fonksiyonu optoelektronik aygıt uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Hacim ve yüzey enerji kayıp fonksiyonları (volume, surface energy loss) aşağıdaki gibi verilir (Salem 2003).

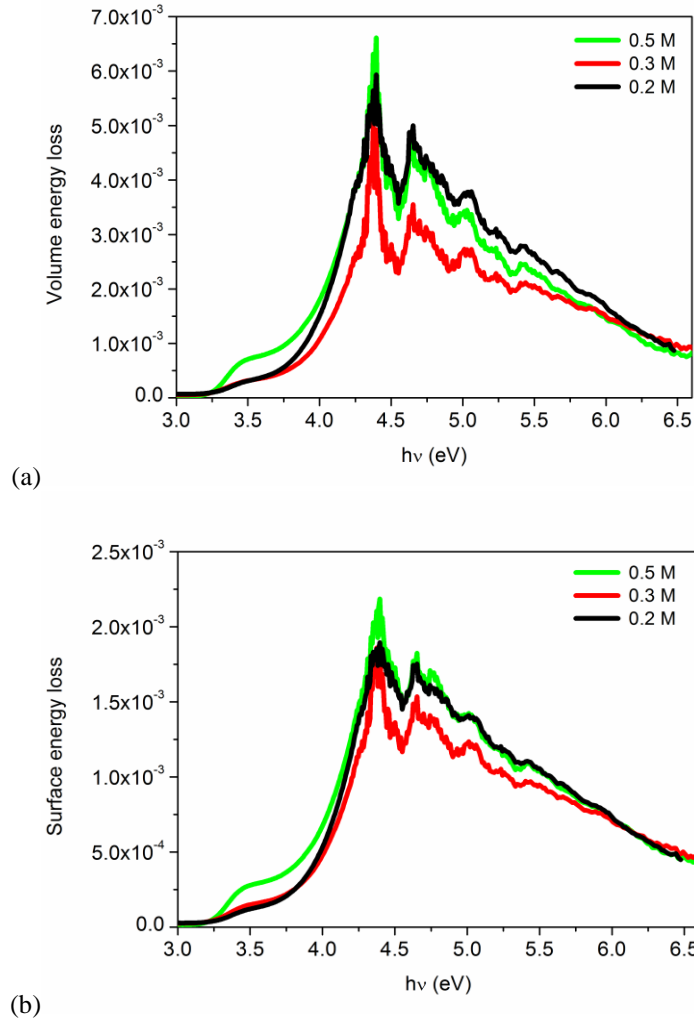
$$-\text{Im}\left[\frac{1}{\varepsilon^*}\right] = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2} \quad (4.16)$$

$$-\text{Im}\left[\frac{1}{\varepsilon^* + 1}\right] = \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 1)^2 + \varepsilon_2^2} \quad (4.17)$$

Şekil 4.11'de hacim ve yüzey enerji kaybına karşılık enerjinin değişimini veren eğriler molaritenin fonksiyonu olarak görülüyor. Yüzey enerji kaybı hacim enerji kaybına kıyasla daha küçüktür. Şekillerden bu değişimin molar konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak modellendiği görülüyor.



Şekil 4. 10. ZnO ince filmler için kayıp faktörü ($\tan\delta$)-dalga boyu eğrileri

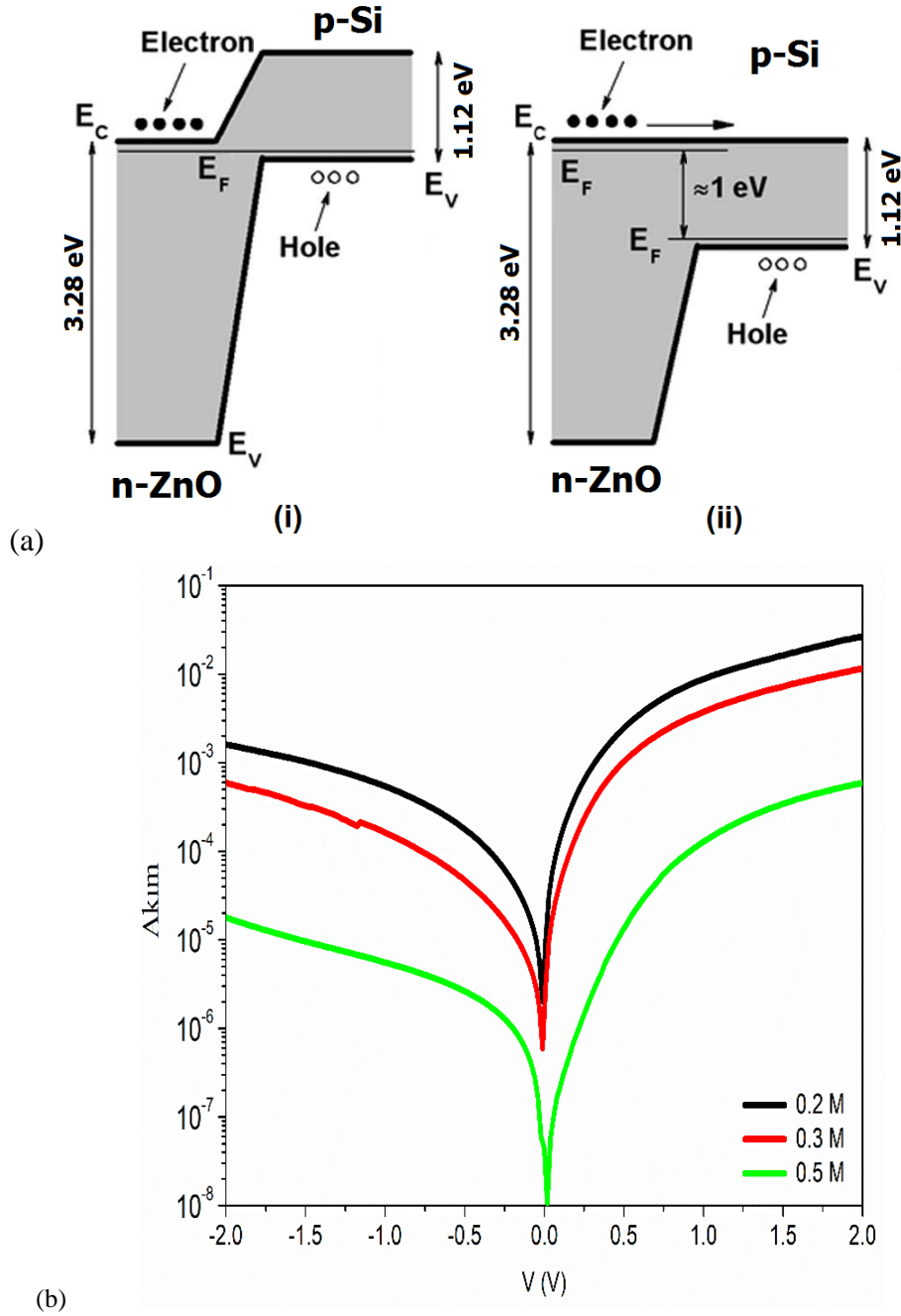


Şekil 4.11. ZnO ince filmler için enerjiye karşı (a) hacim enerji kaybı ve (b) yüzey enerji kaybı

4.2. ZnO/p-Si Heteroeklem diyotların Akım-Voltaj (I - V) Karakteristikleri

Şekil 4.12a düz beslem ve sıfır uygulama beslemi durumunda ZnO/p-Si heteroeklem diyot için enerji bant diyagramını gösteriyor. Bu şekildeki birinci sistem Fermi enerjisi seviyesinin ZnO ve p-Si boyunca sabit olduğunu termal denge durumunu gösteriyor. p-Si ile Aluminyum (Al) arasında omik kontak oluşturuluyor. p-Si tarafına bir düz beslem uygulandığı zaman eklem bir yönde akım akışına izi verir (Wang 2006). ZnO'nun iletkenlik bandındaki elektronlar için engel (elektronların injeksiyonu) Si tarafında hollerin karşılaştığı engele kıyasla düşüktür. Yaklaşık ~ 1 V'luk düz beslem durumunda, elektron injeksiyonun karşılaştığı engel ortaya çıkar (Şekil 4.12a ikinci diyagram).

Böylece ZnO'daki taşıyıcılar, difüzyon akımı ile sonuçlanarak Si tarafına difüze olabilirler. Şekil 4.12b çeşitli molar konsantrasyonlarda hazırlanan ZnO ince filmlere sahip Si tabanlı heteroeklemlerin akım-voltaj (I - V) ölçümlerini gösteriyor. ZnO/p-Si heteroeklemlerin doğrultucu davranış gösterdikleri görülüyor. Doğrultma özelliği asimetrik ve lineer olmayan eğrilerden geliyor. Gözlenen doğrultma ZnO ve p-Si arasındaki engelden kaynaklanıyor. Metal-yarıiletken Schottky engelini ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu düşünülür. Doğrultma oranı (RR) voltaja da bağlılık göstermektedir. Düz beslem yönünde beslem voltajı 0.54 V ötesine giderken, akım hızlı bir şekilde 0.54 V'da $17.9 \mu\text{A}$ 'den 2V'da 590 mA'ye artmaktadır. Bununla birlikte, negatif yönde ters beslem altında akım yavaşça artıyor ve -2 V'da $17.8 \mu\text{A}$ 'e ulaşıyor. Böylece doğrultma etkisinin düz beslem boyunca olduğu kanıtlanır. Heteroeklem yapısı için $I(+2 \text{ V})/I(-2 \text{ V})$ olarak verilen diyot doğrultma oranı 16.31-33.05 aralığında elde edildi. Doğrultma oranı artan molar konsantrasyon ile artıyor. Optimize molar konsantrasyon en iyi doğrultma oranı elde etmek için değerlendirilir. Farklı doğrultma özellikleri kusur kaynaklı elektrik dipol etkisinin varlığı ve arayüzey asimetrisine atfedilir (Li, 2013). Düz ve ters beslem yönünde I - V eğrilerinin yüksek simetrisi doğrultma oranını azaltır. Elde edilen sonuçlar molar konsantrasyonu ayarlayarak, transparan metal oksit tabanlı Si diyotlarda doğrultma özelliğini kontrol etmenin muhtemel bir yolunu gösteriyor. Bu durumda istenilen özelliklere sahip optoelektronik aygıtların üretilerek optimizasyon çalışmalarına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 4.12. (a) Termal dengede enerji-bant diyargamı, (b) ZnO/p-Si heteroeklemlerin I - V karakteristikleri

Molarite arttıkça, ZnO-p-Si heteroeklem diyotların düz beslem akımının azaldığı görülüyor. Sızıntı akımı ters beslem yönünde artan beslem voltajı ile yavaşça artıyor. Bununla birlikte daha yüksek sızıntı akımı azalan molar konsantrasyon ile görülüyor. ZnO'nun Fermi seviyesindeki yükselme sızıntı akımındaki artıştan sorumlu olduğu söylenebilir. Sızıntı akımı Deplasyon tabakası tünelleme kaynaklı akımlardaki rekombinasyon-generasyon (recombination-generation) bileşenlerini içerir (Faifer 2006).

Molar konsantrasyonun birleştirilmiş etkileri rekombinasyon merkezlerinin lokal yoğunluğunu değiştirerek sızıntı akımı ile sonuçlanır. Sızıntı akımının artışı, kusur kaynaklı iletkenlik düşünülerek, yüzey ve arayüzey özelliklerinin bozulmasının göstergesidir. Ters beslem sızıntı akımı geniş bant aralıklı Schottky engel diyotlarda daha büyüktür (Umezawa 2006).

Termiyonik emisyon teorisi akım yoğunluğu (J) ve voltaj (V) arasında aşağıdaki gibi verilen bir ilişki sağlar (Soylu 2014):

$$J = J_0 \exp\left(\frac{q(V - JR_s A)}{nkT}\right) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{q(V - JR_s A)}{kT}\right) \right\} \quad (4.18)$$

J_0 saturasyon akım yoğunluğudur ve aşağıdaki gibi verilir;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (4.19)$$

Burada ϕ_b engel yüksekliğidir. k , Boltzmann sabiti, A , etkin diyot alanı, A^* Richardson sabiti, n idealite faktörü, q elektronik yük ve T sıcaklıktır. $V - JR_s A$ terimi heteroeklem boyunca voltaj düşmesinin tanımlar. R_s seri dirençtir. Görünen engel yüksekliği (ϕ_b , BH) ve idealite faktörü (n) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A^* T^2}{J_0}\right) \quad (4.20)$$

$$n = \frac{q}{kT} \left[\frac{dV}{d \ln(J)} \right] \quad (4.21)$$

$\log I - V$ eğrisinin düz çizgi bölgesinin eğimi ve y ekseninin kesimi ϕ_b ve n değerlerini bulmaya imkan verir. Diyot parametreleri molar konsantrasyonun fonksiyonu olarak belirlendi. Engel yüksekliği ve idealite faktörünün artan molarite ile arttığı görülüyor.

Diyot parametrelerini belirlemek için I - V ölçümlerinin bütün datalarını dikkate alarak Norde fonksiyonu ($F(V)$) aşağıdaki gibi verilir (Norde 1979):

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.22)$$

Burada γ idealite faktöründen büyük boyutsuz bir sabittir. Şeki 4.13, $F(V)$ - V eğrilerini molaritenin fonksiyonu olarak gösteriyor. Norde Fonksiyonlarından ϕ_b ve R_s aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.23)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_0} \quad (4.24)$$

Bu fonksiyonlardan elde edilen değerler Tablo 4.3’de veriliyor. I - V eğrilerinden elde edilen parametreler ile Norde Fonksiyonlarından elde edilen parametrelerin birbiriyle uyumlu olduğu ve sonuçların doğruluğu da teyit ediliyor. “1” den büyük idealite faktörünün değeri akım iletkenliğinde saf termiyonik teorisinin dışında bir mekanizmanın varlığını gösteriyor (Card 1971).

Akımın voltaja bağlılığı metal-yalıtkan-yarıiletkenlerde (metal-insulator-semiconductor, MIS). Schottky emisyonu, Poole-Frenkel mekanizması ve uzay yükü sınırlı iletkenlik gibi baskın iletkenlik mekanizmaları ile açıklanır. Voltaj arttıkça ($V \leq 0.5$, $0.5 \leq V \leq 1.2$ V ya da $V \leq 2$), farklı akım rejimleri baskın olur. Schottky etkisine göre, akım yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir (Farag 2011):

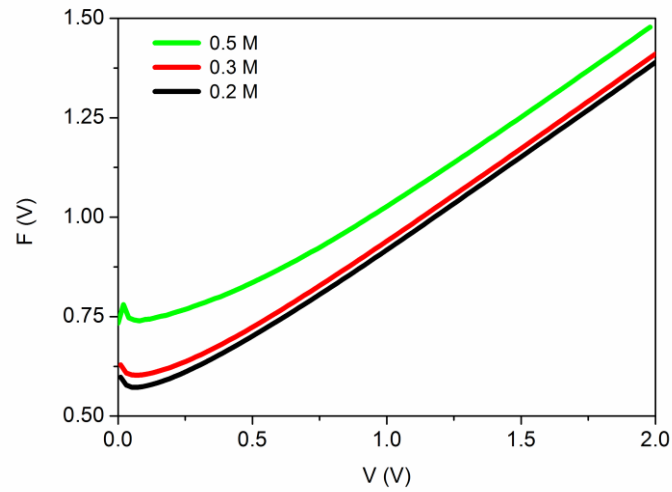
$$J = A^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{\beta_s E^{1/2}}{kT}\right) \quad (4.25)$$

Schotkky etkisi düşünülerek, akım yoğunluğu aşağıdaki formda yazılır:

$$J = J_0 \left(\frac{\beta_{PF} E^{1/2}}{kT} \right) \quad (4.26)$$

Burada, J_0 düşük alan akım yoğunluğudur ve $A \sigma_s F$ olarak verilir. F sembolü dış elektrik alandır. β_s ve β_{PF} Schottky ve Poole–Frenkel katsayılarıdır. Teorik değeri aşağıdaki gibi verilir:

$$\beta_s = \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \right)^{1/2} \quad (4.27)$$



Şekil 4. 13. $F(V)$ -voltaj eğrileri

Tablo 4.3. Diyot ve yük transport parametreleri

Molarity	0,2	0,3	0,5
Φ (eV) I - V	0,588	0,619	0,752
n	1,49	1,46	1,62
Φ (eV) Norde	0,593	0,623	0,766
R_s (ohm)	107,86	363,55	44718,05

Burada, E elektrik alan, ϵ ortamın dielektrik sabiti, ϵ_0 serbest uzayın geçirgenliğidir. Katsayılar arasındaki ilişki $2\beta_s = \beta_{PF}$ ile ifade edilir. β_s ve β_{PF} için teorik değerler

1.10×10^{-5} ve 2.21×10^{-5} $\text{eVm}^{1/2}\text{V}^{-1/2}$ olarak elde edildi. Şekil 4.14a yarı-logaritmik ters beslem akım yoğunluğunun voltajın kareköküne karşılık değişimini [(J_{rev}) vs. $V^{1/2}$] gösteriyor. Lineer bölgedeki düz çizginin eğiminde β değerleri 0.2 M, 0.3 M and 0.5 M için sırasıyla; 3.08×10^{-5} , 3.87×10^{-5} ve 1.29×10^{-5} $\text{eVm}^{1/2}\text{V}^{-1/2}$ olarak bulundu. β için hesaplanan ve teorik değerler özeltinin molar konsantasyonunun bir fonksiyonu olarak değişiyor. Bu, gövde (bulk) sınırlı iletkenlik mekanizması ve tek düze olmayan (non-uniform) elektrik alana atfedilir (Gould 1988).

Şekil 4.14b oda sıcaklığında düz beslem altında logaritmik skalada (log-log) çizilen $J-V$ karakteristiklerini gösteriyor. Farklı iletkenlik mekanizmalarını içeren iki ayrık lineer bölgenin olduğu görülüyor. Akım bir güç kanunu eksponantına uyuyor ($J \propto V^m$). Düşük voltaj bölgedeki eğim, düz beslem akımının omik iletkenlik olduğunu göstererek, ($V < 0.5$ V) yaklaşık ~ 1 'dir. Halbuki, eğimin yaklaşık 2 olduğu, daha yüksek voltajlarda ($1.2 < V < 2.1$ V) bir eksponansiyel tuzak dağılımı ile kontrol edilen uzay yükü sınırlı iletkenlik (SCLC) mekanizması, düz beslem akımının baskın tuzak dağılımı altında yük taşıyıcılarının sürüklenmesi ile kontrol edildiğini göstererek, gözlenir. Akım yoğunluğunun omik bölgesi aşağıdaki gibi karakterize edilir (Malik 1997):

$$J = P_0 e \mu \frac{V}{d} \quad (4.28)$$

Burada P_0 termal olarak üretilmiş hole yoğunluğudur, d kalınlıktır ve μ hole mobilitesidir. Tuzakların aktif olduğu SCLC bölgesinde akım yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$J = \frac{9 \mu \epsilon \epsilon_0}{8d} E^2 \quad (4.29)$$

Eğer serbest taşıyıcı yoğunluğu (p), tuzaklanmış taşıyıcı yoğunluğundan (p_t) daha düşük ise, akım yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir (Kumari 2008):

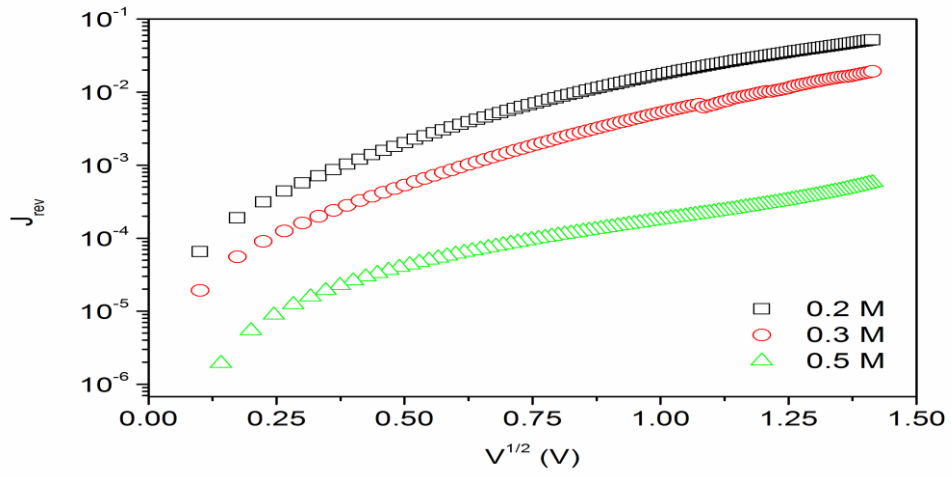
$$J = q \mu p(x) F(x) \quad (4.30)$$

F elektrik alanıdır. Toplam tuzak yoğunluğuna $N_t(E)$ sahip bir eksponansiyel tuzak dağılımının varlığında J için ifade aşağıdaki gibi yazılır:

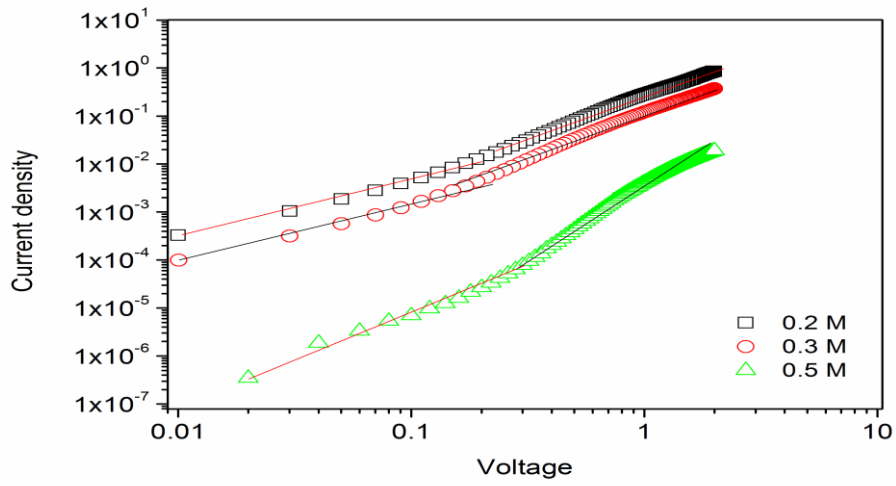
$$N_t(E) = \frac{H_b}{E_t} \exp\left(-\frac{E}{E_t}\right) \quad (4.31)$$

$$J = q^{1-l} \mu N_v \left(\frac{2l+1}{l+1}\right)^{l+1} \left(\frac{l}{l+1} \frac{\epsilon \epsilon_0}{H_b}\right)^l \frac{V^{l+1}}{d^{2l+1}} \quad (4.32)$$

Burada H_b tuzak yoğunluğu, N_v valans bandındaki hallerin etkin yoğunludu ($1.04 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ for p-type Si), E_t ise eksponansiyel tuzak dağılımı $E_t = kT_c$ and $l = E_t/kT = T_c/T$ yoluyla karakteristik sıcaklığa bağlı olduğunda karakteristik tuzak enerjisidir. Logaritmik skalaya (log-log) göre çizilen J - V eğrisinin eğimi $T_0/T+1$ olarak verilir. SCLC öngörüsünün tuzak modellemesine göre yük transport parametreleri Tablo 4.3'de veriliyor. SCLC mekanizmasının baskın olduğu taşıyıcı transportundaki mobilite karakteristik tuzak enerjisinin farklılıklarını takip eder (Li 2011). 0.2 M molar konsantrasyona sahip çözelti ile elde edilen ZnO numunne için belirlenen karakteristik tuzak enerjisi Al/P3HT/Al heteroeklem aygıt için hesaplanan 20 meV değerine yakındır (Verlag der Zeitschrift fur Naturforschung 2012).



(a)



(b)

Şekil 4. 14. (a) log-log ölçeğinde çizilen ters akım yoğunluğu (b) J-V karakteristiğinin log-log grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ZnO nanofiber filmler çeşitli molar oranlarda (0.2, 0.3 and 0.5 M) sol-jel dönele kaplama metodu ile cam ve p-Si (100) altlıklar üzerine kaplandı. Çözelti molaritesinin etkisi detaylarda yapısal, optik ve elektriksel özellikler üzerine araştırıldı. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnO ince filmler hexagonal (wurtzite) formda mükemmel bir kristal yapı sergiledi. XRD sonuçları bütün yapısal parametrelerin değişen çözelti molaritesine bağlı olduğunu gösteriyor. AFM sonuçları ZnO ince filmlerin nanofiberlerden oluştuğunu gösteriyor. Optik enerji aralığı (E_g) çözelti konsantrasyonundaki artış ile bir azalma gösteriyor. p-Si kristal altlık üzerine büyütülen ZnO nanofiberlerin uygulaması düşük doğrultma oranına sahip heteroeklem diyot tipi bir davranışı ortaya çıkarıyor. Heteroeklem den elde edilen akım değeri hem düz beslem hem de ters beslem durumunda hazırlanan çözeltinin molar konsantrasyonu arttıkça artıyor. Al/n-ZnO/p-Si heteroekleminde $J-V$ karakteristikleri bir eksponansiyel tuzak dağılımı ile kontrol edilen SCLC mekanizmasını takip eder. Sonuçlar molar etkinin sol-jel dönele metot ile hazırlanan ZnO ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin kontrol edilebileceğini gösteriyor.

Bu çalışmaya ek olarak çözeltinin molar konsantrasyonunu optimum elde edebilmek için deneysel yelpazenin daha geniş tutulacağı numuneler hazırlanabilir. Bu numuneler farklı elementler ile katkılandırılarak değişen parametreler gözlenebilir. Elde edilecek heteroeklem aygıtlar fotodiyot, solar cell ve transistor meydana getirebilmek için aygıtın bileşenlerinden biri olarak kullanılabilir. Molarite sayesinde istenilen yönde özelliklere sahip bu aygıtlara sahip olunabilir.

KAYNAKLAR

Abdel Malik TG, Abdel-Latif RM (1997) Ohmic and space-charge limited conduction in cobalt phthalocyanine thin films. *Thin Solid Films* 305: 336-340

Ahmed MAM, Meyer WE, Nel JM (2019) Structural, optical and electrical properties of the fabricated Schottky diodes based on ZnO, Ce and Sm doped ZnO films prepared via wet chemical technique. *Materials Research Bulletin* 115: 12-18

Al-Kuhaili MF, Saleem M, Durrani SMA (2012) Optical properties of iron oxide (α -Fe₂O₃) thin films deposited by the reactive evaporation of iron. *Journal of Alloys and Compounds* 521: 178-182

Batra N, Tomar M, Gupta V (2013) ZnO–CuO composite matrix based reagentless biosensor for detection of total cholesterol. *Biosensors and Bioelectronics* 67: 263-271

Benhaoua B, Rahal A, Rahal S (2014) The Structural, optical and electrical properties of nanocrystalline ZnO:Al thin films. *Superlattices and Microstructures* 68: 38-47

Bhaita S, Verma N (2017) Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles with optimization of defects. *Materials Research Bulletin* 95: 468-476

Card HC, Rhoderick EH (1971) Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics D: Applied Physics* 4: 1589-1601

Chaitra U, Kekuda D, Rao KM (2016) Dependence of solution molarity on structural, optical and electrical properties of spin coated ZnO thin films. *Journal of Materials Science Technology* 27: 7614-7621

Chaitra U, Kekuda D, Rao KM (2016) Dependence of solution molarity on structural, optical and electrical properties of spin coated ZnO thin films. *Journal of Materials Science Technology* 27: 7614-7621

Chau L, Liao K, Huang JS (2017) Energy-level variations of Cu-doped ZnO fabricated through sol-gel processing. *Journal of Alloys and Compounds* 702: 153-160

Chang YC, Lin PS, Liu FK, Guo JY, Chen M (2016) One- step and single source synthesis of Cu –doped ZnO nanowires on flexible brass foil for highly efficient field emission and photocatalytic applications. *Journal of Alloys and Compounds* 688: 242-251

Chang YC, Wu HW, Chen HL, Wang WY, Chen J (2009) Two dimensional inverse opal ZnO nanorod networks with photonic band gap. *The Journal of Physical Chemistry C* 113(3): 14778-14782

Delice S, Işık M, Gasanly NM (2019) Traps distribution in sol-gel synthesized ZnO nanoparticles. *Materials Letters* 245: 103-105

Dhas RC, Venkatesh R, Sivakumar R, Ezhil Raj A, Sanjeeviraja C (2017) Effect of solution molarity on optical dispersion energy parameters and electrochromic performance of Co_3O_4 films. *Optical Materials* 72: 717-729

DiDomenico M, Wemple S.H (1969) Oxygen-Octahedra Ferroelectrics. I. Theory of Electro-optical and Nonlinear Optical Effects. *Journal of Applied Physics* 40: 720

Faifer VN, Current MI, Wong TMH, Souchkov VV (2006) Noncontact sheet resistance and leakage current mapping for ultra-shallow junctions. *Journal of Vacuum Science & Technology B* 24(1): 414

Fang D, Lin K, Xue T, Cui C, Chen X, Yao P, Li HJ (2014) Influence of Al doping on structural and optical properties of Mg-Al co-doped ZnO thin films prepared by sol-gel method. *Journal of Alloys and Compounds* 589: 346-352

Farag AAM, Farooq WA, Yakuphanoglu F (2011) Characterization and performance of Schottky diode based on wide band gap semiconductor ZnO using a low-cost and simplified sol–gel spin coating technique. *Microelectronic Engineering* 88: 2894-2899

Fouad OA, Ismail AA, Zaki ZI, Mohammed RM (2006) Zinc Oxide thin films prepared by thermal evaporation deposition and its photocatalytic activity. *Applied Catalysis B Environmental* 62: 144-149

Garcia PR, Guerra Y, Fairas BVM, Buitrago DM, Jr AF, Hernández EP (2018) Effects of temperature and atomic disorder on the magnetic phase transitions in ZnO nanoparticles obtained by sol–gel method. *Materials Letters* 233: 146-148

Ghahramanifard F, Rouhollahi A, Fazlolahzadeh O (2018) Electrodeposition of Cu-doped p-type ZnO nanorods; effect of Cu doping on structural, optical and photoelectrocatalytic property of ZnO nanostructure. *Superlattices and Microstructures* 114: 1-14

Gezgin SY, Kılıç HŞ (2019) The electrical characteristics of ITO/CZTS/ZnO/Al and ITO/ZnO/CZTS/Al heterojunction diodes. *Optik* 182: 356-371

Ghosg R, Basak D, Fujihara S (2004) Effect of substrate-induced strain on the structural, electrical, and optical properties of polycrystalline ZnO thin films. *Journal of Applied Physics* 96: 2689

Gould RD, Bowler CJ (1988) D.C. electrical properties of evaporated thin films of CdTe. *Thin Solid Films* 164: 281-287

Guzmán-Carrillo HR, Rivera-Muñoz EM, Cayetano N, Herrera-Basurto R, Barquera-Bibiano Z, Mercader-Trejo F, Manzano-Ramirez A (2017) Facile control of ZnO nanostructures by varying molar concentration of zinc acetate. *Materials Research Bulletin* 90: 138-144

Habubi NF, About SM, Algamel (2015). Effect of Molarity on the structural and optical properties of ZnO thin films deposit by CSP. *World Science News* 22: 91-105

Hendi AA (2015) electrical and photoresponce properties of graphene oxide: ZnO/Si photodiodes. *Journal of Alloys Compounds* 647: 259-264

Kamaruddin SA, Chan KY, Yow HK, Sahdan MZ, Saim H, Knipp D (2011) Zinc oxide films prepared by sol-gel spin coating technique. *Applied Physic A* 104: 263-268

Kim KS, Kim HW, Kim NH (2003) Stuctural characterization of ZnO films grown on SiO₂ by the RF magnetron sputtering. *Physica B: Condensed Matter* 334: 343-346

Ko Y, Kim Y, Kong SY, Kunnan SC, Jun Y (2019) Improved performance of sol-gel ZnO-based perovskite solar cells via TiCl₄ interfacial modification. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 183: 157-163

Kopidakis N, Huang C (2005) Spatial location of transport-limiting traps in TiO₂ nanopartical film in dye sensitized solar cells. *Applied Pysics Letters* 87: 10,1063-12,1307

Li JC, Gong X (2013) Diode rectification and negative differential resistance of dipyrimidinyl–diphenyl molecular junctions. *Organic Electronics* 14: 2451-2458

Kumari K, Chand S, Kumar P, Sharma S, Vankar VD, Kumar V (2008) Effect of CdSe quantum dots on hole transport in poly (3-hexylthiophene) thin films. *Applied Physics Letters* 92: 263504

Li B, Chen J, Yang, Ma D (2011) A comparative investigation of trap-limited hole transport properties in organic bulk heterojunctions. *Semiconductor Science and Technology* 26(11): 115006

Lu MY, Song J, Lu MP Lee CY, Chen J (2009) ZnO-ZnS heterjunction and ZnS nanowire arrays for electricity generation. *ACS Publications Nano* 3: 357-362

Lu JG, Kawaharamura T, Nishinaka H, Kamada Y, Ohshima T, Fujita S (2007) ZnO-based thin films synthesized by atmospheric pressure mist chemical vapor deposition. *Journal of Crystal Growth* 299: 1-10

Mahendraprabhu K, Sherma S.A, Elumalai P (2019) CO sensing performances of YSZ-based sensor attached with sol-gel derived ZnO nanospheres. *Sensors and Actuators B: Chemical* 283: 842-847

Marotti RE, Giorgi P, Machado G, Dalchiele EA (2006) Crystallite size dependence of band gap energy for electrodeposited ZnO grown at different temperatures. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 90: 2356-2361

Millesi S, Catalano M.C, Impellizzeri G, Crupi I, Malandrini G (2017) Sb-implanted ZnO ultra-thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing* 69: 32-35

Mitta SB, Murahari P, Nandanapalli KR, Mudusu D, Karuppanan R, Whang D (2018) Si/ZnO heterostructures for efficient diode and water-splitting applications. *ScienceDirect* 43: 16015-16023

Mohamed JR, Amalraj L (2016) Effect of precursor concentration on physical properties of nebulized spray deposited In₂S₃ thin films. *Journal of Asian Ceramic Societies* 4: 357-366

Mwankemwa BS, Nambala F.J, Kyeyune F, Hlatshwayoa JM Nel JM Diale M (2017) Influence of ammonia concentration on the microstructure, electrical and raman properties of low temperature chemical bath deposited ZnO nanorods. *Materials Science in Semiconductor Processing* 71: 209-216

Nesheva D, Dzhurkov V, Stambolova I, Blaskov V, Bineva I, Moreno JMC, Preda S, Gartner M, Hristova-Vasileva T, Shipochka M (2018) Surface modification and chemical sensitivity of sol gel deposited nanocrystalline ZnO films. *Materials Chemistry and Physics* 209: 165-171

Norde H (1979) A modified forward *I-V* plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics* 50: 5052-5053

Ou XR, Lin CH, Gou TF, Wen T.C (2019) Improvement in inverted polymer solar cells via 1-benzoyl-2-thiourea as surface modifier on sol-gel ZnO. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 96: 131-136

Özgür Ü, Alivov YI, Liu C, Teke A, Reshchikov M.A, Doğan S (2005) A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics* 98: 041301

Pan X, Chen X, Xu C, Chen S, Zeng Y, Ye Z (2019) The enhancement of near-band-edge emission by hydrogen plasma treatment for Ga-doped ZnO, ZnO and ZnMgO films. *Optical Materials* 92: 11-15

Panda SK, Jacob J (2012) Preparation of transparent ZnO thin films and their application in UV sensor devices. *Solid-State Electronics* 73: 44-50

Park JY, Song D.E, Kim S.S (2008) An approach to fabricating chemical sensors based on ZnO nanorod arrays. *Nanotechnology* 19: 105503

Raghavendra PV, Bhat JS, Deshpande NG (2017) Enhancement of photoluminescence in Sr doped ZnO thin films prepared by spray pyrolysis. *Materials Science in Semiconductor Processing* 68: 262-269

Rana AHS, Chang SB, Chae HU, Kim HS (2017) Structural, optical, electrical and morphological properties of different concentration sol-gel ZnO seeds and consanguineous ZnO nanostructure growth dependence on seeds. *Journal of Alloys and Compounds* 729: 571-582

Salem AM (2003) Optical constants and associated functions of CdGa₂Se₄ thin films. *Journal of Physics D: Applied Physics* 36: 1030

Seid ET, Dejene FB (2019) Co-solvent medium volume ratio effect on the properties of refluxed sol-gel synthesized ZnO nanopowder. *Journal of Alloys and Compounds* 787: 658-665

Shukla P, Shukla JK (2018) Facile sol-gel synthesis and enhanced photocatalytic activity of the V_2O_5 -ZnO nanoflakes. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* 3: 452-455

Singh SK, Hazra P (2019) Analysis of current transport mechanisms in sol-gel grown Si/ZnO heterojunction diodes in high temperature environment. *Superlattices and Microstructures* 128: 48-55

Son D, Moon BJ, Lee A, Rho H, Lee HJ, Kim TW, Ha JS, Lee SH (2019) Polarity effects of ZnO on charge recombination at CsPbBr₃ nanoparticles/ZnO interfaces. *Applied Surface Science* 483: 165-169

Soylu M, Al-Ghamdi, Al-Hartomy O, El-Tantawy F, Yakuphanoglu F (2014) The electrical characterization of ZnO/GaAs heterojunction diode. *Physica E* 64: 240-245

Sundara Venkatesh P, Ramakrishnan V, Jeganathan K (2016) Raman silent modes in vertically aligned undoped ZnO nanorods. *Physica B* 481: 204-208

Udom I, Ram MK, Stefakonos EK, Hepp AF, Goswami DY (2013) One dimensional-ZnO nanostructures: Synthesis, properties and environmental applications. *Metaterials Science in Semiconductor Processing* 16(6): 2070-2083

Umezawa H, Tokuda N, Ogura M, Ri SG, Shikata S (2006) Characterization of leakage current on diamond Schottky barrier diodes using thermionic-field emission modeling. *Diamond & Related Materials* 15: 1949-1953

Tan D, Xiang Y, Leng Y (2018) On the metal/ZnO contacts in a sliding-bending piezoelectric nanogenerator. *Nano Energy* 50: 291-297

Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen (2012) Starting (2015) <http://znaturforsch.com>

Yan Y, Mi W, Zhao J, Yang Z, Zhang K, Luan C (2018) Study of the metal-semiconductor contact to ZnO films. *Vacuum* 155: 210-213

Yi L, Bu Y (2018) Direct formation of p-type ZnO by using potassium hydroxide. *Optik* 159: 87-93

Yousefi HR, Hashemi B (2019) Photocatalytic properties of Ag@Ag-doped ZnO core-shell nanocomposite. *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry* 375: 71-76

Yu H, Yu J, Chen B, Zhou M (2006) Effects of hydrothermal post-treatment on microstructures and morphology of titanate nanoribbons. *Journal of Solid State Chemistry* 179: 349-354

Xu L, Xian F, Zhang Y, Zhang L (2019) Surface segregation of Ag and its effect on the microstructure, optical properties and conduction type of ZnO thin films. *Physica B: Condensed Matter* 566: 103-115

Wang P, Chen N, Yin ZG (2006) P-doped pp-type ZnO films deposited on Si substrate by radio-frequency magnetron sputtering. *Applied Physics Letters* 88: 152102

Zak AK, Abrishami ME, Majid WH, Yousefi R, Hosseini SM (2011) Effects of annealing temperature on some structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by a modified sol-gel combustion method. *Ceramics International* 37: 393-398

Zao Yang, Zhizhen Ye, Zheng Xu, Binghui zhao, Effect of the morphology on the optical properties of ZnO nanostructures, *Physica E* 42(2009) 116-119

Zang Z, Tang X (2015) Enhanced fluorescence imaging performance of hydrophobic colloidal ZnO nanoparticles by a facile method. *Journal of Alloys and Compounds* 619: 98-101

Zang Z, Zeng J, Du J, Wang M, Tang X (2015) Femtosecond laser direct writing of microholes on roughened ZnO for output power enhancement of InGaN light-emitting diodes. *Optic letters* 41: 3463-3466

Zhang X, Huang X, Li C, Jiang H, (2013) Hig-Gain phototransistors based on a Cu MoS₂ monolayer. *Advanced Materials* 25: 3456-3481

Zhou F, Wang Q, Liu W Au @ZnO nanostuctures on porous silicon for photocatalysis anad gas-sensing: the effect of plasmonic hot-elektrons driven by visible-light. *Metarials Research Express* 3: 08500

Zubkins M, Kalendarev R, Gabrusenoks J, Plaude A, Zitolo A, Anspoks A, Pudzs K, Vilnis K, Azens A, Purans J (2017) Changes in structure and conduction type upon addition of Ir to ZnO thin films. *Thin Solid Films* 636: 694-701

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Elazığ' da doğdu. İlkokul, ortaokulu ve liseyi Elazığ' da tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2013 yılında Fırat Üniversitesinden mezun oldu. 2016 yılında Bingöl Üniversitesinde yüksek lisans eğitimine başladı.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Elazığ' da doğdu. İlkokul, ortaokulu ve liseyi Elazığ' da tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2013 yılında Fırat Üniversitesinden mezun oldu.2016 yılında Bingöl Üniversitesinde yüksek lisans eğitimine başladı.