

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

**TERMAL TAVLAMA SICAKLIĞI FARKLILIKLARINA  
DAYALI CdO İNCE FİLMER ve HETEROEKLEM  
DİYOTLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TÜRKAN YAZICI**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI  
Doç. Dr. Murat SOYLU**

**BİNGÖL-2017**

T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


TERMAL TAVLAMA SICAKLIĞI FARKLILIKLARINA DAYALI  
CdO İNCE FİLMLER ve HETEROEKLEM DİYOTLARI


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Türkan YAZICI

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK


Bu tez 25.08.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Nezir YILDIRIM  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
Murat SOYLU  
Üye

  
Doç. Dr.  
Mutlu KUNDAKÇI  
Üye

Yukarıdaki sonucu onaylarım

  
Prof. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmalarım tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Doç. Dr. Murat SOYLU'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmama; sunduğu imkânlar ve BAP-FEF.2017.00.006 nolu proje kapsamında sağladığı maddi destekten dolayı başta Bilimsel Araştırmalar Birimi (BÜBAP) olmak üzere Bingöl Üniversitesi'ne,

Bingöl Üniversitesi merkezi araştırma laboratuvarı personel ve yöneticilerine,

Devletime ve aziz milletime,

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, dualarını ve desteklerini benden hiç esirgemeyen, evlatları olmaktan onur duyduğum sevgili aileme,

Şayet yeterse, gönülden teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

**Türkan YAZICI**

**Bingöl 2017**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Deneysel İşlemler.....	11
3.2. Sol-Jel Metodu.....	14
3.3. Spin Kaplama Metodu.....	15
3.3.1. Spin-Döndürme ile kaplamanın avantajları.....	16
3.3.2. Spin-Döndürme ile kaplamanın dezavantajları.....	16
3.4. Termal Buharlaştırma Yöntemi.....	17
3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu .....	18
3.6. Atomik Kuvvet Mikroskobu .....	21
3.7. X-Işını Kırınımı .....	22
3.7.1. Toz Kristal Metodu .....	24
3.7.2. Tek Kristal Metodu .....	24

3.8. İnce Filmlerin Optik Karakterizasyonu .....	25
3.8.1 Soğurma Ölçüm Sistemi .....	25
3.9. Metal-Yarıiletken Kontak.....	26
3.10. Raman Saçılması.....	28
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	30
4.1. CdO İnce Filmlerin Yapı Yüzey ve Optik Karakteristikler.....	30
4.2. CdO/p-Si Heteroeklem Diyotların Akım-Voltaj ( $I-V$ ) Karakteristikleri.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$d$	: Film kalınlığı
$e$	: Elektronik yük
$E_g$	: İletkenlik bantının alt ucundaki enerji
$E_s$	: Fermi enerji seviyesi
$E_v$	: Valans bandının üst ucundaki enerji seviyesi
$f_s$	: Sürtünme kuvveti
$f(E)$	: Fermi dağılım fonksiyonu
$F_m$	: Merkezil kuvvet
$h$	: Plank sabiti
$I$	: Metal-yarı iletken kontaktaki net akım
$I_{min}$	: Minimum akım
$I_0$	: Metal-yarı iletken kontaktaki doyma akımı
$K$	: Kelvin
$R_s$	: Seri direnç
$R_{sh}$	: Şönt direnci
$R^*$	: Richardson sabiti
$n$	: İdealite faktörü
$T$	: Mutlak sıcaklık
$V$	: Potansiyel

$V_b$	:	Built-in potansiyel engeli
$V_{\min}$	:	Minimum voltaj
$V_{oc}$	:	Açık devre voltajı
$\alpha$	:	Soğurma katsayısı
$\nu$	:	Frekans
$\lambda$	:	Fotonun dalga boyu
$\chi_s$	:	Elektron ilgisi
$V_b$	:	Built-in potansiyel engeli
$V_{\min}$	:	Minimum voltaj
$V_{oc}$	:	Açık devre voltajı
$\alpha$	:	Soğurma katsayısı
$\nu$	:	Frekans
$\lambda$	:	Fotonun dalga boyu
$\chi_s$	:	Elektron ilgisi
$\gamma$	:	Herhangi bir tam sayı
$\phi_b$	:	Schotky engel yüksekliği
$\phi_m$	:	Metalin iş fonksiyonu
$\phi_s$	:	Yarı iletkenin iş fonksiyonu
AE	:	Alan emisyonu
AFM	:	Atomik kuvvet mikroskobu
ark.	:	Arkadaşları
CdO	:	Kadmiyum oksit
EDX	:	Enerji dağılımlı x-ışını

et al.	:	ve diđerleri
eV	:	Elektron volt
FL	:	Fotolüminesans
FS	:	Fermi seviyesi
I-V	:	Akım-voltaj
MS	:	Metal-yarıiletken
SE	:	Schottky engeli
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
TAE	:	Termoiyonik alan emisyo
TE	:	Termoiyonik emisyon
TCO	:	Saydam iletken oksit
ZnO	:	Çinko oksit
XRD	:	X-ışını kırınımı
XRF	:	X-ışını flüoresan spektrometresi



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Ultrasonik banyo cihazı .....	11
Şekil 3.2.	Cam alt tabakaların kimyasal temizleme işlem şematiği.....	12
Şekil 3.3.	(a) Dönel kaplama cihazı (b)Sıcak tabla.....	13
Şekil 3.4.	Al/CdO/p-Si/Al heteroeklem yapısının şematik diyagramı.....	14
Şekil 3.5.	Merkezcil ve sürtünme kuvveti gösterimi .....	16
Şekil 3.6.	Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.7.	İnce film kaplama cihazı .....	17
Şekil 3.8.	SEM (taramalı elektron mikroskobu) .....	18
Şekil 3.9.	SEM’ de yerleştirilmiş numuneler .....	20
Şekil 3.10.	SEM de numune üzerine gönderilen elektronların durumu .....	20
Şekil 3.11.	AFM’de uç ile numune arasındaki etkileşimin şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.12.	Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) .....	22
Şekil 3.13.	X-ışınlarının yansıması.....	23
Şekil 3.14.	X-ray diffraction (XRD cihazı).....	23
Şekil 3.15.	UV-vis spectrophotometre.....	26
Şekil 3.16.	Probe station sistemi .....	26
Şekil 3.17.	Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı enerji-bant diyagramı.....	28
Şekil 3.18.	Raman cihazı.....	29
Şekil 4.1.	CdO ince filminin XRD spektrumu.....	30
Şekil 4.2.	CdO ince filmlerin SEM görüntüleri (a)-(b) 250 °C’de tavlanan .....	33
Şekil 4.2.	(c)-(d) 450 °C’de tavlanan.....	33
Şekil 4.2.	(e) EDX spektrumu.....	34
Şekil 4.3.	CdO ince filmlerin 40x40 µm <sup>2</sup> alanlı AFM mikrofotografaları	
Şekil 4.3.	(a) 250 °C’de tavlanan.....	34
Şekil 4.3.	(b) 450 °C’de tavlanan.....	35

Şekil 4.4.	CdO ince filminin a) geçirme spektrumu b) soğurma spektrumu	
Şekil 4.4.	(c) CdO İnce filmi için $(\alpha h\nu)^2-h\nu$ eğrileri.....	36
Şekil 4.4.	(d) Raman spektrumu.....	37
Şekil 4.5.	Foton enerjisi ( $h\nu$ ) nin $\log\alpha$ ile değişimi.....	39
Şekil 4.6.	(a) Yansıma spektrumu.....	40
Şekil 4.6.	(b) Kırılma indisi .....	41
Şekil 4.7.	(a) Eksiton katsayısının dalgaboyu ile değişimi.....	42
Şekil 4.7	(b) Dielektrik sabitinin gerçek (reel) kısmının ( $\epsilon_l$ ) dalgaboyu ile değişimi.....	42
Şekil 4.8.	$\tan\delta$ -dalgaboyu değişimi.....	44
Şekil 4.9.	(a) Hacim enerji kaybı- $h\nu$ değişimi.....	45
Şekil 4.9.	(b)Yüzey enerji kaybı- $h\nu$ değişimi.....	45
Şekil 4.10.	CdO/p-Si heteroekleminin enerji-bant diyagramı.....	46
Şekil 4.11.	250 °C ve 450 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin $\ln(I)$ - $V$ karakteristikleri.....	47
Şekil 4.12.	(a) 250 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin $dV/d\ln(I)$ vs. $I$ ve $H(I)$ vs. $I$ eğrileri.....	50
Şekil 4.12.	(b) 450 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin $dV/d\ln(I)$ vs. $I$ ve $H(I)$ vs. $I$ eğrileri.....	51
Şekil 4.13.	250 °C ve 450 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklem $F(V)$ - $V$ eğrileri.....	52

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	CdO ince filmlerin bazı yapısal parametreleri .....	31
Tablo 4.2.	CdO ince filmlerin bazı optik parametreleri.....	37
Tablo 4.3.	CdO/p-Si heteroeklem diyotların bazı elektriksel parametreleri.....	50



# TERMAL TAVLAMA SICAKLIĞI FARKLILIKLARINA DAYALI CdO İNCE FİLMER ve HETEROEKLEM DİYOTLARI

## ÖZET

Katkısız CdO ince filmler dönel kaplama metodu kullanılarak cam altlık ve p-tip Si wafer üzerine kaplandı. Filmlerin yapısal ve optik özellikleri tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak araştırıldı. X-ışını difraksiyon (XRD) ölçümlerine göre hazırlanan ince filmler kübik kristal yapıya sahip CdO'den oluşmuştur. İyi kristal kalitesinin sıcaklığa bağlı olduğu görülmektedir. CdO ince filmlerin yüzey morfolojisi de karnabahara benzer bir yapı göstererek, termal tavlama sıcaklığına bağlılık sergilemektedir. 250 °C ve 450 °C'lik tavlama sıcaklıkları için ince filmlerin optik bant aralıkları, artan sıcaklık ile bir azalma göstererek, sırasıyla 2,49 eV ve 2,27 eV olarak bulundu. Kırılma indisi, eksiton katsayısı, hacim ve yüzey enerji kaybı gibi optik parametreler, termal tavlama sıcaklığını fonksiyonu olarak spektroskopik ölçümler yardımı ile bulundu. CdO/p-Si heteroeklem yapıları zayıf doğrultucu davranış sergiledi. Diyot parametreleri, farklı sıcaklıklarda tavlanan CdO ince filmler için belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Sol-gel büyütme, CdO ince film, optik özellikler, diyot, elektriksel karakteristikler.

# **CdO THIN FILMS BASED ON THE THERMAL ANNEALING TEMPERATURE DIFFERENCES and THEIR HETEROJUNCTION DIODES**

## **ABSTRACT**

Undoped CdO films were prepared on glass substrate and p-type silicon wafer using (sol-gel) spin coating method. The structural and optical properties of the films were investigated as a function of the annealing temperature. X-ray diffraction (XRD) patterns reveal that the films are formed from CdO with cubic crystal structure. It is seen that good crystallinity is due to the annealing temperature. The surface morphology of the CdO films was found to be depending on the annealing temperature, showing cauliflower like structure. Optical band gaps for annealing temperature of 250 °C and 450 °C were found to be 2.49 eV and 2.27 eV, showing a decrease with raising temperature. Optics parameters such as refractive index, extinction coefficient, and volume and surface energy loss were calculated using spectrophotometric measurements as a function of annealing temperature. CdO/p-Si heterojunction structure showed weak rectifying behavior. The diode parameters were found to be depending on annealing temperature.

**Keywords:** Sol-gel growth, CdO thin film, diode, optical properties, diode, electrical characteristics.

## 1.GİRİŞ

Elektronik ve opto-elektronik teknolojisinde büyük öneme sahip ince filmler, üzerinde en çok çalışılan malzemelerdir. Bir altlığın tek başına gerçekleştiremediği birçok özelliği; altlık üzerine kaplanan ince filmler; sahip oldukları özelliklerle kontak materyali olarak gerçekleştirebilmekte. Filmler tek katmanlı üretilebildikleri gibi, hacimsel özelliklerinden dolayı çok katmanlı olarak da üretilebilirler. Bu özellikleriyle elektronik devre elemanlarının fabrikasyonuna katkı sağlamaları amaçlanır. İnce filmlerde en yaygın olan saydam (transparan) iletken oksitler yani TCO'lar opto-elektronik aygıtların fabrikasyonu aşamasında önemli bir yere sahiptir. 1907 senesinde ilk bulunan TCO' lardan biri de CdO' tir. Cd' nin zehirli olması ve CdO' nun bant aralığının dar olması bu bileşik üzerindeki çalışmaları her ne kadar olumsuz etkilemişse de endüstriyel ve teknolojik uygulamalara yatkınlığı; bileşiği önemli bir unsur haline getirmiştir. Gösterim cihazlarında, fotodirençlerde, güneş pillerinde, gaz sensörlerinde, dedektörlerde, ledlerde, ince film transistörlerde CdO kullanılır.

CdO yüksek oranda toksik olmasına rağmen; nükleer fizyonda nötronları kontrol etmek için bir bariyer oluşturur, çelikte korozyon oluşumu sağlar, pigmentleri renklendirmeye yarar ve pil üretiminde anahtar rol oynar. Thomson Reuters tarafından sağlanan "Web of Science" database, CdO üzerine yüzlerce makale yayınlandığını ortaya koymaktadır. TCO'lar çoğunlukla n-tip yarıiletken olarak değerlendirilir. Bunun nedeni; oksijen boşluklarının örgüdeki atom yerine geçen ya da ara yere geçen (impurity substitution, interstitial) kusurların, elektrik akımının akışı için yük taşıyıcıları sağlaması ve iletkenlik bandına elektron temin etmesidir. CdO 2,2 eV'tan 2,9 eV'a kadar artış gösteren yasak enerji ( $E_g$ ) aralığına sahip dejenere bir yarıiletkendir. Ara yerde bulunan Cd atomları ve donör (elektron verici) olarak davranan oksijen boşluklarından dolayı CdO n-tipi yüksek iletkenlik gösterir. CdO ince filmler, saçırma (sputtering), sol-gel, buharlaştırma (evaporation), pulslu laser deposizyonu (pulsed laser deposition), kimyasal buhar deposizyonu (chemical vapour deposition) ve püskürtme (spray pyrolysis) gibi çeşitli

teknikler kullanılarak hazırlanır (Aksoy et al. 2009). Bu filmler; çeşitli haz ve tekniklerle karakterize edilir (X-ray diffraction (XRD), photoluminescence (PL), X-ray fluorescence (XRF) spectrometers, Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive X-ray (EDX), Atomic Force Microscopy (AFM), Raman spectroscopy.

Sol-jel yönteminin üretim sürecinde müdahaleye izin verilebilir olması, daha basit ve ekonomik olması bu çalışmamızda bizi sol-jel yöntemiyle ince film üretimine götürmüştür. Bu yöntemle p tipi ve n tipi yarıiletken elde edilebilir. Sol-jel yönteminde; daldırma (dipping), döndürme-spin kaplama (spinning), püskürtme (spraying), akıtma, serigrafik baskı metodları ile ince film hazırlanabilir.

Hazırlanan bu tez 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde; yarıiletken-elektronik teknolojisinde büyük öneme sahip saydam iletken filmlere atıfta bulunulmuş, bu filmlerin üretim tekniklerine değinilmiş ve metal-yarıiletken kontaklarda kullanılabilen yarıiletkenler olduğundan söz edilmiştir. 2. bölümde; CdO ince filmlerin sentez karakterizasyon ve aygıt teknolojisindeki önemini ortaya koyan bir literatür taraması yapılarak çalışmaya konu olan ince filmler üzerine termal tavlamanın önemine zemin hazırlanmıştır. Bölüm 3'te materyal ve metot başlığı altında deneysel prosedür, işlem basamakları, kullanılan sentez tekniğinin ayrıntıları ve kullanılan cihazlar hakkında bilgi ve karakterizasyon tekniklerinden bahs edilmiştir. Bölüm 4'de üretilen CdO ince filmler için ölçülen yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel sonuçlara yer verilmiştir. Bölüm 5'te ise elde edilen bulgular değerlendirilerek sonuçların literatürle uyumu ve katkısı açıklanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Abdolazadeh Ziabari et al. (2012) tarafından Al katkılı kadmiyum oksit ince filmler, farklı Al konsantrasyonuna sahip çözelti ile sol-jel daldırma metodu ile cam altlıklar üzerinde oluşturuldu. Çözeltideki Al içeriği % 0 ile % 5 arasında değiştirildi. AFM, SEM, U-V Vis spektroskopisi ve Hall efct analizleri opto-elektronik özellikler ve mikro yapı arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanıldı. Böylece % lik miktarı değiştirilmiş Al konsantrasyonuna sahip filmler arasındaki korelasyon ortaya konmuş.

Akın ve ark. (2013); Au-Ag nanoküme ortak katkılanması (nanocluster codoping) ile CdO ince filmlerin belirli fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmada (CdO) ince filmler; Altın-gümüş (Au-Ag) nanoküme ortak katkılanması (nanocluster codoping) yöntemiyle elde edilerek X ışını kırınımı (XRD) Analizleri yapılmış. XRD analizlerinden CdO ince filmlerin, (111) miller indisine sahip kübik yapıda olduğu görülmüştür.

Al Orainy ve Hendi (2014) yapılan çalışmada sol-jel tekniği kullanılarak büyütülen CdO çubukların AFM ve X-ışını kırınımı ölçümleri ile yapısal analizleri yapıldı. p-tipi silisyum substratlar üzerine fabrikasyonu yapılan CdO filmlerin optik bant boşluğu, optik absorpsiyon ile tespit edildi. CdO filminin üzerine Al doping yapılarak optik bant aralığı değiştirildi. Sol-jel spin-kaplama tekniği kullanılarak katkısız ve alüminyum katkılı CdO / p-Si tipi heterojen diyotlar üretti. Işık yoğunluğunun diyotların üzerindeki etkisi araştırılmış. % 0,1 Al katkılı CdO diyotları için idealite faktörü 2,30, % 1,0 Al katkılı CdO diyotları için idealite faktörü 2,95, katkısız (undoped) CdO diyotları için idealite faktörü 2.80 bulunmuştur. Geçişli fotoakım sonuçları; aydınlanma altındaki fotoakımın karanlık altındaki fotoakımdan daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Diyotların açma / kapama oranı foto değerleri, katkısız CdO diyot için 5,84, % 0,1 Al katkılı CdO diyot için 7,50, ve % 1,0 Al katkılı CdO diyot için 3,96 olarak gözlemlendi. Kapasitansta gözlemlenen azalma ve iletkenlikte (konduktansta) artış, frekans artışı ile arayüz durumlarına dayanarak açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, CdO/p-Si'nin fotoresensiyon özelliklerinin Al katkılanmasıyla kontrol edildiğini göstermektedir.



Azizar Rahman ve Khan (2014) de; Nano kristal CdO ince filmler sprey püskürtme tekniği ile 300° C altlık sıcaklıkta cam numune üzerinde hazırlandı. Büyütülen filmler 2.5 saat boyunca 250, 350, 450, 550 °C de tavlandı. X-ışını, hall voltaj ölçümü, U-V spektroskopisi, SEM ile çalışıldı. X-ışını difraksiyon çalışması; tavllanmış ve tavlansamış filmlerin kübik yapısını teyit eder niteliktedir. Tane büyüklüğü artan tavlama sıcaklığı ile birlikte artarken, dislokasyon yoğunluğu artan tavlama sıcaklığı ile birlikte azalır. Hall efect ölçümleri CdO in n-tipi yarı iletken olduğunu teyit eder. Taşıyıcı yoğunluğu ve mobilite 450° C ye kadar artan tavlama sıcaklığı ile artar. SEM spektroskopisi belirli tane sınırlarına sahip nano yapılı CdO ince filmlerin oluşumunu teyit eder. CdO in kırılma indisi ve optik iletkenliğinin tavlama ile arttığı görüldü. Optik transmitans ve banket enerjisinin artan tavlama sıcaklığı ile azaldığı gözlenmiştir. Metalik davranış, farklı sıcaklıklarda numune tavlansamarak gerçekleştirildi. Tavlansamış filmlerin sıcaklığa bağlı dc direnci oda sıcaklığından 370 K e kadar metalik davranış gösterir.

Benramdane et al. 1997 de yaptığı bir çalışmada ZnO ve CdO ince filmleri kimyasal püskürtme yöntemini ile materyallerin bazı tuz çözeltilerini hazırlansamarak ince film yapmışlardır. Üretilen ince filmlerin önceki çalışmalarla örtüştüğü, ZnO ve CdO ince filmlerin optiksel özellikleri incelenerek, kırılma indisleri, örgü parametreleri, enerji aralıkları, soğurma katsayıları ve sönüm katsayıları, reel ve imajinel dielektrik sabitleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada oda sıcaklığında saydam ve iletken CdO filmleri, kimyasal banyo depolama (CBD) yöntemi ile cam alt tabanlar kaplanmış. 623 K' de tavlansamış filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri, XRD ( X-ışını kırınımı) ve SEM (taramalı elektron mikroskobu ) ile karakterize edilmiştir. Depolanmış amorfun tavlansamadan sonra, polikristal yapıya dönüşebileceğini XRD analizleri ile anlaşılması.

Vakum buharlaştırma tekniği kullanılarak farklı Cd kompozisyonda Ce katkılı CdO ince filmler, Silisyum ve cam altlıklar üzerine kaplandı. Katkısız ve katkılı CdO filmlerinin yapısal, elektriksel ve optik özelliklerine incelenerek, dopingin CdO filmler üzerindeki etkisi incelendi. X-ışını kırınımında (XRD); Ce'nin çözünürlüğünün (% 1,3 civarında); CdO 'da çok sınırlı olduğu görülmüştür. Seryum (Ce) katkılanması sonucu, CdO 'nun optoelektrik özellikleri etkilenmiştir. Ce katkılanmasıyla, CdO filmlerin optik, yapısal ve elektriksel özellikleri değişmiş. Ce katkılı CdO ince filmlerin band genişliğinde % 27 civarında azalma gözlemlendiği belirtilmiş. % 0,5 Ce katkılı CdO 'da % 0,5'lik bant açısı %

27 kadar daralmıştır. Katkısız CdO filmlere oranla; Ce katkılı CdO filmlerin; yarı iletkenlik özelliklerinin değiştiği, dc-iletkenliği, taşınabilirliği, taşıyıcı konsantrasyonu arttığı ve Ce katkılanmasının CdO üzerinde büyük etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. (Dakhel 2011)

Dhawale et al. 2008'de kimyasal sentez işlemleriyle CdO nano çubukların üretimini yapmışlardır. Kimyasal banyo depolama (CBD) yöntemi ile CdO filmleri, oda sıcaklığında, cam alttabanlar üzerine kaplamış. 623 K' de tavlanan filmlerin yapısal, elektriksel, optik ve morfolojik özelliklerini incelenmiş. Optik ve elektiksel özellikleri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak analizleri yapılmış. 623 K'lik tavlama sonrası amorf yapının, polikristal yapıya dönüşebileceğini XRD analizleri ile ortaya koymuştur. Tavlama sonrası CdO nano çubukları, 2,5 µm den 3 µm' ye kadar uzunlukta ve 60 nm-65 nm çapında ölçülmüş. Doğrudan bant aralığı 2,42 ve dolaylı bant aralığının 2,04 eV ölçülmüştür. Yarıiletken davranış göstermesi elektriksel özdirenç ölçümü, n tipi elektriksel iletken olması termoemf ölçümüyle ortaya konmuştur.

Eren (2006) yaptığı çalışmada, Al katkılı ZnO filmleri püskürtme yöntemi kullanılarak elde etmiş. Elde edilen filmlerin hekzagonal ve polikristal yapıda olduğu, XRD ile belirlenmiştir. %1, %3, %5 oranlarında katkılanmış Al miktarının, ZnO filmlerinin elektrik, optik ve yapısal özelliklerini incelenerek; tanecik boyutları, yapılanma ve örgü sabitleri bulunmuş. Optik soğurma (absorbsiyon) ölçümleri ile filmlerin yasak enerji aralıkları 3,2-3,3 eV arasında bulunmuş. Filmlere ait optik sabitler yani dielektrik sabitleri, optik geçirgenlik, kırılma indisi, yansımaya katsayısı, sönüm katsayısı ve dielektrik sabitleri gibi katsayılar soğurma spektrumundan hesaplanmıştır. Filmlerin % 80 üzerinde ortalama optik geçirgenlikleri saptanmış. Van der Pauw metodu ile 0,26 Ωcm-1,13 Ωcm arasında hesaplanan özdirenç değerleri filmlerin elektriksel özelliklerini ortaya koymuştur.

Sol-jel spin kaplama yöntemi kullanılarak Zn katkılı CdO / p-Si heterojen aygıtlar üretilmiştir. p-tipi Si altlıklar üzerine CdO ince film kaplandı. Oda sıcaklığında; katkısız CdO / p-Si ve % 1, % 2, % 3 ve % 4 Zn katkılı CdO / p-Si diyotlarının akım yoğunluğu-voltaj özellikleri (J-V) ölçülmüş. Diyotların karanlık ortamda J-V karakteristikleri düzeltme davranışını göstermesiyle birlikte, uygulanan voltaja ve Zn katkı oranına bağlı

olarak düzeltme miktarı gözlenmiştir. ileri yöndeki akımın; düşük voltaj altında, termoiyonik emisyon prosesine uygun olduğu gözlenmiş. Schottky unsurları kullanılarak, Ters gerilim (ters beslem) şartlarında, diyotların J-V karakteristikleri yorumlanır. CdO filmlerdeki Zn katkı oranı,  $C_{Adj}$ -V ve  $G_{Adj}$ -V eğrilerini ve frekansı, etkilenmiştir. Arayüz durum yoğunluğu (Dit) de frekansa ve Zn katkı oranına bağlıdır. Frekans ve Zn katkı oranı arttıkça, arayüz durum yoğunluğu (Dit) azalır. Ortaya çıkan sonuçlardan CdO / p-Si heterojen diyotlarının, Zn katkı oranı nisbetinde elektriksel özelliklerinin kontrol edilebilirliği ortaya konmuştur. (Frag et al. 2012)

Gençyılmaz ve ark. (2013), ultrasonik kimyasal püskürtme metodu ile Kadmiyum oksit (CdO) ince filmlerin 300 °C cam altlıklar üzerine fabrikasyonunu yapmışlardır. Daha sonra 500 °C'de hava ortamında sonra tavllanmış. atomik kuvvet mikroskobu, soğurma, optik geçirgenlik, dört uç metodlarıyla CdO filmlerini fiziksel özellikleri belirlenerek tavlamanın; elektrik, optik ve yüzey özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ultrasonik sprej piroliz tekniği kullanılarak CdO filmin cam yüzeylerin Optik Filmin geçirgenliği % 50'den% 60'a yükselttilerek maksimum verim sağladığını, Tavlamadan önce 2,44 eV olan optik bant aralığı 2,26 eV'ye düştüğü ve CdO filmlerde optik bant aralığının tavlamaya bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Termal tavlamanın CdO ince filmlerin fiziksel özelliklerinde değişiklikler yaptığı görülmüş. Tavlanmayla numunelerin optik ve elektriksel özelliklerinin daha olumlu sonuçlar verebileceği saptanmıştır.

Gültekin ve ark. (2014) nın çalışmalarında; Sol-jel metodu kullanılarak saf ve altın nanopartikül (Au NP) ile katkılanmış titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve kadmiyum oksit (CdO) ince filmler üretildi. Au NP katkılanmasıyla titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve kadmiyum oksit (CdO) ince filmler üzerindeki morfolojik, optik ve yapısal özelliklerine etkisi incelendi. Fabrikasyonu tamamlanan ince filmlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve ultraviyole görünür-yakın kızılötesi (UV-Vis-NIR) spektrumlarından analizleri yapılarak sonuçlar paylaşılmıştır.

Khan et al. (2010) Al-doping'in sprej püskürtme nano-kristalin CdO ince filmlerin optik ve elektriksel özelliklere etkisi üzerine yaptıkları çalışmada; CdO ve Al katkılı CdO nano-kristal ince filmler sprej püskürtme tekniği ile 300 ° C yüzey sıcaklığına sahip cam substratlar üzerine kaplandı. Filmlerin tane boyutu 18-32 nm bulunmuş olup kristal yapıda olduğu, ayrıca kafes sabitinin ortalama değeri 0,46877 nm ye denk gelen kübik

yapı olduğu tesbit edilmiştir. Filmin optik transmisyonu Al-doping ile arttığı, ancak CdO 'nun doğrudan bant genişliğindeki enerji (2,49 eV) , artan Al katkılması ile azaldığı gözlenmiştir. Al konsantrasyonu ve foton enerjisinin değişmesiyle birlikte dielektrik sabiti ve refraktif indeksi değişir. Düşük sıcaklıklarda CdO film iletkenliği, metalik davranış gösterir. CdO filmler, Al katkılanarak düşük sıcaklıklarda yarı iletken davranış göstermesi sağlanmış. Buradan Al katkılı CdO, Hall voltajı ve termo-güç ölçümleri ile Al katkılı CdO 'nun taşıyıcı konsantrasyonu  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$  bulunarak n-tipi yarı iletken olduğu ortaya konmuştur.

Rahman ve Khan (2014); ısıtma işleminin ince film üzerine etkilerini göstermek amacıyla, spray pyrolysis tekniği ile nanokristal CdO ince filmleri cam alt tabanlar üzerinde oluşturdular. Filmler 2 saat boyunca 250, 350, 450 ve 550 °C'de 2 saat tavlansın. XRD ölçümleri ile filmlerin kübik yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Bu filmlerin 450 °C ye kadar taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitesinin tavlama sıcaklığı ile arttığı, filmlerin kırılma indisinin ve optik iletkenliğinin de tavlama sıcaklığının artışı ile birlikte arttığı gözlenmiş olup, artan tavlama sıcaklığı ile optik geçirgenlik ve optik bant aralığının azaldığı, burada en yüksek geçirgenliğin yakın kızılötesi (infrared) bölgede olduğu belirtilmiştir.

Ramamurthy et al. (2016) yüksek iletken cadmium oxide (CdO) ince filmleri jet nebulizer spray pyrolysis (Püskürtme pirolizi) ile hazırladı. Filmlerin karakterizasyonu ve optimizasyonu X-ışını kırınımı (X-ray diffraction, XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM, scanning electron microscope), X-ışını ile enerji dağılım analizi (EDAX, energy dispersive analysis by X-ray ), Atomik kuvvet mikroskopisi (AFM, Atomic force microscopy, Ultraviyole görünür (ultraviolet visible (UV-Vis)), hall etkisi (hall Effect) ve akım-voltaj (I-V) karakteristikleri gibi çeşitli teknikler kullanarak araştırdılar. p-Si üzerine filmleri kaplayarak güneş hücresi (Solar cell) uygulayarak, 429,3 meV'luk açık devre voltajı ( $V_{oc}$ ) elde ettiler.

Sarıca (2013) yüksek lisans tez çalışmasında ZnO ve CdO yarıiletken elektrotların hidrotermal ve mikrodalga yöntemleriyle sentezlerini yapmıştır. Boyar madde esaslı güneş pillerinde kullanılan  $\text{TiO}_2$  yerine ZnO ve CdO kullanılmıştır. Fabrikasyonu tamamlanan ürünlerin XRD ve SEM analizleri yapılarak ve AFM görüntüleri incelenmiştir. boya duyarlı güneş pili ZnO temelli yapılarak, %5 ve %10 oranında CdO ile karıştırılarak verimliliklerini artırarak nanokompozit yapı elde edilmiştir. Çalışmada

Rutenyum kompleks boyaları kullanıldı. ZnO, CdO ve ZnO:CdO yapıları ile farklı oranlarda boya duyarlı güneş pilleri üretilmiş. Üretilen güneş pillerinin pil performansları kıyaslanmıştır. Sonuçta; ZnO:CdO elektrot kullanımının pil performanslarını, ZnO ve CdO elektrotlara kıyasla arttırdığı söylenebilir.

Soylu ve Kader (2016) CdO İnce filmlerle ilgili çalışmalarında; kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri, sol-jel yöntemi ile sentezlemiş. Filmler XRD, AFM ve UV / Vis spektrofotometre ile analiz edildi. Üretilen CdO ince filmin enerji aralığı 2,29 eV olarak bulunmuş. X-ışını kırınım desenlerinden CdO filmlerin kübik kristal yapıya sahip olduklarını doğrular niteliktedir. Değişik yoğunluklu aydınlatma ortamında ve karanlık ortamda CdO / p-Si heterojen akım voltajı (I-V) karakteristikleri incelenerek kıyaslandı. Fotovoltaik hücrede tek bir diyot göz önüne alındığında fotodiyodun seri ( $R_s$ ) ve şönt direnci ( $R_{sh}$ ), doyma akımı  $I_0$  gibi elektriksel parametreler ortaya kondu. Ortaya çıkan sonuçlardan, CdO ince filmlerin p-Si üzerinde bir elektron taşıma katmanı olarak UV / görünür alanında bir fotodetektör görevi gördüğü ve elektron taşıdığı ifade edilmiştir.

CdO nanokristal ince filmlere galyum (Ga) katkılanarak ince film üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 0,01 M, 0,03 M, 0,05 M, 0,07 M ve 0,09 M değerlerine sahip farklı Ga konsantrasyonlarında katkılı CdO nanokristal ince filmler Sol-jel metoduyla üretilmiş. X-ışını kırınım (XRD) ölçümlerinden CdO ve Ga katkılı CdO filmlerin kırınım desenlerine bakılarak kübik yapıda olduğu görülmüş. XPS yani x-ışını fotoelektron spektroskopisi kullanılarak; Ga katkılı CdO filmlerin kimyasal bileşimi incelenmiş. Buradan CdO kristal kafesinde Ga'nın katkı elementi olduğu, Ga katkılı CdO nun optik absorpsiyon spektrumundan dalga boyunun CdO filmelere oranla uzun olduğu görülmüş. Ga katkılı CdO filmin optik bant aralığı Ga-doping'in molar konsantrasyonu arttıkça azalmıştır. (Thambidurai et al. 2015)

Thirumoorthi ve Prakash (2016) CdO ince filmlerin fiziksel özellikleri üzerine kalay elementinin katkılandırılmasının etkilerini inceledikleri çalışmalarında Sol-gel yöntemini kullandılar. Püskürtme, kimyasal buhar depolama, iyon ekme, atomik tabaka büyütme ve kimyasal depolama yöntemleri ile elde edilebilen CdO ince filmler; Püskürtme (spray pyrolysis) yöntemi ile üretilmiş olup; yönteminin kolay ve ucuz olması tercih sebebi olmuştur. Yöntemin basit yapıda ve ekonomik olması, fabrikasyon aşamasında müdahale edilebilmesi, üretim işleminin her adımda izlenebilmesi, ince film üretiminin vakumsuz

ortamda da yapılabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Sol-gel yöntemi ile n-tipi ve p-tipi katkılama yapılabilmekte. CdO ince filmlerin fiziksel özellikleri üzerine kalay elementinin katkılandırılmasının etkilerinin incelendiği çalışmada Sol-gel yöntemi kullanılmış. Fonksiyon gurupların ve kimyasal bağların varlığını FTIR spektrumu ile belirlenmiştir. CdO ince filminin optik bant aralığının 2,42 eV'dan 2,96 eV'a yükseldiği ifade edilmiş. %5 Sn katkılı CdO ince film için minimum elektriksel direnç  $1,12 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$  ve maksimum taşıyıcı konsantrasyonunu  $9,94 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  olarak rapor edilmiş. XRD analizinde kübik yapıdaki CdO nun polikristal yapıda (111) düzleminde olduğunu göstermiş. SEM ölçümleriyle yüzey pürüzlülüğü analiz edilmiş. EDX spektrumlarıyla da Cd, Sn, O 'nun elementel yüzde oranları belirlenmiştir. Fonksiyonel gurupların ve kimyasal bağların varlığı FTIR spektrumu ile teyit edilmiştir.

Umadevi ve Prithivikumaran (2016) yaptıkları çalışmada CdO ince filmleri Al ve Cu elementleri ile katkıladılar. Böylece yaptıkları ince filmler ile heteroeklemlerde farklı elektriksel karakteristikler gözlemler. CdO ince filmlerdeki bu farklılıklar SEM de de görüldü. Al ve Cu elementlerinin ince filme katkılanması ile elde edilen heteroeklemin engel yüksekliği ve idealite faktörünü azalttığı görüldü.

Wu et al. (1997); üçlü alaşımli ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri üzerine çalışmalarını yürütmüşlerdir. Kadmiyum oksit ve çinko oksiti hem indiyum oksit hem de kalay oksit ile reaksiyona sokarak püskürtme hedefleri oluşturmuşlar. Kadmiyum oksit ve çinko oksiti filmleri rf sputtering ile çöktürdüler. X-ışını kırınım spektroskopisinden, kadmiyum indate, kadmiyum stannate, ve çinko stannate filmlerin polikristal spinel fazda olduğu fakat aynı koşullarda hazırlanan çinko indatein altıgen faz sergilediği görüldü. Görünür spektrumda düşük emişlilik gösteren Kadmiyum stannate, çok düşük rezistansına sahiptir. Optik ve elektrik özellikleri arasında uyum vardır. Bu malzeme için, bir tek fazda elektrik iletkenliği en yüksek ve optik absorpsiyon en düşük bulunmuştur. Çinko stannatenin, kadmiyum stannattan daha yüksek bir dirence sahip olduğu halde bant aralığının daha büyük olmasından dolayı daha düşük emişliliğe sahiptir. TCO lara tatbik edilen uygulamalarla, elektriksel, optiksel özellikler iyileştirilerek kullanım amacına uygun hale gelebileceğini, bu nedenle de en iyi TCO 'nun olmadığı belirtilmiş. Çinko içeren alaşımların zehirsiz olduğu bu durumun bazı uygulamalar için avantaj oluşturabileceği belirtilmiştir.

Yıldırım (2010) çalışmasında Ardışık İyonik Katman Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction, SILAR) tekniğini kullanarak ZnO ve CdO ince filmleri cam alt taban üzerinde oda sıcaklığında büyüttü. ZnO ince filmleri 30 dakika ve CdO ince filmleri 60 dakika oksijen atmosferinde 200, 300, 400 ve 500°C'de tavlama işlemine tabi tutuldu. Tavlamanın filmlerin; yüzeysel, yapısal, elektriksel ve optik özellikleri üzerindeki etkisi araştırıldı. X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümlerinden filmlerin cam altlık üzerine kaplandığını ve polikristal yapıda olduğunu görülmüş. İki nokta uç yöntemi kullanılarak tavlama sıcaklığı ve ışık şiddeti arttırıldığında filmlerin öz direncinin azaldığı, optik soğurma ölçümlerinden tavlama sıcaklığının artmasıyla filmlerin yasak enerji aralığı değerlerinin azaldığı gözlenmiş. Tavlama işleminin filmlerin karakteristik özelliklerini iyileştirdiği görülmüş.

Zaien et al. (2013) termal tavlamanın, termal buharlaştırmayla hazırlanmış CdO ince filmlerin optik ve elektriksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmış. Tavlama sıcaklığını 1 saat için 500 °C de 1 saat tavlanan CdO 'nun tavlamadan önce elde edilen optik bant aralığı 2,48 eV, tavlamadan sonra 2,42 eV'a düştüğü görülmüş.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Deneysel İşlemler

CdO ince filmler hazırlamak için kullanılacak olan kadmium asetat dihidrat ( $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), etilen glikol monometil eter ve monoetanol amin Sigma-Aldrich Şirketi'nden ticari olarak satın alındı. İnce film büyütme işlemi sol-gel yöntemi ile gerçekleştirildi. İşlem basamakları aşağıdaki gibidir.

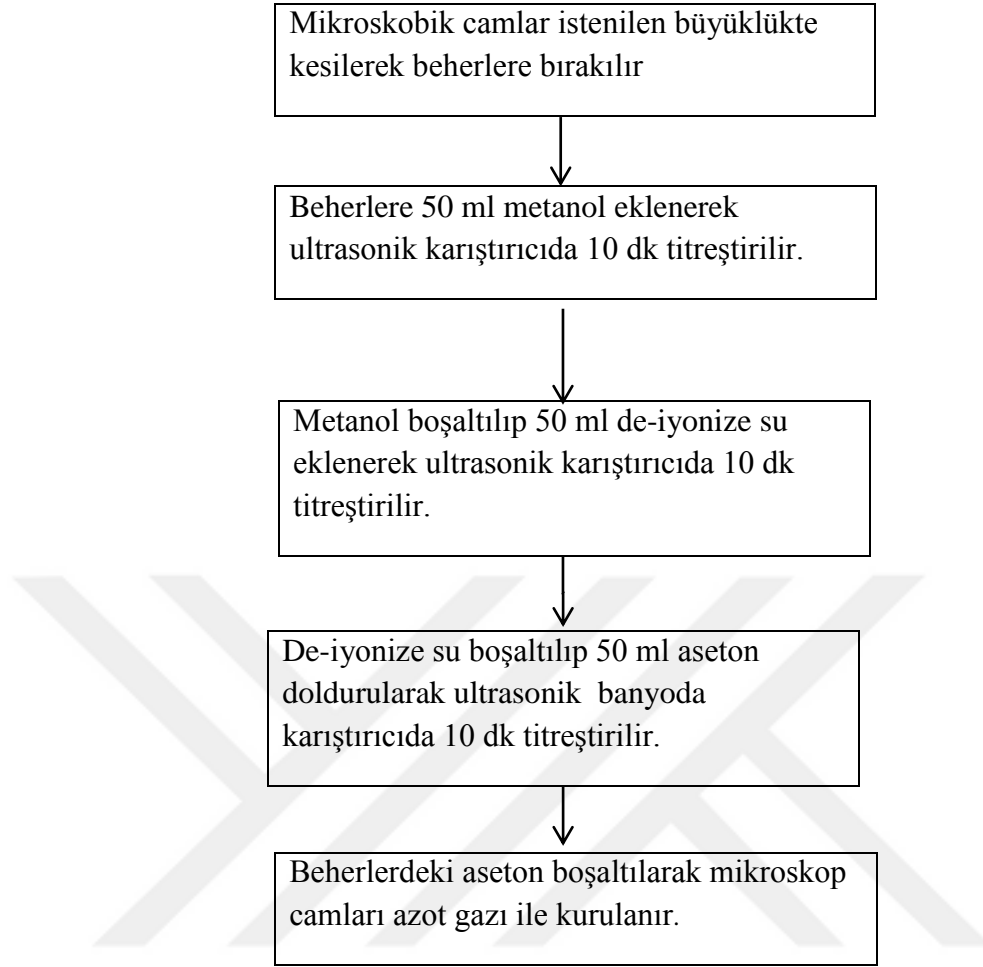
- İlk olarak  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (cadmiyum asetat dihidrat) kompleks bileşiği 2-methoxethanol kimyasalında çözülerek, Monoethanolamin (şekil 3.1. ) çözültide dengeleyici (stabilizer) olarak kullanıldı,
- Kullanılan çözeltinin molar oranı 0.5 olarak sabit tutuldu.
- Elde edilen karışım  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 2 saat boyunca magnetik karıştırıcıda karıştırıldı. Bu işlem ile solüsyondaki molekül dağılımı homojen hale getirilerek berrak ve homojen bir çözelti elde edildi. Elde edilen solüsyon 18 saat dinlendirildi.

CdO film oluşturmak için kullanılacak cam altlıkların kimyasal temizleme basamakları Şekil 3.2. de gösterilmiştir. Temizleme işleminde ultrasonik banyoda (Şekil 3.1.) titreştirildi.



Şekil 3.1. Ultrasonik banyo cihazı





Şekil 3.2. Cam alt tabakaların kimyasal temizleme işlemlerinin şematik gösterimi

- Cam altlık, dönel kaplama cihazı olan vacuum spin coater (Şekil 3.3.a. ) üzerine yerleştirildi
- Hazırlanan jelden 2-3 damla cam üzerine damlatıldı.
- Spin coater 30 s, 1000 rpm'e ayarlandı. Cam altlık üzerine çözeltinin homojen bir şekilde ve ince bir tabaka halinde yayılması sağlandı.
- Her bir kaplamadan sonra filmler 150 °C sıcaklığındaki sıcak tabla olan hot plate (Şekil 3.3.b. ) üzerinde 5 dakika kadar ısıtılma tabi tutularak kurutuldu.
- Bu işlemler sonunda cam altlık üzerine CdO ince film kaplı üç adet numune hazırlanmış oldu.
- Hazırlanan cam numunelerden biri olduğu gibi bırakıldı. Diğer ikisi tavlama fırınında 250 ve 450 °C de tavlandı.



Şekil 3.3. (a) Dönel kaplama cihazı (vacuum spin coater)

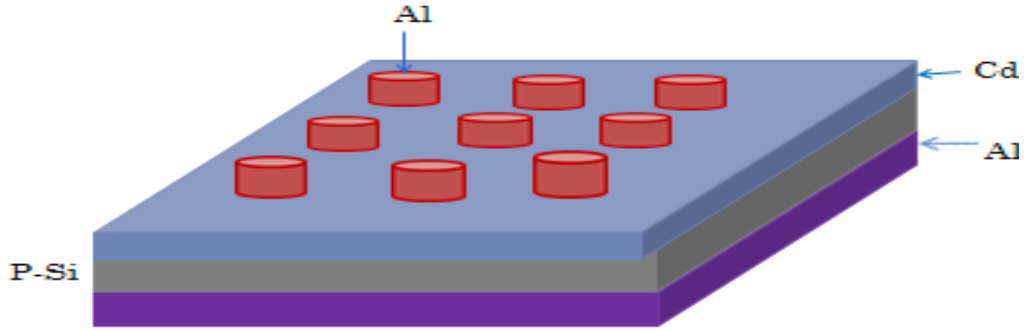


Şekil 3.3. (b) Sıcak tabla (hot plate)

Elde edilen filmlerin yapısal (XRD ölçümü), yüzey (AFM imajları) SEM, EDAX özellikleri araştırıldı.

Sonraki çalışmamızda p-tipi Silisyum (Si) standart temizleme prosesinden geçirildi. Daha sonra bu Si üç parça olarak kesilip üzeri daha önce cam altlıklar için jel olarak hazırlanan çözeltiden 1000 rpm'de 30 s dönel kaplama yöntemi ile kaplandı. CdO ince film kaplı numunelerin biri tavlamasız diğer ikisi ise sırasıyla 250 ve 450 °C'de 1 saat tavlama fırınında ısıl işleme tabi tutuldu.

Ardından numunelerin alt ve üst metal kontaktları yapılmak üzere termal buharlaştırma sistemine yüklendi. Al ile yapılan bu işlemde sonra farklı termal tavlama sıcaklıklarına dayalı CdO ince filmlerin Şekil 3.4. te görüldüğü gibi diyot yapıları elde edilmiş oldu. Keithley 2400 akım-voltaj (I-V) karakterizasyon sistemi ile elektriksel ölçümler yapıldı. Ayrıca, fotovoltajik karakteristikleri de incelendi.



Şekil 3.4. Al/CdO/p-Si/Al heteroeklem yapısının şematik diyagramı

### 3.2. Sol-Jel Metodu

Sol-jel metodu, 1846 yılında keşfedilen bir uygulamadır. Katı malzemenin, sıvı içindeki süspansiyonuna sol denir ve birden çok fazdan oluşur. Solüsyon şeklinde hazırlanan çözeltinin jel halini alması molekülün çözelti içinde genişlemesiyle olur. Böylece kaplama yapılacak düzeye gelir. Ancak her sol malzeme, jel olmayabilir. Sol-jel yönteminin 100-600 °C gibi düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi yüksek sıcaklıklarda zarar gören malzemeler (seramik, cam vs) için avantajlı bir durumdur. Nano toz üretimi, cam ve seramik sol-jel metoduyla yapılabilir. Sol-jel yöntemi kullanılarak düşük sıcaklıklarda cam ve katkılı element katılarak ta seramik elde edilir. Çok bileşenli camlar Sol-jel metoduyla 1950 lerde hazırlanmıştır. Öncü bileşenlerin çözünmesi ve çözelti halindeki karışımın, moleküler halde olması, buradan homojen ürünlerin ortaya çıkması çok bileşenli oksit camların hazırlanmasındaki asıl amaçtır. Sol-jel ile sentezlenen ürünlerde karıştırma ile ortaya çıkan ürünler homojen olup saflıkları yüksektir. 1000 °C nin altında ısıl işleme tabi tutulmaları ekonomiklik sağlar. İşlem sürecinde por boyutları ve dağılımı istenilen düzeyde ayarlanabilir. Malzemede sürtünme, aşınma ve çizilmeyi önlemek için kaplama yapılır. Daldırma metodu ile kompozit malzeme üretilerek yeni malzeme (plastik seramik) elde edilir. Sol-jel yönteminin üretim sürecinde müdahaleye

izin verilebilir olması, daha basit ve ekonomik olması bu çalışmamızda bizi sol-jel yöntemiyle ince film üretimine götürmüştür. Bu yöntemle p tipi ve n tipi yarıiletken elde edilebilir. Sol-jel yönteminde; daldırma(dipping), döndürme-spin kaplama(spining), püskürtme (spraying), akıtma, serigrafik baskı metodları ile ince film hazırlanabilir.

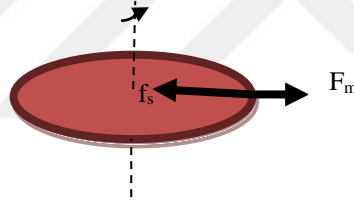
Sol-jel yöntemiyle film hazırlamak; fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar birikimi(CVD) veya tozutmaya (saçılma) göre daha kolay, ucuz ve az ekipman gerektirir. Oluşturulacak filmin gözenek büyüklüğü, gözenek hacmi ve yüzey alanı istenildiği gibi ayarlanabilir. Üretilen filmin daha homojen ve saf olması, enerji tasarrufu sağlaması, buharlaşma kaybının ve hava kirliliğinin minimum olması, faz ayırımını ve kristalizasyonu ortadan kaldırması, yeni kristal olmayan katılardan yeni kristal fazların elde edilmesi gibi durumlardan dolayı düşük ısı gerektirmesi bu yöntemin avantajları arasındadır. Sağlığa zararlı organik bileşenlerin hammadde olarak kullanılması, işlem sürecinin uzun olması, hammadde maliyetinin yüksek olması, işlem sırasında filmlerde makaslama (shrinkage) oluşumu, küçük gözeneklerin kalması, Karbon çözeltisi ve hydroxy kalması sol-jel metodunda istenmeyen durumlardır.

### **3.3. Spin Kaplama Metodu**

Spin kaplama metodu ilk 1888 yıllarında boya kaplamada kullanıldı. Karışık modellerin temelini ilk spin kaplama modeli ile Emslie ve arkadaşları 1958 'de ortaya koydu. Çözeltinin yüzey üzerinde belli bir hızla döndürüldüğü döndürmenin etkisiyle oluşan merkezkaç kuvvetinden dolayı çözeltinin eşit yayıldığı işleme spin kaplama yöntemi diyoruz. Bu yöntemle belirli kalınlığa sahip ince filmler elde edilerek mikro-elektronik endüstride kullanılır. DVD ve CD-ROM larda televizyon tüplerinde, düz ekran gösterge kaplamalarında, mikro devre üretiminde fotorezist depolamada, katı yüzeylere polimer kaplamada, gözlük camlarında, optik lenslerde, mikro-elektronikte spin-döndürme kaplama yöntemi kullanılır. Spin kaplama yönteminde, taşıyıcı altlığın yüzeyine çözelti damlatılarak yatayda bir eksen etrafında döndürülmesiyle çözelti merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yüzeye yayılır. Dönmeden dolayı oluşan merkezkaç kuvveti; çözeltinin altlık üzerine ince bir tabaka halinde yayılmasını sağlar. İstenilen inceliğe ulaşmak için, filminden çözücü buharlaştırılarak kalınlığı nanometre ile 10 mikron metreye kadar

değiştirilebilir. İnce film kalınlığı; çözeltinin dönme hızına, viskozitesine, dönme süresine ve kuruma oranına bağlıdır.

Alt tabakanın üzerine pompayla vakum verilmeye başlandıktan 1-2 saniye sonra döndürme işlemi başlatılır. Böylece dönme anında malzemenin savrulması önlenmiş olur. Filmler bir kapakla kapatılarak tozdan arındırılmış izole bir ortamda döndürülür. Dönel kaplama cihazı olan Vacuum Spin Coaterda numunenin alt tabakası vakumla çekilen pompanın üzerine konur. Çözelti alt tabakanın merkezine veya yakınına damlatılır. Alt tabaka üzerine çözelti damlatılırken hava kabarcığı veya boşluk oluşmamasına dikkat edilir. Alt tabakanın temizliği, döndürme zamanı, devir sayısı düzgün bir kaplama için olmazsa olmazlardandır. Durdurma aşamasında sıvı film kalınlığının düzgün yayılması ve sonuna kadar bu eğilimde kalması önemlidir. Şekil 3,5. de görüldüğü gibi dışa doğru merkezci kuvvet ile içe doğru sürtünme kuvvetinin birbirini dengelemesiyle sıvı film kalınlığı düzgün bir şekilde oluşur.



Şekil 3.5. Merkezci ve sürtünme kuvveti gösterimi

### 3.3.1. Spin-Döndürme ile Kaplamanın Avantajları:

Ticari malzemelerin ulaşılabilirliği, spin kaplama ile hızlı bir şekilde kaplama yapılması, az miktarda sıvı ile yapılabilirliği, birden fazla katmanla kaplama yapılabilmesi, dairesel taşıyıcılar için kullanışlı bir yöntem olması.

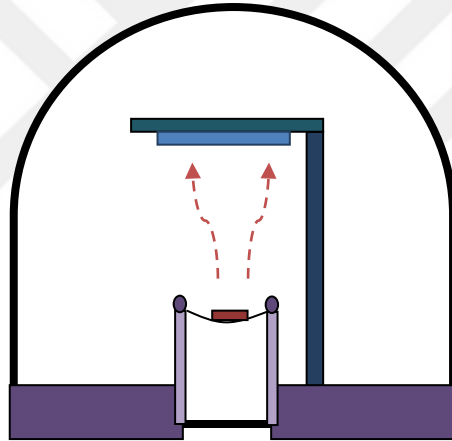
### 3.3.2. Spin-Döndürme ile Kaplamanın Dezavantajları:

Kaplama yüzeyinin temiz tutulması zordur. Numunenin kenar ve köşelerinde sıvı veya hava akışı olabilir. Dairesel taşıyıcılar dışındakiler için kullanımı uygun değildir. Sadece

Newton kanununa uyarlanabilen sıvılar için uygunluk taşınması, sınırlayıcı bir durumdur. 8 inch'den büyük taşıyıcılar için uygun değildir, üniform kaplanamaz.

### 3.4. Termal Buharlaştırma Yöntemi

İnce metal filmleri kaplamak için yarıiletken yüzeyine, ısıtıcının rezistif olduğu vakumlu ortamda termal buharlaştırma yapılır. Termal buharlaştırmanın şematik gösterimi şekil 3.6. da gösterilmiştir. Sistemi için ince film kaplama cihazı (şekil 3.7) kullanılır. Erime noktası küçük, yüksek ısıya dayanıklı Mo, W, Ta vs. metaller kullanılarak malzeme kaplanır. Tungusten, molibden pota ya da kuartz, grafit, alüminyum, berilyum, boron-nitrit, zirkonyum gibi malzemelerden birinden üretilmiş direkt ısıtılmış rezistans üstüne konarak buharlaştırma yapılır.



Şekil 3.6. Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi



Şekil 3.7. İnce film kaplama cihazı

Termal buharlaştırma tekniğinin ucuz olması her ne kadar avantajlı görünse de büyük çaplı malzeme fabrikasyonunda geometrik unsurların sınırlayıcı olması, erime sıcaklığı düşük malzemeler ( $<1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kullanılması, buharlaştırma süresinin gereğinden fazla tutulması potanın veya pota içinde kalmış artık metallerin buharlaşarak kaplamada kirlilik oluşturması yöntemin dezavantajlarındandır.

### 3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu

1965'de ticari olarak üretilen taramalı elektron mikroskobu (SEM); tıpta, kriminal uygulamalarda, biyolojik bilimlerde, yonga üretiminde, mikro-elektronikte, hata analizlerinde, farklı sanayi kollarında kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobundaki odak derinliği (depth of focus), ayırım gücü (resolution), görüntü ve analizi birleştirebilme gibi özellikler, kullanım alanını genişletmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanılması, SEM' in malzeme üzerinde çok büyütme yapmasına imkân vermiştir. Kristal yapı analizinde; yapının karakterizasyonunun belirlenmesinde kristal kafes gerilimlerinde, tane sınırlarının oluşumunda ve ikizlenmelerinde, ortalama tanecik boyutunun belirlenmesinde, yapı kusurları, dislokasyonları, optik ve elektrik özelliklerin belirlenmesinde Şekil 3.8. 'de görülen SEM (taramalı elektron mikroskobu) sadece numunenin yüzeyini incelemekle kalmaz; nano ve mikro ölçekli araştırmalar için de kullanır.



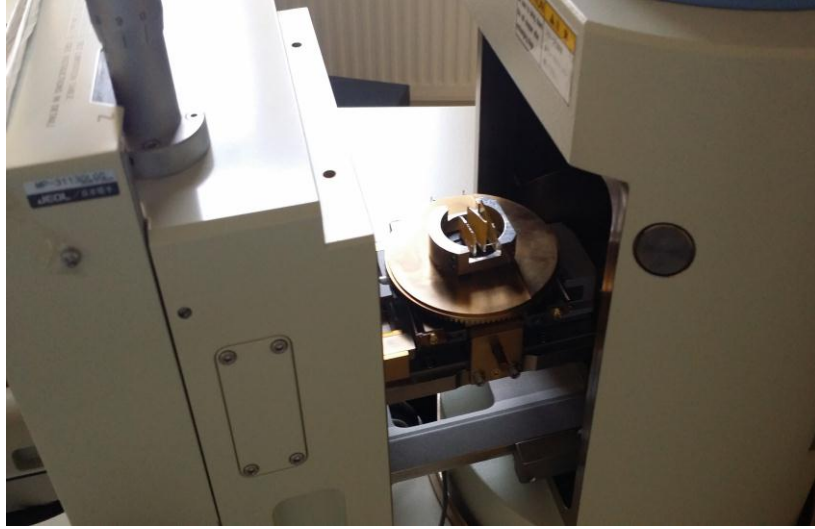
Şekil 3.8. SEM (taramalı elektron mikroskobu)

Mikroskopta aynı anda 4 tane numune bulundurulabilir. Her bir numunenin maksimum yüksekliği 10 mm, çapı 9 mm dir. Büyütme miktarı ise 5X - 300 000X arasında, ayırım gücü 0,05 nm' dir. Aynı oranda büyütme yapıldığında elektron mikroskobundaki odak derinliği, optik mikroskobuna göre 300 kat fazladır. Mesela: 1000X büyütmede elektron mikroskobundaki odak derinliği 30  $\mu\text{m}$ , optik mikroskobun odak derinliği ise sadece 0,1  $\mu\text{m}$ 'dir. Optik mikroskoplara göre SEM'de alan derinliği 30 kat, odak derinliği 300 ile 600 kat daha iyidir. TEM'de (Geçirimli Elektron Mikroskobunda) ayırım/çözünürlük gücü 1-1,9 Å, SEM'de ayırım/çözünürlük gücü 25 Å, optik mikroskobunda 2000 Å civarında seyreder.

Mikroskopta incelenen numuneler; inorganik ve organik olarak gruplandırılır. İnorganik numuneler; metal ve metal-olmayan numunelerdir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmaksızın mikroskopta incelenebilir. Şayet metallerde yüksek çözünürlüklü bir görüntü isteniyorsa altın (Au) kaplama yapılır. Ancak yalıtkan (metal olmayan) numunelerin yüzeyleri iletken bir malzeme ile kaplama zorunluluğu vardır. Bu durum altın veya karbonla 20 nm 'ye kadar olabilir. Yapılacak analizlerde x-ışınları kullanılacaksa karbon kaplanır. Şayet görüntülerde; çözünürlüğü ve kontrastı yüksek numune isteniyorsa altın kaplama yapılır.

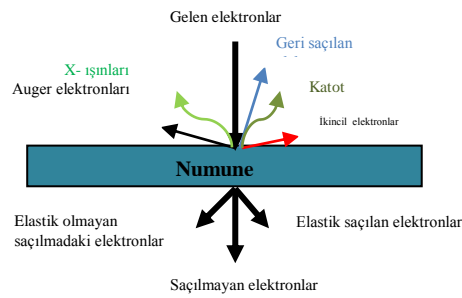
Organik numuneler (böcek, polen, selülozik maddeler) yüksek vakumlu ortamlarda kurutulduktan sonra altınla kaplanarak incelenir. Şekil 3.9 de SEM de incelenmek üzere konan numuneler görülmektedir. Böylece numune zarar görmeden düşük voltaj altındaymış gibi işleme tabi tutulur. Yüksek voltajda hızlandırılan elektronlar numune üzerine odaklandırılarak elektron demeti, numunenin yüzeyini tarar. Algılayıcıda toplanan elektron ve numune atomları arasında meydana gelen etkiler, sinyal güçlendiriciden geçtikten sonra katot ısınların bulunduğu tüpün ekranına aktarılarak görüntü oluşur. Gelişen teknolojiyle birlikte algılayıcılardan gelen sinyaller, dijital hale getirilip bilgisayarda monitöre verilmektedir.





Şekil 3.9. SEM’ de yerleştirilmiş numuneler

SEM’de yüksek gerilim ile hızlandırılmış elektron demeti numune üzerine odaklanarak yüzey taranırken, kırınımına uğrayan elektron demeti kırınımına uğrayarak algılayıcılarda toplanır. Işınlr; sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra katot ışınları tüpü ekranına aktarılarak görüntü oluşur. Günümüzde ise; algılayıcılarda toplanıp gelen sinyaller, bilgisayarda dijital sinyallere çevrilir. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) ölçümlerinde şekil 3.10’ de görüldüğü gibi yüksek enerjili elektronlar numune yüzeyine gönderilerek taranır. Dedekte edilen fotonlar çeşitli frekanslarda yüzeyden saçılır. Taranan numunenin yüzey görüntüsü elde edilir.



Şekil 3.10. SEM de numune üzerine gönderilen elektronların durumu

Üretilen film bileşenlerinin miktarlarındaki oranı (stokiyometri) bulmak için enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (EDS veya EDX) tekniği kullanılır. EDX; SEM ile kombineli çalışır. Numune yüzeyindeki bileşenlerin kantitatif (nicel), kalitatif analizi EDX tekniği ile yapılmaktadır. Malzemelerin kimyasal ya da elementel

kompozisyonunun analizinde de kullanılan EDX karakteristik x-ışını spektrumlarına göre, her elementi tanıyarak, elementlerin numunedeki yüzde miktarını belirler. EDX de incelenen numune üzerine elektron demeti gönderilerek ışınların numunedeki elementlerle etkileşime girmesi sağlanır. Bu ışınlar K, L ve M enerji seviyelerinden, her elementin bulunma oranı miktarınca farklı şiddette, geri yansıtılır. EDAX analiz cihazıyla yansıyan ışınların şiddetleri, yüzdelik orana çevrilerek elementin malzemede bulunma yüzdesi belirlenir. Görmek istediğimiz elementin piklerini ifade eden X-ışınları seçilerek EDX dedektöründe sayılır, yüzeyindeki her nokta için elementin göreceli oranı tespit edilir.

### 3.6. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) 1986 yılında Binnig, Quate ve Gerber tarafından icat edilmiş, atomik ve moleküler düzeyde görüntüleme yapan bir cihazdır. AFM analizi, ince filmlerin morfolojilerini ve yüzey pürüzlülüğünü hem mikro hem de nano boyutta belirlemede kullanılır. AFM 'de angström ( $\text{\AA}$ ) mertebesinde 100 mikrona kadar yüzey topografisi görülebilir. 100-500  $\mu\text{m}$  uzunluğunda çubuk ve çubuk uçların sabitlendiği uçlarda boyu 5  $\mu\text{m}$ 'den kısa, yarıçapı 10 nm'den daha küçük sivri uçlar vardır. Uç ile numune arasındaki etkileşim ( şekil 3.11. ) kuvveti, çubuğun bükülerek sapmasını sağlar.



Şekil 3.11. AFM'de uç ile numune arasındaki etkileşimin şematik gösterimi

Yüzeylerin topografyasını incelemeğe yönelik kullanılan bu sistemde; voltaj uygulanarak, piezoelektrik konum kontrol sistemi aracılığıyla, demetteki uç, bir hat halinde yüzey çizgisinden taranır. Sık yüzeyi ile uç arasındaki etkileşim numunenin düzlemine dik gelecek şekilde hareket ettirilerek taranır. AFM'nin iğnesi yüzeye santimetrenin milyarda biri kadar yaklaşarak yüzeyin elektron ortamıyla iğnenin atmosferi çakıştığı anda yüzeyle iğne arasında elektron atlaması olur ve çok az miktarda elektrik akımı meydana gelir. iğne ucunun yüzeye olan uzaklığıyla oluşan akı doğru orantılıdır. AFM iğnesi yüzeyde; sağ, sol, yukarı, aşağı yönde hareket ettirilerek sağlıklı bir görüntü elde edilir. İğne yüzeyi tararken ve yüzeyde ilerlerken yukarı ve aşağıya doğru iğne hareket ettirilerek akım sabit

kalır, böylece bir atom mertebesinde en ufak girinti ve çıkıntı gözlemlenir. En minimum kuvvetle yüzeye dokunan iğne ucu yapıyı bozmadan atomlarla tek tek temas ederken bilgisayar; alınan şerit görüntüleri birleştirir ve üç-boyutlu görüntüye dönüştürür. Çalışmada kullanılan Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) Şekil 3.12’de gösterilmektedir..

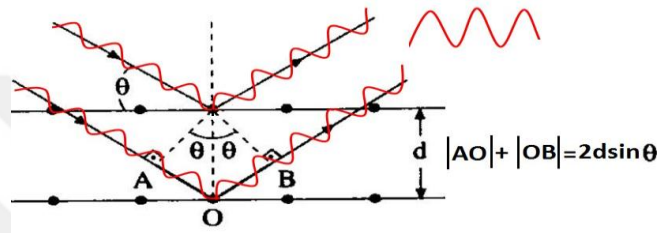


Şekil 3.12. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

### 3.7. X-Işını Kırınımı

X-ışınları 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından bulundu. X-ışınlarının kırınımı yardımıyla kristal yapı incelenir. Bu kırınım kristalin yapısına ve kullanılan ışığın dalga boyuna bağlıdır. X-ışınlarının dalga boyları 0,1 ile 100 Å mertebesinde olduğundan kristallerde kırınıma uğrar. Elektrik alandan ve magnetik alandan etkilenmeyen x- ışınları saydam olmayan cisimlerden kolayca geçer. Fotoğraf filmine etki ederek iz bırakan x-ışınları, fosforlu maddelerin parlamasına sebep olur. Doğrusal yol alan x-ışınlarında, başlangıçta elektronlar ne kadar hızlıysa ışınların gericiliği ve ışık şiddeti de o nisbette fazla olur. Bir kristale gelen x-ışınlarının kırınıma uğraması W.L. Bragg tarafından Bragg yasası ile açıklanmıştır. Bragg bağıntısı basit olmakla birlikte deneysel sonuçlarla uyumludur. Gelen x- ışınları dalgaları kristaldeki atomlardan oluşan düzlemlen düzgün yansıdığında, gelme açısı yansıma açısına eşit olur. Paralel düzlemlerdeki yansımalar ile yapıcı girişim oluşarak kırınım deseni meydana gelir. Burada x-ışınları elastik saçılmaya uğradığından enerjisi değişmez. Kristal yapıya

gönderilen elektromanyetik dalgaların, kristalle etkileşime girebilmesi için gelen elektromanyetik dalga boyunun ( $\lambda$ ) kristal yapının atomları arasındaki mesafeyle aynı mertebede olması gerekir. Atomlar arası mesafenin angström ( $\text{Å}$ ) olması ve x-ışınlarının dalga boyu  $10^5$  ile  $10^2$   $\text{Å}$  arasında değişmesi x-ışınlarının kristal yapılarda kullanılmasına sebep olmuştur. Gönderilen x-ışınları kristalde yansıdığı anda kırınımına uğrar. Kırınım doğrultuları, birim hücrenin büyüklüğü ve şekliyle belirlenir. Kırınım demetlerinin şiddeti bulunarak birim hücredeki atomların yerleri belirlenebilir. Şekil 3.13 de x-ışınlarının yansıması görülmektedir.



Şekil 3.13. X-ışınlarının yansıması ([http://mlab.bayburt.edu.tr/tr/Sayfa/Cihazlar#resim\[sayfalcerik\]/4/](http://mlab.bayburt.edu.tr/tr/Sayfa/Cihazlar#resim[sayfalcerik]/4/))

Elektrik alandan ve magnetik alandan etkilenmeyen x-ışınları saydam olmayan cisimlerden kolayca geçer. Fotoğraf filmine etki ederek iz bırakan x-ışınları, fosforlu maddelerin parlamasına sebep olur. Doğrusal yol alan x-ışınlarında, başlangıçta elektronlar ne kadar hızlıysa ışınların giriciliği ve ışık şiddeti de o nispette fazla olur. Çalışmada kullanılan X-ray diffraction (XRD) cihazı Şekil 3.14 'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. XRD cihazı (X-ray diffraction)

XRD (X-Işınları Kırınım Tekniği) ölçüm sisteminde; malzemenin kristal ve amorf yapılarına göre hangi fazda olduğu; basınç sıcaklık, zamana göre nicel olarak faz değişimlerinin belirlenmesinde, örgü sabitlerini belirlenmesinde, birim hücrede atomlardaki elektron yoğunluklarının belirlenmesinde, kimyasal kompozisyonun açığa çıkmasında, tanecik yönelimiyle tek kristal yönelimin belirlenmesinde, tanecik boyutu bilinmesinde, polikristal malzemelerin içeriğini belirlemede x-ışınları kırınım tekniği kullanılır.

Numunenin fazı, ışınım, dedektör x-ışını kırınımı üzerinde etkindir. Değişken dalga boyulu ya da tek renkli ışınım kullanılabilir. Dedektör olarak; fotoğraf filmi ya da ışınım sayacı kullanılır. İncelenen numune; ya toz halinde ya tek kristal ya da katı madde olabilir. Kullanılan unsurların farklılığı göz önüne alınarak Weissenberg, Buerger Debye-Scherrer Guinier, Laue, dönme-salınım, difraksiyon, otomatik difraksiyon XRD teknikleri kullanılır. XRD kırınımı iki türde olur: toz kristal metodu (powder crystal) ve tek kristal metodu (Single Crystal).

### **3.7.1. Toz Kristal Metodu**

Monokromatik x-ışını demeti numune üzerine gönderilirken;  $\lambda$  sabit,  $\theta$  değişken alınır.  $\lambda$  'nın sabit olması maksimum yansıma meydana getirir. Bunun nedeni  $\theta$  açısının kristal düzlemlerle uygun düşmesidir. Işını hem numuneden geçirerek, hem de numuneden yansıtarak toz kırınımında veriler oluşturulabilir.

### **3.7.2. Tek Kristal Metodu**

Laue ve Döner Kristal yöntemleri kullanılır. Laue Metodu; büyük tek kristallerin simetrisini ve yönelimini anlamak amacıyla, sabit kristalden yansıyan radyasyon ölçülür. Burada  $\theta$  sabit,  $\lambda$  değişkendir. Döner Kristal Metodu;  $\theta$  değişken,  $\lambda$  sabit. Malzemeler genel olarak polikristal yapıda olup tek kristal yapı bir malzemenin fabrikasyonu zordur. Ancak yapısı ve simetrisi belli olmayan malzemeler tanımlanırken; tek kristal metodundan Laue veya Döner Kristal yöntemlerinden biri, duruma göre kullanılır. İnce filmlerin yapı analizinde tek kristal metodu kullanışlı değildir.

### 3.8. İnce Filmlerin Optik Karakterizasyonu

Optik sabitler; soğurma (absorbans), geçirgenlik (transmitans) ve yansıma (reflektans) ölçümlerindeki değerler kullanılarak, belirlenir. Farklı fazlarda olan malzemenin stokiometrisinin doğru belirlenmesi için absorbans tekniği kullanılır. Farklı sıcaklıklarda elde edilen ince filmlerinin absorbans ( $A$ ), transmitans ( $T$ ) ve reflektans ( $R$ ) değerlerinin foton enerjisi ile değişimleri arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki reflektans ölçümlerinde ortaya konmuştur. Enerjinin korunumundan reflektans, transmitans, absorbans değerleri arasındaki ilişki;  $A+T+R=1$  olarak belirlenir.

$\nu \geq E_g$  olması durumunda temel soğurma durumundan söz edilir. Çalışmada kullanılan UV-vis spectrophotometre cihazı Şekil 3.4 de gösteriliyor. Saydam bir materyale gelen radyasyon ve materyalden geçen radyasyon için aşağıdaki ifade yazılır:

$$I=I_0.e^{-\alpha t} \quad (3.1)$$

Burada,  $I$  gelen ışının şiddeti,  $t$  radyasyona maruz kalan materyalin kalınlığı,  $I_0$  materyalden geçen radyasyonun şiddeti,  $\alpha$  ise materyal için soğurma katsayısıdır ve aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\alpha =2.303 A/t \quad (3.2)$$

#### 3.8.1 Soğurma ölçüm sistemi

Yasak enerji aralığı belirlenirken, yarıiletkenlerde; numuneye zarar vermeyen soğurma ölçüm metodu kullanılır. UV-Visible spektrometresi soğurma ölçümlerinde kullanılır.

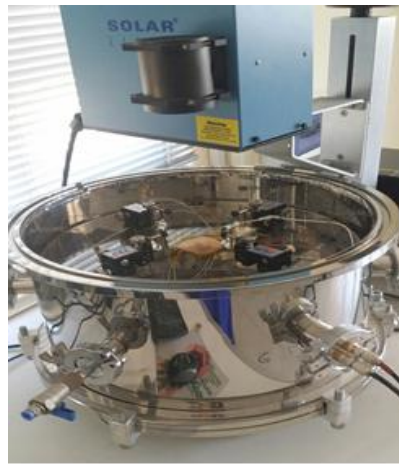
190–1100 nm aralığında aygıt çalışır. Ölçüm yapacak bölmede iki tane kuvars ölçümü yapan hücre yuvası vardır ve birbirlerine paraleldir. Yuvalardan bir tanesi numune için diğeri referans içindir. Kuvars ölçüm hücrelerine genişliği 1 mm ve yüksekliği 1 cm olan  $I_0$  ışık demeti, kaynaktan gönderilir. Referans ve numune hücreleri üstünden geçen ışık demetleri, algılayıcı fotodiyodlara kadar gelir. Gelen ışık şiddetini, Fotodiyodlar ölçer ve kıyaslama yapar. Numuneye gelen ışık şiddeti dalga boyuna ya da zamana bağlı bir fonksiyon oluşturur. Spektrometrenin kontrolü bilgisayar tarafından yapılarak sonuçlar alınır ve kaydedilir. Şekil 3.15 te UV-vis spectrophotometresi görülmektedir.



Şekil 3.15. UV-vis spectrophotometre

### 3.9. Metal-Yarıiletken Kontak

Akım ileten düz ve ters beslem halindeki kontaklara “*omik kontak*” denir. Metalle yarıiletken arasında gerçekleşecek omik kontakta yüzeye p ve n-tipi kontak yapılacak metal seçilir. Yarıiletkenin yüksek katkı olması gerekir ki, yüzeyde omik kontak oluşabilin. Bu nedenle yarıiletkenin yüzeyi metalle kaplanır. Yüzeye p ve n-tipi kontak yapılacak metal seçilir. Metaldeki elektronların ısıl işlemlerle yarıiletkenin yüzeyine difüzyonu sağlanarak yarıiletkenin katkı konsantrasyonu artırılır. Katkı konsantrasyonunun artırılmasıyla bariyer yüksekliği azaltılarak elektronlar, yarı iletkenin yüzeyine tünelleme yoluyla kolay bir şekilde ulaşır. Fabrikasyonu tamamlanan metal-yarıiletken kontakların güneş simülatörü yardımıyla probe station sisteminde (Şekil 3.16.) I-V ölçümleri yapılır.

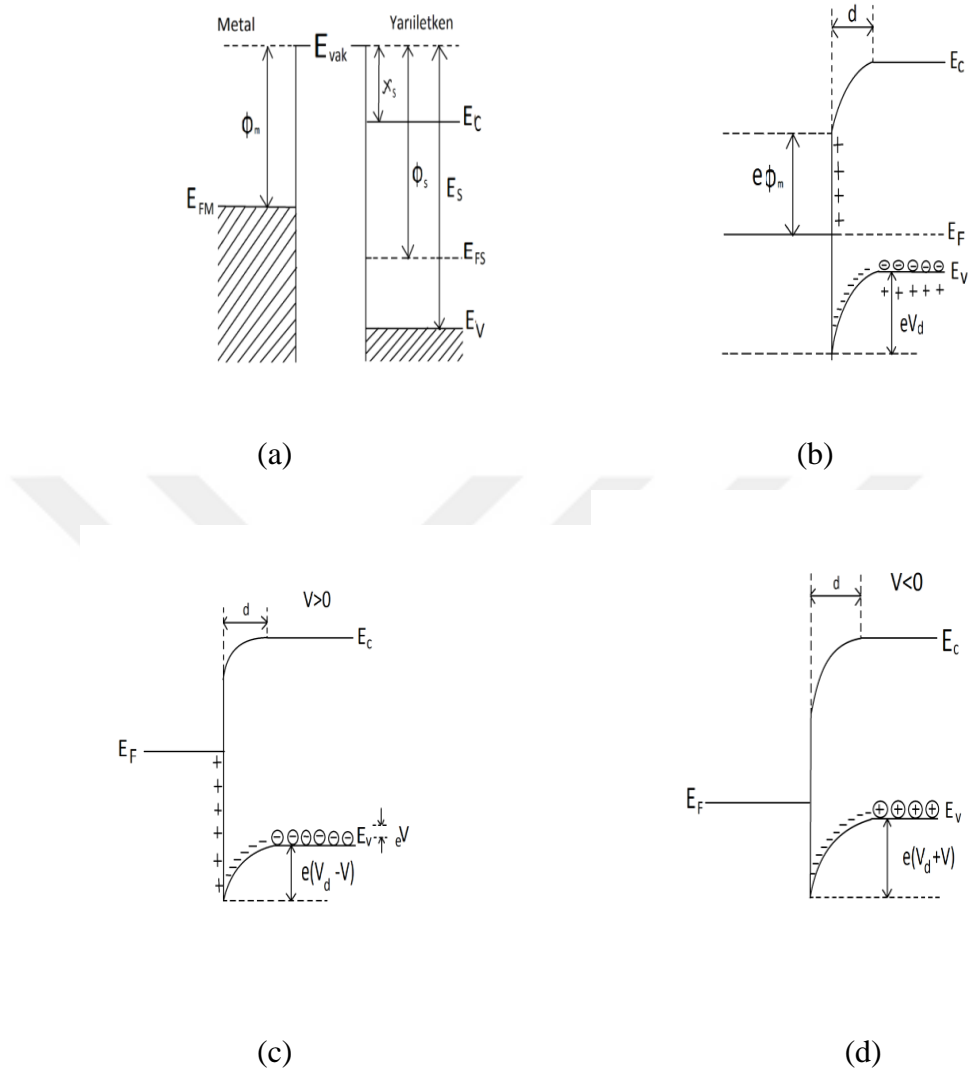


Şekil 3.16. Probe station sistemi

Omik kontaktaki direnç, yarıiletkenin seri veya gövde (bulk) direncine oranla ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Omik kontaktaki bu direnci azaltmaya yönelik olarak aygıtın aktif bölgesi ile metal arasına yüksek katkılı yarıiletken kontak yapılarak konur. Metal ile yarıiletken arasında kontağın iyi olması, aradaki engeli daraltır. Taşıyıcılar tünelleme ile transfer edilirken kontaktaki seri direnç azalarak akım sorunsuz iletilmiş olur. İdeal olan omik kontağın  $I-V$  karakteristiklerinin lineer yani doğrusal olma durumudur. Şayet Metalle yarıiletken arasında bir engel oluşmuşsa  $I-V$  karakteristikleri doğrusal olmaz. Oluşan bu engeli azaltmak için termal tavlama işlemi yapılır. Böyle yapılarak omik kontağın  $I-V$  karakteristikleri doğrusal hale getirilir.

Metalle yarıiletken kontak yapıldığında aralarında bir potansiyel engel oluştuğu fikrini Schottky ortaya koymuş. Farklı yarıiletkenlerle yapılan p-n kontaklarda istenilen özelliğe sahip devre elemanı yapımı mümkündür. Fermi enerji seviyesi  $E_f$  eklem arasında yük mübadelesinde önemli rol oynar. Şekil 3.17. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı enerji-bant diyagramını gösteriyor. Ayrıca, (a) materyaller kontak haline getirilmeden önce (b) Kontak edildikten sonra ve termal denge durumunda, (c) uygulanan potansiyelin sıfırdan farklı olması durumunda ( $V>0$ ) (d)  $V<0$  meydana gelen bant diyagramı hali gösteriliyor.





Şekil 3.17. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı enerji-bant diyagramı

### 3.10. Raman Saçılması

Malzemeye etkileşen ışık, buradaki moleküller tarafından ya soğrulur, ya saçılır ya da moleküllerle hiçbir etkileşime girmeden geçip gider. Uyarılmış enerji durumu ile taban enerji durumu arasındaki enerji farkına karşılık gelen ışığın enejesi; molekülün uyarılmış enerji durumuna geçmesini sağlar. Işığın malzeme içindeki atom veya moleküllerle etkileşmesiyle ışığın frekansı değişir ve malzemedan saçılır. Saçılan bu ışığa Raman Saçılması denir. Gelen ışığa oranla frekansı artarak oluşan saçılmalar ‘Zıt-Stokes saçılması’, gelen ışığa göre frekansı azalarak oluşan saçılmalar ‘Stokes saçılması’, gelen ışık ile aynı frekansta meydana gelen saçılmalara ‘Rayleigh saçılması’ denir. Saçılmaların

çoğunluğu gelen ışık ile aynı frekansta gerçekleşen Rayleigh saçılması şeklindedir. Şekil 3.18 de Raman cihazı gösterilmektedir.

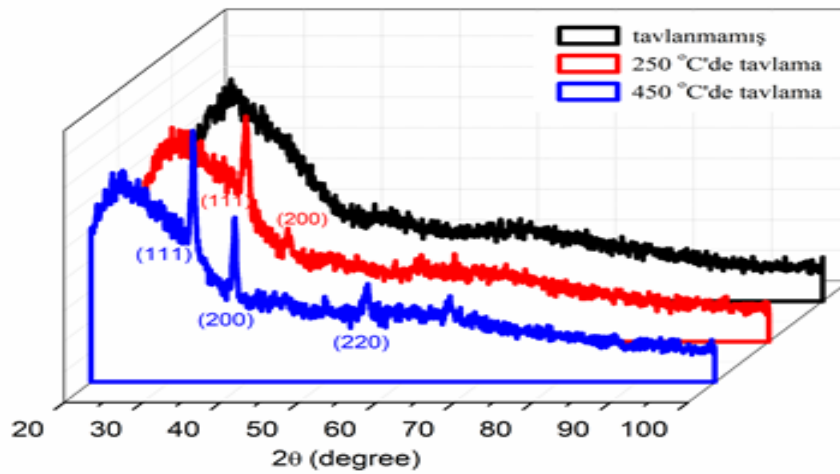


Şekil 3.18. Raman cihazı

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 4.1. CdO İnce filmlerin Yapı, Yüzey ve Optik Karakteristikleri

Oda sıcaklığında cam altlıklar üzerine kaplanan CdO ince filmlerin X-ışını difraksiyon (XRD) ölçümlerini Şekil 4.1 ( $20 \leq 2\theta \leq 90$  Bragg açısı ( $2\theta$ ) içinde kaydedilen) gösteriyor. Şekilde görüldüğü gibi cam altlık üzerine kaplandıktan sonra herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmayan numunenin hiçbir Bragg açısında pik vermediği görülüyor. XRD spektrumu, 1 saat  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de termal tavlama işlemi uygulanan numuneler için difraksiyon düzlemlerine karşılık gelen pikler sergiliyor. Düzlemler arası mesafe ve difraksiyon pikleri, kübik CdO'in standart difraksiyon spektrumu ile uyum içindedir. (111), (200) ve (220) düzlemlerindeki pikler, kübik yapının oluşumunu toz difraksiyon standartları için uluslararası komite (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, JCPDS) tarafından da teyit edilmiştir (JCPDS kard No: 05-0640). En yüksek pik şiddeti,  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavlanan numune için (111) kristalografik düzleminde yapı için bir ipucu vererek  $2\theta = 33.10$ 'da bulunmuştur. Dolayısıyla, kristal büyümenin (111) düzlemi boyunca yönelimli ve baskın olduğu söylenebilir. Tavlama sıcaklığı arttıkça pikler, artan kristallığı işaret ederek, daha şiddetli ve daha az genişlikte olmaya başlıyor.



Şekil 4.1. CdO ince filminin XRD spektrumu

Düzlemin tercihli büyüme yöneliminin niceliksel olarak analizi yapılır ve “texture coefficient ( $TC_{(hkl)}$ )” olarak nitelendirilen bir parametre katsayısı ile karakterize edilir. ( $TC_{(hkl)}$ ) aşağıda verilen ifade ile belirlenir (Benhaoua et al. 2014):

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

Burada,  $I_{(hkl)}$ ,  $I_{(hkl)}$  düzleminin ölçülen relativ şiddetidir.  $N$  yansımaların sayısıdır.  $I_o(hkl)$  JCPDS datasından belirlenen  $(hkl)$  düzleminin standart şiddetidir. CdO için bu parametrenin ( $TC_{hkl}$ ) tavlama sıcaklığına bağlı değerleri Tablo 4.1’de listeleniyor.

$TC_{(111)}$  değerlerinin  $TC_{(200)}$  değerlerinden büyük olduğu görülüyor. Üstelik pik şiddetleri termal tavlama sıcaklığı arttıkça artıyor. Bir kristal yapıda örgü (lattice) uzunluğu önem arz eder. Bu uzunluk örgü sabiti ( $a$ ) olarak adlandırılır. Örgü sabiti  $(hkl)$  düzlemleri arasındaki mesafenin (uzay) tersi alınarak belirlenir. “ $a$ ” parametresi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır:

$$d_{hkl} = a / \sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (4.2)$$

Burada,  $d_{hkl}$   $(hkl)$  Miller indislerine sahip düzlemler için düzlemler arası mesafe (interplanar spacing) olarak tanımlanır. CdO ince filmlerinin baskın pikleri için belirlenen örgü sabiti değerleri Tablo 4.1’de veriliyor. Bu değerler, kristalin optik ve elektriksel özellikleri üzerine büyük etkiye sahiptir. Bu yüzden fabrikasyonu yapılacak aygıtların performansları bu şekilde etkilenebilir. Bir kristal yapının parçacık boyutu (particle size)  $lines/m^2$  birimindeki dislokasyon yoğunluğu (dislocation density  $\delta$ ) ve zorlanma değerleri (strain values  $\epsilon$ ) aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenebilir (Ghosh et al. 2004; Murali et al. 2010).

Tablo 4.1. CdO ince filmlerin bazı yapısal parametreleri

Tavlama sic. (°C)	2θ (111)	FWHM	Texture coefficient		Ort. Kristal. Boyutu (D) (nm)	Örgü sabitini (a) (°Å)	Dislokasyon yoğ. (δ) 10 <sup>14</sup> lines/m <sup>2</sup>	Gerilme (ε) ×10 <sup>-3</sup>
			(111)	(200)				
250	33,00	0,293	2,695	1,722	33,25	4,6949	8,048	3,912
450	33,10	0,256	2,580	1,811	36,92	4,6952	8,154	3,672

$$D = \frac{0,94\lambda}{B \cos \theta} \quad (4.3)$$

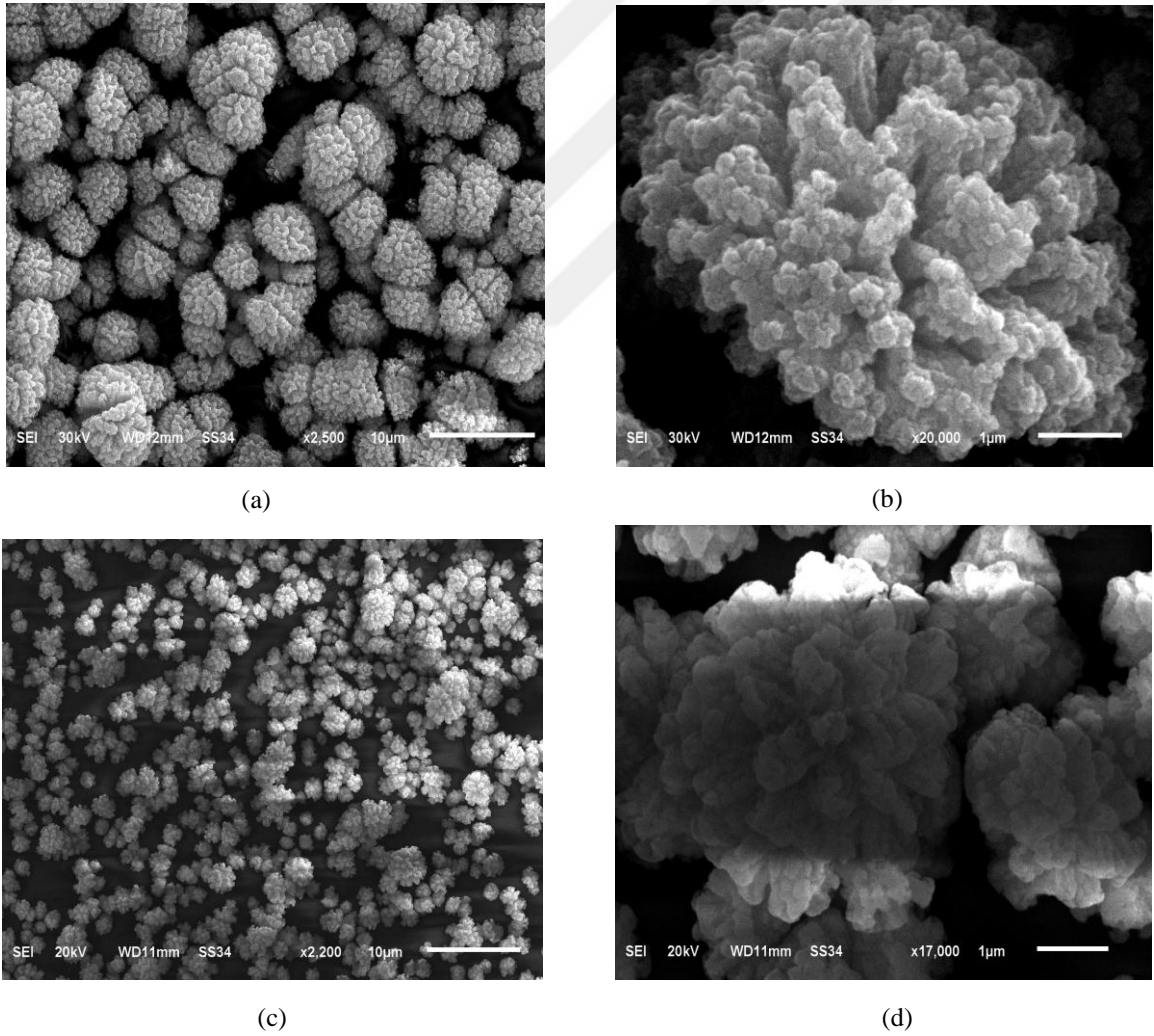
$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (4.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (4.5)$$

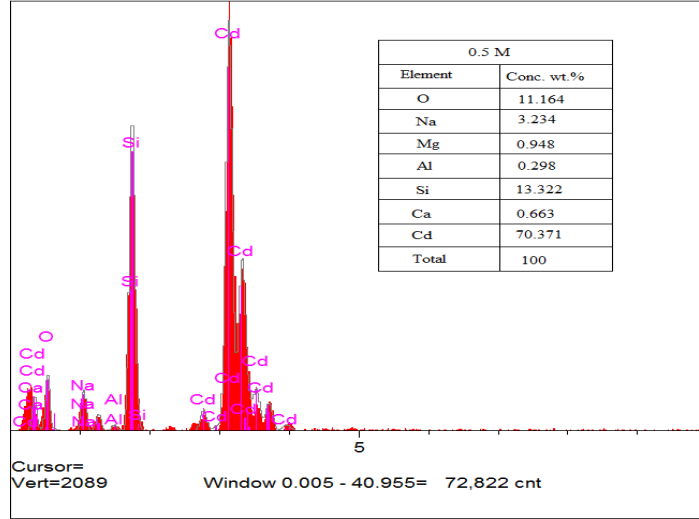
Burada  $\lambda$  gelen ışının dalga boyudur.  $\theta$  Bragg açısıdır.  $\beta$  ise gözlenen pikin yarı yüksekliğindeki tam genişlik (full width at half maximum, FWHM) olarak tanımlanır. Termal tavlama sıcaklığındaki artış ile FWHM'un azalması CdO ince filmin kristalliği ile ilgilidir. İlgili denklemden ortalama kristal boyutunun (average crystallite size,  $D$ ) değerleri Tablo 4.1'de veriliyor. Termal tavlama sıcaklığının kristal boyutu üzerine bir etkiye sahip olduğu Tablodan da görülüyor. Dislokasyon yoğunluğu (111) düzlemi dikkate alınarak değerlendirildi. Hem zorlanma hem de dislokasyon yoğunluğu değerleri tavlama sıcaklığı arttıkça azalıyor.

Şekil 4.2'de sol-jel metoduyla hazırlanmış 250 °C ve 450 °C'de tavlanan CdO ince filmlerin taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope, SEM) görüntüleri veriliyor. Şekil 4a ve b 250 °C'de tavlanan, Şekil 4c ve d ise 450 °C'de tavlanan numuneleri göstermektedir. Görüntüler, farklı büyütme oranlarında alınan karnabahar benzeri bir yapıyı içeren CdO ince filmlerin yüzey mikro yapısını gösteriyor. Filmlerin parçacık ölçüsü (boyutu) ve yüzey morfolojisi tavlama sıcaklığı ile değişiyor. Gokul ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada farklı bir yöntemle hazırlanan CdO ince filmlerin

küresel nano küme şekilli bir yapıya sahip olduğunu rapor ettiler. Onlar, tavlama sıcaklığı arttıkça tane boyutunun, CdO yüzey üzerinde pinhollerin gözden kaybolarak, arttığını gösterdiler. Şekil 4e materyal için ağırlıkça atomik yüzde (%wt) oranlarını gösteriyor. Kadmiyum (Cd) ve oksijen (O) elementlerinin varlığı enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (energy-dispersive X-ray spectroscopy EDX) ile teyit ediliyor. CdO ince film içindeki Cd'nin gerçek konsantrasyonu Şekil 4e insette veriliyor. Şekil 4.3a,b katkısız CdO ince filmlerin atomik kuvvet spektroskopu (Atomic Force Microscopy, AFM) ile alınan görüntülerini gösteriyor. Şekiller tavlama sıcaklığını fonksiyonu olarak farklı morfolojik imajlar sergiliyor. Tavlama sıcaklığı arttıkça, nano parçacıklara sahip yüzey daha baskın hale geliyor.



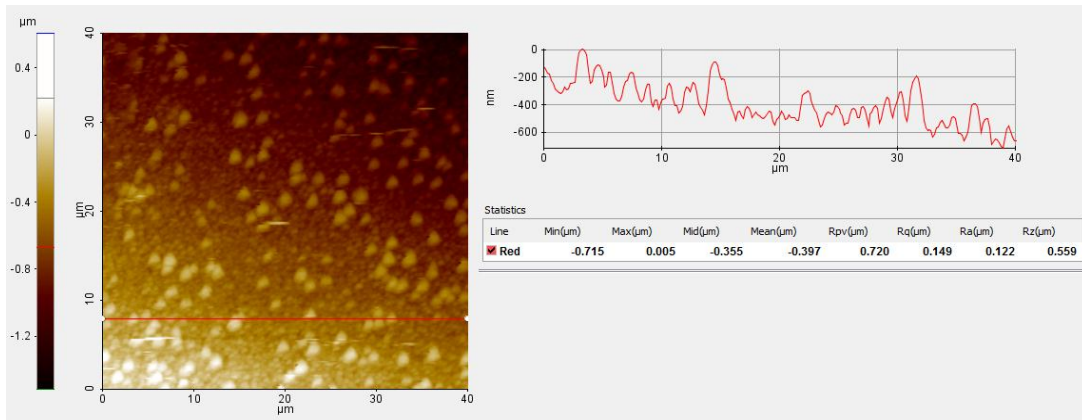
Şekil 4.2. CdO ince filmlerin SEM görüntüleri: (a)-(b) 250 °C’de tavlanan, (c)-(d) 450 °C’de tavlanan,



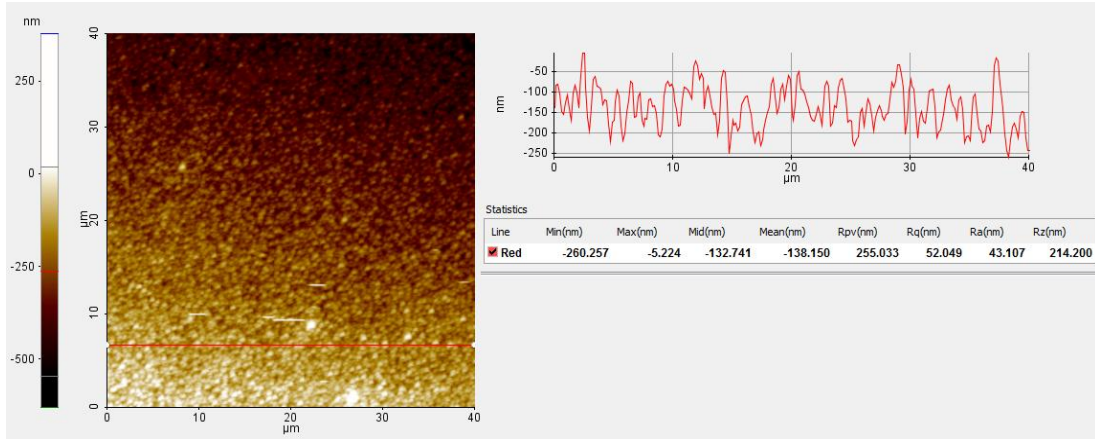
(e)

Şekil 4.2. CdO ince fimlerin (e) EDX spektrumu

Ayrıca, yüzeye ait yüzey pürüzlülüğünü gösteren bir takım parametreler de veriliyor. Bunlar, ortalama pürüzlülük (Mean Roughness ya da Roughness Average  $R_a$ ), kare ortalama kare pürüzlülük (Root Mean Square, RMS roughness,  $R_q$ ) ve ortalama pürüzlülük derinliği (Mean Roughness Depth  $R_z$ ) olarak ifade ediliyor. Mutlak değerlerin aritmetik ortalaması, maksimum pik yüksekliği, her numunenin boyut uzunluğu içindeki en yüksek pik ve en düşük vadi arasındaki ortalama uzaklık hakkında da bilgiler bulunabilir. Pürüzlülük değerleri tavlama sıcaklığı ile değişmiş gözüküyor. En iyi yüzey pürüzlülüğü 450 °C'de tavlanan numune için başarıldığı anlaşılıyor. Pürüzlülük, özellikler yüzey fiziği için son derece önemlidir. Çünkü, elektroniğin temeli olan kontak oluşumunda aygıt performansı yüzeye sıkı sıkıya bağlıdır.



(a)



(b)

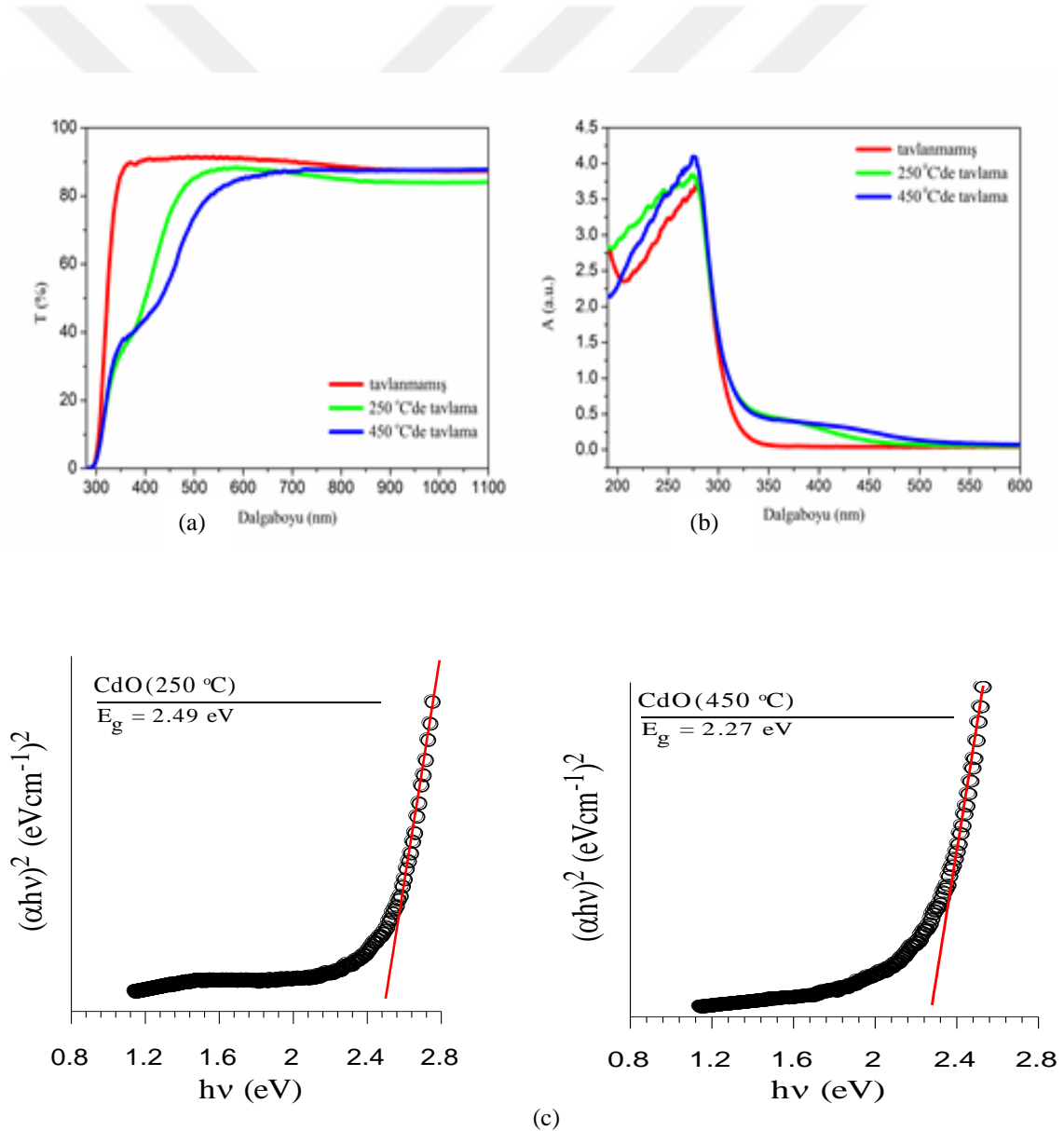
Şekil 4.3. a,b CdO ince filmlerin  $40 \times 40 \mu m^2$  alanlı AFM mikrofotografaları (a)  $250^\circ C$ 'de tavlanan (b)  $450^\circ C$ 'de tavlanan

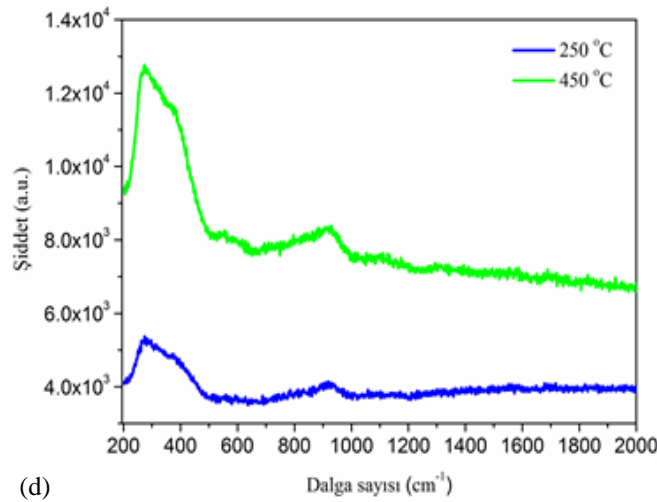
Şekil 4.4a tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak CdO ince filmlerin geçirgenlik (transmittance, T) spektrumunu gösteriyor. Geçirgenlik optoelektronik uygulamalarda önemli bir role sahiptir. CdO ince filmler görünür bölgede (visible region) yaklaşık %80'in üzerinde bir ortalama geçirgenlik gösteriyor. Geçirgenliğin değişen dalgaboyu ile farklılık gösterdiği de ölçüm sonuçlarından görülüyor. Ayrıca, geçirgenlik farklı sıcaklıklarda tavlanan filmler için sabit değildir. Düşük sıcaklıkta tavlanan CdO ince filminin görünür bölgedeki geçirgenliği yüksek sıcaklıkta tavlananından daha yüksektir. Şekil 4.4b tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak CdO ince filmlerin soğurma (absorption, A) spektrumunu gösteriyor.  $450^\circ C$ 'de tavlanan CdO ince filmin soğurma kabiliyetinin, düşük sıcaklıkta tavlanan numune ile kıyaslandığında, daha yüksek olduğu görülüyor. Soğuma yeteneği özellikle fotovoltaik uygulamalarda hayati bir parametredir. Gelen radyasyon tarafından harekete geçirilen elektronlar ve performans değerleri soğurma miktarı ile orantılılık gösteriyor. Aygıt uygulamalarında kullanılacak ince filmlerin yasak enerji aralığı (band gap,  $E_g$ ) önem arzeder. Bir ince filmin optik bant aralığı optik soğurma ölçümleri yardımıyla belirlenebilir. Soğurma olayında soğurma katsayısı (absorption coefficient,  $\alpha$ ) olarak ifade edilen bir nicelik tanımlanır. Bu değer optik bant aralığı ile aşağıda verilen ifadedeki gibi bir ilişkisi vardır (Mott and Gurney 1940):



$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (4.6)$$

Burada,  $B$  bir sabittir.  $E = h\nu$  foton enerjisidir.  $E_g$  optik bant aralığıdır. Şekil 4.4c'de görüldüğü gibi eğri bir süreksizlik gösteriyor. Süreksizliğin görüldüğü bu nokta bant aralığı değerini verir.  $10^4 \text{ cm}^{-1}$  değerine eşit ve büyük optik soğurma katsayısı,  $\alpha$  değerleri banttan banda geçişlerin mümkün olduğu bilgisini içeriyor (Rajesh and Menon 2005; Cheraghizade et al. 2017).  $E_g$ 'nin değeri  $(\alpha h\nu)^2$  vs.  $h\nu$  eğrisinin lineer bölgesinin extrapolasyonu yapılarak belirlenebilir. Farklı sıcaklıklarda tavlanan CdO ince filmleri için  $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$  eğrilerinin lineer bölgeleri Şekil 4.4c'de görülüyor. Buradan elde edilen bant aralığı değerleri tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak Tablo 4.2'de özetleniyor.





Şekil 4.4. a-d (a) CdO ince filminin geçirme spektrumu (b) CdO ince filminin soğurma spektrumu (c) CdO ince filmi için  $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$  eğrileri (d) Raman spektrumu

Tablo 4.2. CdO ince filmlerinin bazı optik parametreleri

Tavlama sic. (°C)	$E_g$ (eV)	$E_u$ (meV)	Kırılma indisi (n)	$\epsilon_\infty$	$N/m_e^* \times 10^{47}$ (cm <sup>-3</sup> g <sup>-1</sup> )
250	2,49	916	2,07	4,76	2,36
450	2,27	491	2,29	5,32	6,45

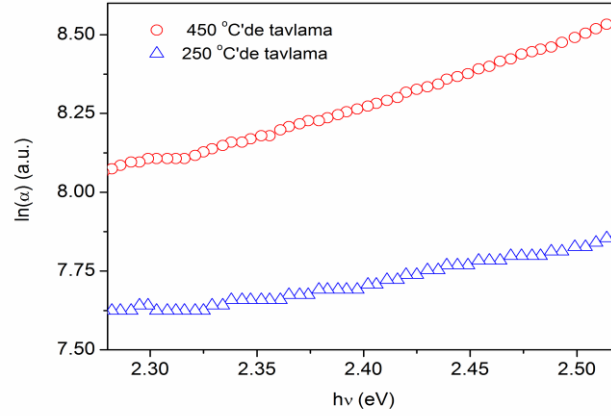
Hazırlanan katkısız (undoped) CdO ince filmler için tahmin edilen band gap değerleri literatürde elde edilenler ile uyum içindedir (Akın et al. 2013; Ramamurthy et al. 2016; Ziabari et al. 2012). Rahman and Khan (2014) CdO ince filmler elde etmeyi, CdCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (0.1 M) çözeltisi kullanarak püskürtme pirolizi yöntemi (spray pyrolysis method) ile denediler. Onlar, CdO ince filmlerin direkt enerji bant aralığını 250 °C ve 450 °C tavlama sıcaklıkları için sırasıyla, 2,23 eV ve 2,18 eV olarak belirlediler. Farklı yöntemlerle elde edilen  $E_g$  değerleri CdO ince film içindeki yük taşıyıcılarının miktarına kristalleşmenin rastgele (random) dağılımına atfedilebilir.  $E_g$  değeri, film hazırlanırken 2-methoxyethanolun çözücü olarak kullanıldığı saf CdO'nunkinden daha düşüktür (Thambidurai et al. 2015). Sonuçlar CdO ince filminin bant aralığının ince filmin sentezinde kullanılan yöntem ve materyaller göre değişebileceğini gösteriyor.

Titreşim modlarının yaklaşık tahminlerinin gözlemlenmesinde oda sıcaklığında CdO ince filmlerin Şekil 4.4d Raman spektrum ölçüm sonuçları elde edildi. Raman saçılması, farklı tavlama sıcaklıklarında  $200-2000 \text{ cm}^{-1}$  aralığında ölçüldü. Pik pozisyonları tavlama sıcaklığına zayıf bir bağlılık gösterirken, pik şiddetleri artan tavlama sıcaklığı ile artıyor. Fiziksel değişim artan tavlama sıcaklığı ile daha bir belirgin hale geliyor.  $275 \text{ cm}^{-1}$ 'de merkezlenen ve  $220 - 510 \text{ cm}^{-1}$  aralığında genişleyen bir pik gözlemlendi. Bu değişim, CdO ince filmde fonon dispersiyon dallarına atfedilebilir. Bununla birlikte, yaklaşık  $920 \text{ cm}^{-1}$ 'de merkezlenen düşük şiddetli bir pik de gözleniyor. Bu durum da boyuna ve enine optik (longitudinal optical LO, transverse optical TO) modlara karşılık gelir (Rajput et al. 2017).

Yarıiletkenlerin soğurma spektrumunun sınırlar keskin çizgilerle ayrılmayabilir. Bir kuyruklanma görülür. Bu durum literatürde Urbach-Martienssen kuyruklanması olarak bilinir. Foton enerjisi ve soğurma katsayısı Urbach enerjisine bağlı olarak ifade edilir (Urbach 1953).

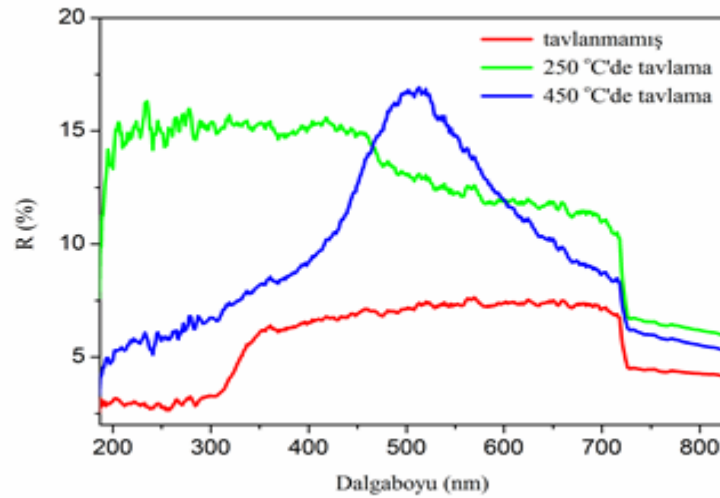
$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{E}{E_u}\right) \quad (4.7)$$

Burada  $E_u$  bant kuyruklanmasının genişliği ile ilgili olan Urbach enerjisidir.  $\alpha_0$  ise bir sabittir. Şekil 4.5 farklı sıcaklıklarda tavlanan CdO ince filmler için  $\ln(\alpha) - h\nu$  eğrilerinin değişimini gösteriyor. Urbach enerjisi, bu eğrinin lineer bölgesinin ters gradiyentinden bulunabilir. Saf CdO ince filmler için Urbach enerjisi,  $E_u$  değerleri termal tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak Tablo 4.2'de veriliyor. Tablodan da görüldüğü gibi Urbach enerjisi değerleri artan tavlama sıcaklığı ile azalıyor. Termal proses, bant aralığının lokalize olmuş aralığını kontrol etmede önemli bir rol oynadığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 4.5. Foton enerjisi ( $h\nu$ ) nin  $\log\alpha$  ile değişimi

Yansımaya (reflectance) ince filmlerin kullanıldığı alanlarda önemli bir parametre olarak karşımıza çıkar. Güneş pili (solar cell) uygulamalarında verimli aygıtlar elde edebilmek için gelen radyasyonun büyük oranda madde ile etkileşmesi gerekir. Bu yüzden yansımaya oranı dikkat çekicidir. Yansımaya da etkilendiği durumların araştırılması bir çalışma alanı olarak değerlendirilir. Şekil. 4.6a yansımaya spektrumunun dalga boyu ile değişimini,  $R-\lambda$  (farklı sıcaklıklarda termal olarak tavlanan filmlerin) gösteriyor. Spektrum, olduğu gibi büyütülen (herhangi bir ısı işleme tabii tutulmayan) CdO ince filmlere göre kıyaslandığında tavlanan numuneler için yansımaya arttığını gösteriyor. Özellikle ~500 nm'de geniş bir pik ortaya çıkıyor. Bu optik bant aralığında meydana gelen optik geçişler ve yüzey yapısından dolayı artan yansımaya ile ilgilidir (Saleh et al. 2012). Spektrum, olduğu gibi büyütülen (herhangi bir ısı işleme tabii tutulmayan) CdO ince filmlere göre kıyaslandığında tavlanan numuneler için yansımaya arttığını gösteriyor. Özellikle ~500 nm'de geniş bir pik ortaya çıkıyor. Bu optik bant aralığında meydana gelen optik geçişler ve yüzey yapısından dolayı artan yansımaya ile ilgilidir (Saleh et al. 2012).



Şekil 4.6. (a) Yansımada spektrumu (Reflectance spectra)

Kırılma indisinin (refractive index) değeri optik performansın kontrolünü belirleyen parametreler içerir. Kompleks kırılma indisi (complex refractive index) aşağıdaki ifade ile verilir.

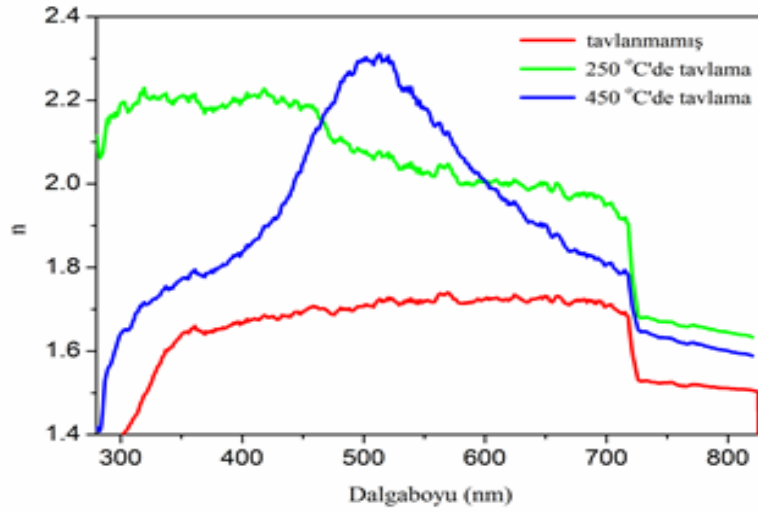
$$n^*(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda) \quad (4.8)$$

Burada  $n$  kırılma indisi,  $k$  ise eksiton katsayısıdır (extinction coefficient).  $n$  ile  $k$  arasında bir ilişki vardır. Bu bağıntı verilen denklemde ifade ediliyor (El-Korashy et al. 2003).

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (4.9)$$

$$n = \left( \frac{1+R}{1-R} \right) + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (4.10)$$

Şekil 4.6 b farklı sıcaklıklarda tavlanan CdO ince filmlerin dalga boyuna karşılık kırılma indislerinin (refractive index) değişimini gösteriyor. Şekilden görüldüğü gibi kırılma indisi eğrileri yansımada eğrileri ile benzer karaktere sahiptir.



Şekil 4.6. (b) Kırılma indisi (Refractive index)

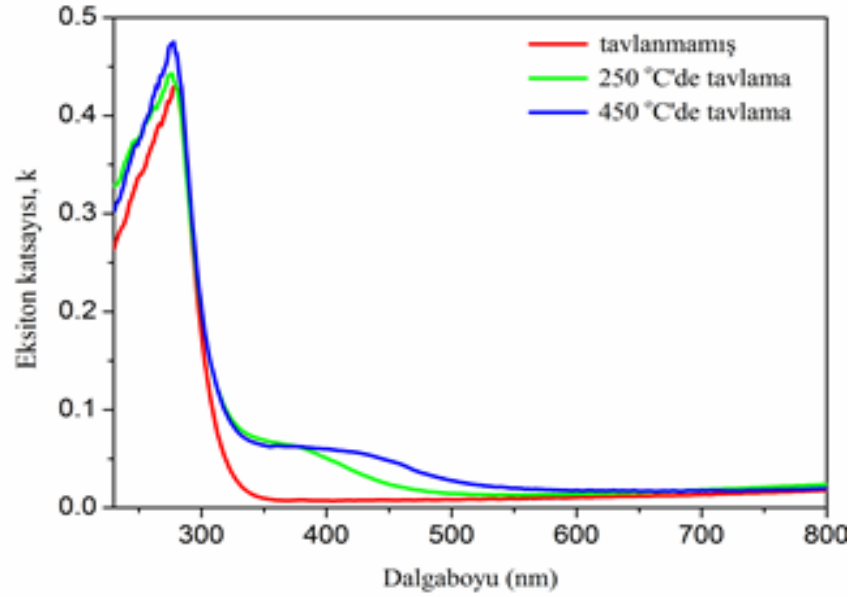
Ayrıca, kırılma indisinin değerleri Tablo 4.2’de özetleniyor. 450 °C’de tavlanan numune  $479 < \lambda > 537$  nm spektral aralığında en yüksek kırılma indisine sahip olduğu görülüyor. Kırılma indisinin yüksek değeri CdO ince filminin kristalliği ve temel bant aralığı soğurması ile ilgilidir. Bu gözlem, dalga boyundaki artış ile soğrulma ve gelen ışıktaki kaybı belirlemede kullanılır (Dakhel 2011). Kırılma indisi materyallerin önemli optik parametrelerindedir. Kırılma indisi ve enerji arasında aşağıdaki bağıntı ile verilen bir ilişki vardır (DiDomenico and Wemple 1969; Wemple and DiDomenico 1971; Wemple 1972). Daha önce verdiğimiz Tablo 4.2 de kırılma indisleri 250 ve 450 °C için sırasıyla 2,07 ve 2,29 olarak belirtilmiştir.

$$n^2 = 1 + \frac{E_d E_0}{E_0^2 - (\hbar \nu)^2} \quad (4.11)$$

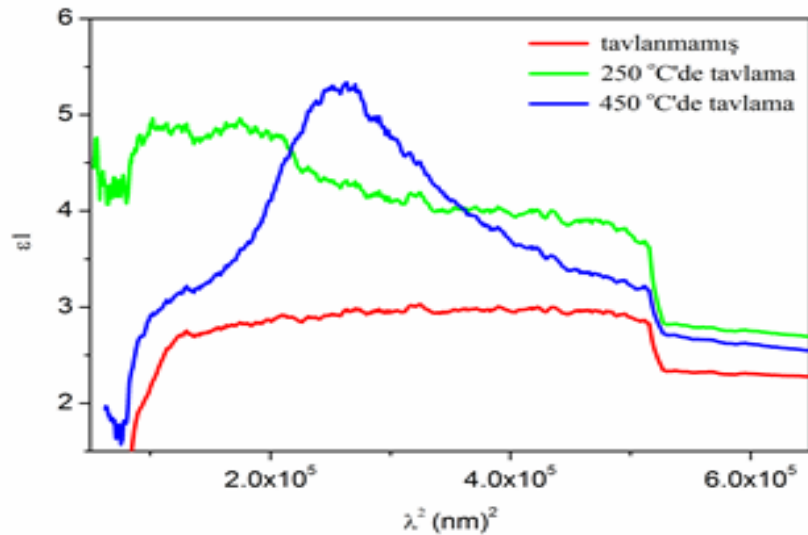
Burada  $E_d$  dispersiyon enerjisi (dispersion energy),  $E_0$  ise osilatör enerjisidir (oscillator energy). Dispersiyon enerjisi  $E_d$  bantdan banda geçiş şiddetinin bir ölçüsüdür ve optik bant aralığının genişliğinden bağımsızdır (Al-Kuhaili et al. 2010).

Şekil 4.7.(a),(b) dalga boyuna karşı sırasıyla, eksiton katsayısı  $k$  (extinction coefficient) ve dielektrik sabitinin (dielectric constant) değişimini gösteriyor. Şekil 4.7(a)’da görüldüğü gibi eksiton katsayısının değeri dalga boyu ile değişiyor. Elde edilen data CdO

ince filmlerin normal dispersiyon davranışını gösteriyor. Bununla birlikte, 450 °C'de tavlanan CdO ince filmlerin görünür bölgede eksiton katsayısı değeri numunelere kıyasla yüksek olduğu şekil 4.7(a)'da gösteriliyor. İnce filmlerin dielektrik karakteristikleri optik özellikleri ile ilişkilidir. Kompleks dielektrik fonksiyonu (complex dielectric function) aşağıdaki gibi ifade edilir (Wakad et al. 2000):



Şekil 4.7. (a) Eksiton katsayısının dalgaboyu ile değişimi



Şekil 4.7. (b) Dielektrik sabitin gerçek (reel) kısmının ( $\epsilon_1$ ) dalgaboyu ile değişimi

$$\varepsilon^* = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 \quad (4.12)$$

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 = \varepsilon_\infty - \frac{e^2}{4\pi^2 c^2 \varepsilon_0} \frac{N}{m^*} \lambda^2 \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_2 = 2nk = \frac{\varepsilon_\infty \omega_p^2}{8\pi^2 c^3 \tau} \lambda^3 \quad (4.14)$$

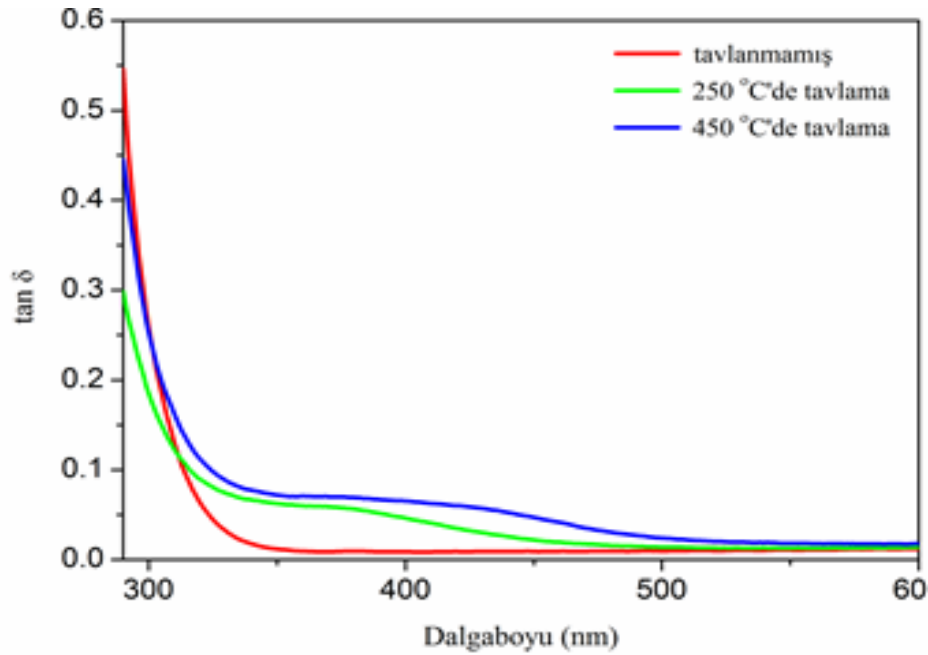
Burada,  $\omega_p$  plazma frekansı (plasma frequency),  $\varepsilon_\infty$  yüksek frekans dielektik sabiti (high frequency dielectric constant),  $e$  elektronik yük (electronic charge),  $N$  serbest taşıyıcı konsantrasyonu (free carrier concentration),  $m^*$  serbest taşıyıcıların etkin kütlesi (effective mass of free carrier),  $\tau$  optik relaksasyon zamanı (optical relaxation time) ve  $c$  ışık hızıdır (velocity of light).  $\lambda^2$  ile dielektik sabitinin değişimi Şekil 7b'de gösteriliyor. Bu eğrinin liner kısmının ekstrapolasyonundan belirlenen  $N/m_e^*$  ve  $\varepsilon_\infty$  değerleri Tablo 4.2'de veriliyor. CdO ince filmler için yüksek frekans dielektik sabiti ( $\varepsilon_\infty$ ), artan tavlama sıcaklığı ile artıyor. Yapılan bir çalışmada, yüksek frekans dielektik sabiti ( $\varepsilon_\infty$ ), altın (Au NP) katkılı TiO<sub>2</sub> (titanium dioxide) ince filmler ile kıyaslandığında katkısız TiO<sub>2</sub> için artıyor (Gültekin et al. 2014).

Hacim ve yüzey enerji kayıpları film kalitesini değerlendirmek için bir kriter olabilir.  $\tan \delta$  dağıtma faktörü (dissipation factor) olarak değerlendirilir ve aşağıdaki gibi verilir (Sakr et al. 2010; Yakuphanoglu et al. 2004):

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (4.15)$$

Bir dağılımlı sistemdeki (dissipative system)  $\tan \delta$ , güç kayıp oranı ile ilgilidir (Kana et al. 2011). Şekil 4.8  $\tan \delta - h\nu$  değişimini gösteriyor. Şekilden görüldüğü gibi bu faktör foton enerjisine bağlı olarak artıyor.





Şekil 4.8.  $\tan\delta$ -dalgaboyu değişimi

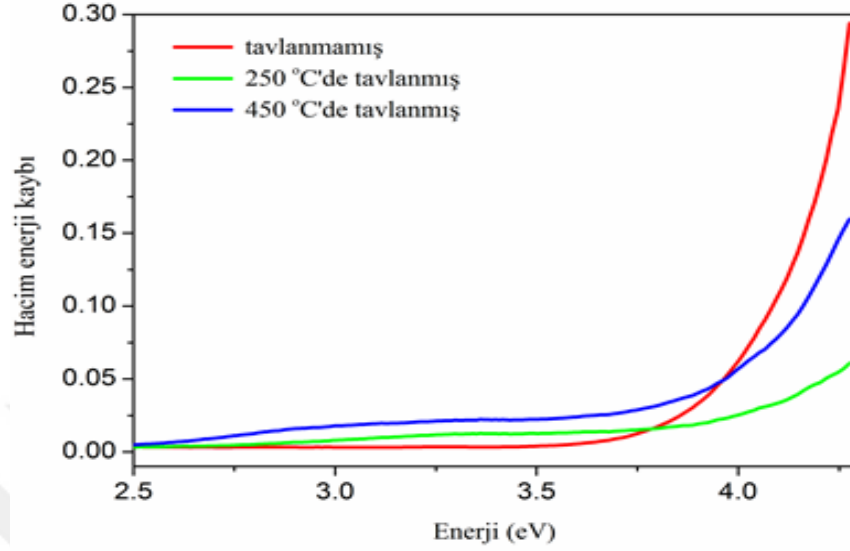
Optik materyallerin enerji kayıp fonksiyonları optoelektronik aygıt uygulamalarında önemli bir rol oynar. Bu yüzden gövde ve yüzeyde hareket eden yüksek mobiliteli elektronlar enerji kaybına maruz kalırlar. CdO ince filmler genellikle n-tip yani baskın çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olan bileşiklerdir. Dolayısıyla, elektronların hareketliliğinden söz edilir. Optik materyallerin hacim ve yüzey enerji kayıp fonksiyonları kompleks dielektrik sabitinin gerçek (real) ve sanal (imaginary) kısımlarına bağlıdır (Salem 2003; Salem et al. 2008): Bu fonksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanır.

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

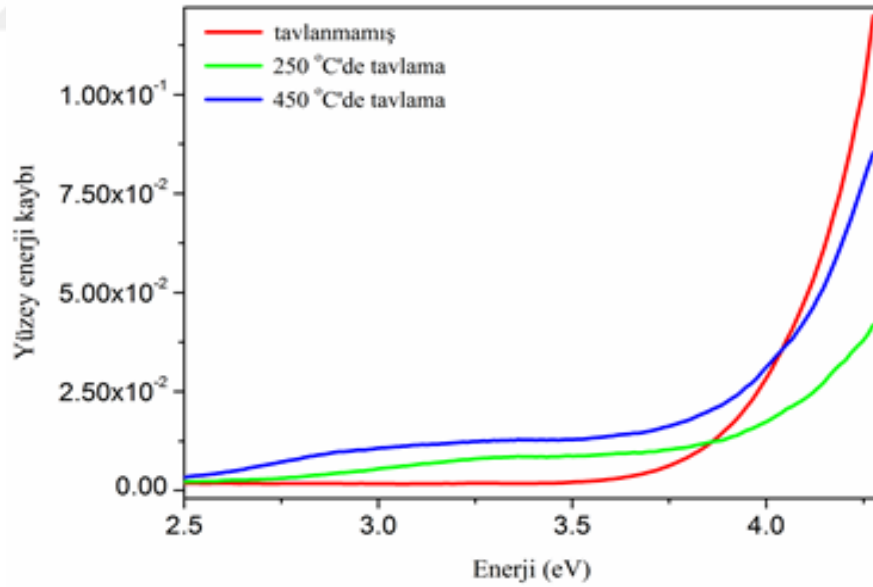
$$-\text{Im}\left[\frac{1}{\varepsilon^* + 1}\right] = \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 1)^2 + \varepsilon_2^2} \quad (4.17)$$

Burada  $\varepsilon$  kompleks dielektrik sabitidir. Şekil 4.9a,b CdO ince filmler için temel soğurma bölgesinde foton enerjisine karşı hacim ve yüzey enerji kaybı (volume energy loss VELF, surface energy loss SELF) eğrilerini gösteriyor. Foton enerjisi arttıkça hacim ve yüzey enerjisi kaybı artıyor ve bir maksimuma ulaşıyor. Yüzey enerji kaybının hacim enerjisi

kaybına kıyasla düşük oluşu dikkat çekicidir. Sonuç olarak, termal tavlama ile yüzey ve hacim enerji kayıplarının iyileştiği söylenebilir (Şekil 4.9.(a)-(b)).



Şekil 4.9. (a) Hacim enerji kaybı-hv değişimi



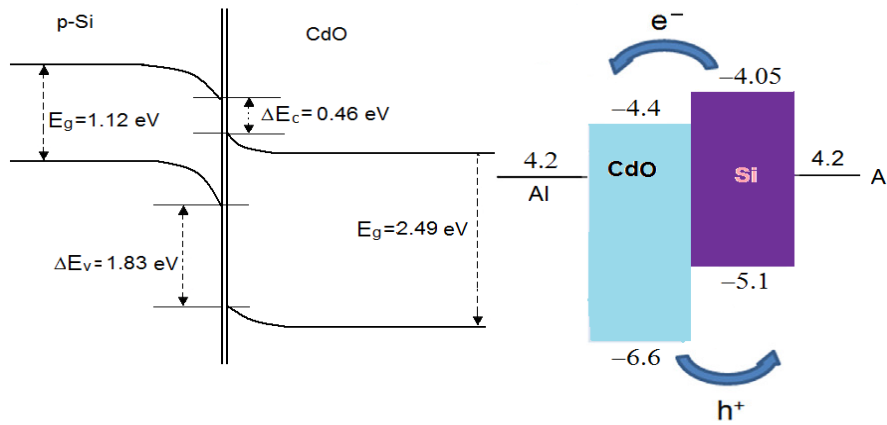
Şekil 4.9. (b) Yüzey enerji kaybı-hv değişimi

Kompleks dielektrik sabiti özellikle kapasitör oluşturmada etkin bir rol oynar. Kompleks dielektrik sabiti etkin relatif geçirgenlikle (permittivity) de ilişkilidir. Hacim ve yüzey enerji kaybı materyalin gövde ve yüzeyi boyunca hareket eden hızlı elektronların

karakteristik enerji kaybı ile orantılıdır. Hacim ve yüzey enerji kaybının türetildiği başka yollar da mevcuttur (Lorentz oscillator dielectric functions) (Abdullah 2013).

#### 4.2. CdO/p-Si Heteroeklem Diyotların Akım-Voltaj Karakteristikleri

Bir p-n eklem için ideal akım-voltaj ( $I$ - $V$ ) ilişkisi çeşitli faraziyeler dikkate alınarak türetilir. Çoğu kez bu yapılara ani (abrupt) eklem yaklaşımı uygulanır. Uzay yükü bölgesi ani sınırlara sahip olabilir. Yapıda yarıiletken tükenim (depletion) bölgesinin dış tarafındadır. (Neamen 1992). CdO ve p tip Si yarıiletkenleri arasındaki heteroeklemin enerji-bant diyagramı Anderson modeli (Milnes and Feucht 1972) kullanılarak oluşturulabilir. Şekil 4.10 CdO/p-Si heteroekleminin enerji-bant diyagramını gösteriyor. Bu diyagramda  $E_g(\text{Si})=1,12$  eV,  $E_g(\text{CdO})=2,29$  eV,  $\chi(\text{Si})=4,05$  eV and  $\chi(\text{CdO})=4,51$  eV (Makori et al. 2014). Burada,  $\chi$  elektron ilgisidir (electron affinity).  $E_g$  yasak enerji aralığıdır. Şekilden de görüldüğü gibi iletkenlik-bant offset (conduction-band offset) yarıiletkenlerin elektron ilgileri arasındaki farktır. ( $\Delta E_C = \chi(\text{CdO}) - \chi(\text{Si}) = 0,46$  eV) ve valans-bant offset (valance-band offset),  $\Delta E_V$ , 1,83 eV'tur ( $E_g(\text{CdO}) - E_g(\text{Si}) + \Delta E_C$ ).  $\Delta E_V$  in  $\Delta E_C$  den büyük olduğu görülüyor.

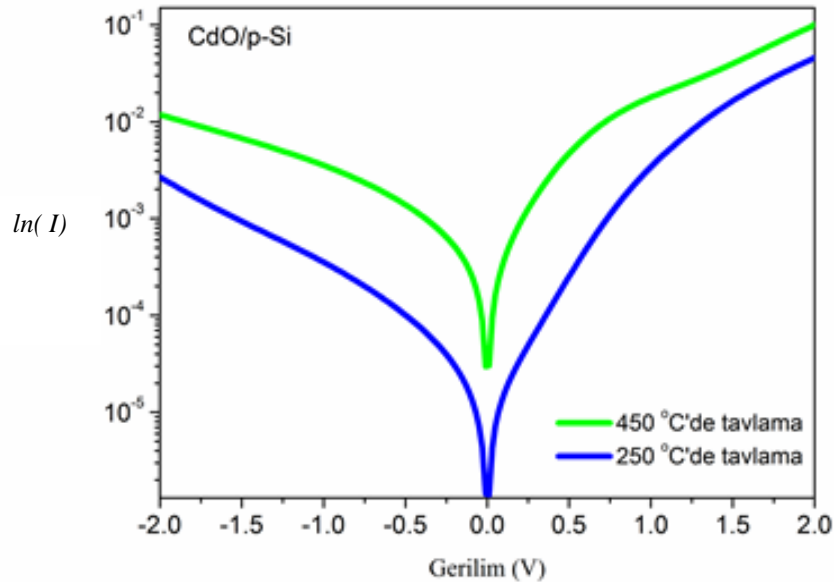


Şekil 4.10. CdO/p-Si heteroekleminin enerji-bant diyagramı

Dolayısıyla, p tip Si yarıiletkeninden CdO'ye hol (hole) enjeksiyonu (injection), CdO'ten p-tip Si'ye elektron enjeksiyonuna kıyasla daha düşüktür. Bu durumda, elektronlar daha küçük potansiyel engeli ile karşılaşırlar. Alüminyumun (Al) iş fonksiyonu (work function) yaklaşık 4.08 eV'tur. Bu, Al'ın iş fonksiyonunun Si'un elektron ilgisine yakın olduğu anlamına gelir. Kontak potansiyel engelinin sıfır olması durumunda bir metal-

yarıiletken eklemi omik (ohmic) davranış sergiler (Soylu and Kader 2016). Üst ve alt Al kontaklar, elektronların CdO ince film boyunca geçebildiğini göstererek, omik karakter gösteriyor. Lee et al. (2011) bir transparan (transparent) iletken inorganik (n-ZnO)/organik (p-tip PEDOT:PSS) dikey heteroeklem diyot (Au/PEDOT:PSS/ZnO/In) fabrike ettiler. Onlar,  $I$ - $V$  karakteristiklerinin Au/PEDOT ve In/ZnO kontak arasında omik davranış sergilediğini rapor ettiler. Doğrultucu karakteristikler p- ve n- yarıiletken tabakalar arasındaki ekleme atfedildi.

Şekil 4. 11, 250 °C ve 450 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin  $I$ - $V$  karakteristiklerini gösteriyor. Akım düz beslem yönünde (forward direction) yaklaşık 0.5 V’a kadar exponansiyel olarak artıyor ve daha sonra seri dirençle bağlantılı olarak akımda bir bükülme meydana geliyor. Ayrıca, ters beslem yönünde (reverse direction) daha az artışa sahip akım, daha büyük voltaj değerlerinde saturasyona uğruyor. Uygulanan voltajla ters beslem yönündeki saturasyon akımının eğilimi, metal/yarıiletken yapılar için Schottky engel modeli ile uyum içindedir (Riess et al. 1997). Saturasyon akımı ( $I_0$ )  $I$ - $V$  eğrileri fit edilerek  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  A mertebesinde bulundu. Bu değer 250 °C’de tavlanan numune için kısmen daha yüksek gözlemlendi.



Şekil 4.11. 250 °C ve 450 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin  $\ln(I)$ - $V$  karakteristikleri

Ortalama sızıntı akımında ise artan tavlama sıcaklığı ile küçük bir artış belirlendi. Bu, tane sınırları boyunca ısı işleminden kaynaklanan kütle difüzyonuna atfedilir. p-n eklem boyunca toplam akım p ve n bölgelerindeki akımların toplamıdır. Akım, aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV_d}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV_d}{kT}\right)\right] \quad (4.18)$$

Sıfır uygulama besleminde,  $\ln(I)$ - $V$  eğrisinin lineer bölgesinin y eksenini kesiminden  $I_0$  bulunabilir:

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (4.19)$$

Burada,  $V_d = (V - IR_s)$ ,  $I_0$  saturasyon akımı,  $V_a$  uygulanan beslem,  $e$  elektronik yük,  $k$  Boltzmann sabiti ve  $T$  mutlak sıcaklıktır.  $\Phi_b$  sıfır beslem engel yüksekliği (görünen engel yüksekliği),  $A^*$  etkin Richardson sabiti ve  $n$  idealite faktörüdür. İdealite faktörü aşağıdaki ifade ile verilir.

$$n = \frac{q}{kT} \left( \frac{dV}{d\ln(I)} \right) \quad (4.20)$$

Yukarıdaki ifadelerden yararlanılarak tahmin edilen engel yüksekliği ve idealite faktörü Tablo 4.3'te veriliyor. Bu diyot parametrelerinin artan tavlama sıcaklığı ile azaldığı görülüyor. CdO/p-Si yapısı düşük doğrultma oranı ( $RR$ ) ve yüksek sızıntı akım yoğunluğu sergiliyor. Doğrultma oranı 250 °C'de tavlana kıyasla 450 °C'de tavlanan CdO ince filme sahip diyot için azalıyor. Seri direnç (series resistance)  $R_s$  diyot karakteristiklerini etkiler ve özellikle yüksek voltajda  $I$ - $V$  eğrilerindeki bükülmenin kaynağıdır. Cheung's method seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi diyot parametrelerini belirlemek için alternatif bir yol sunar. Bu metoda göre denklemler aşağıdaki gibi modifiye edilir (Cheung and Cheung 1986):

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (4.21)$$

$$H(I) = V - \left( \frac{nkT}{q} \right) \ln \left( \frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (4.22)$$

$$H(I) = n\Phi_{b0} + IR_s \quad (4.23)$$

Cheung metodundan bulunan engel yüksekliği değerleri yukarıda ifade edilen metotla bulunan ile uyum içindedir. CdO ince filminin yapısal özellikleri tavlama sıcaklığı ile değişiyor. Bu durum da CdO/p-Si heteroeklem yapısının diyot karakteristiklerine yansıyor. İdealite faktörü bir diyodun ideal diyot denklemine nasıl uyduğunun bir ölçüsür. Bir diyot eklemının idealite faktörü ideal durumdan sapma ya da yakınlaşmanın çıkarılabildiği gerçek bir kalite faktörüdür. Basit diyot denkleminin türetimi hücre hakkında belirli bir düşünceyi kullanır. Pratikte diyot, basit diyot denklemini takip etmediği ikinci mertebeden etkilere sahiptir ve idealite faktörü onları tasvir etmenin bir yolunu ortaya koyar. Bu denklem, tüm rekombinasyonun aygıttan gövde alanlarındaki tuzaklar yoluyla rekombinasyon veya banttan banda geçişler yoluyla meydana geldiği üzerine kurulur. İdealite faktörü 1 olan bir diyot bant aralığı boyunca electron ve hollerin direkt rekombinasyonun olduğu şeklinde bir yorum yapılır. İdealite faktörü 2 olan bir diyotta ise rekombinasyon merkezleri gibi kusur halleri boyunca rekombinasyon olarak yorumlanır. İdealite faktörü arayüzey hallerinin varlığı, generasyon-rekombinasyon (generation-recombination), tünelleme ve uzaysal inhomojenlikler (spatial inhomogenities) gibi parametrelerin etkisini yansıtır. Sıklıkla idealite faktörü sıcaklık ve uygulanan voltaja bağlı olarak da değişir (Bohlin 1986, Verschraegen et al. 2005).

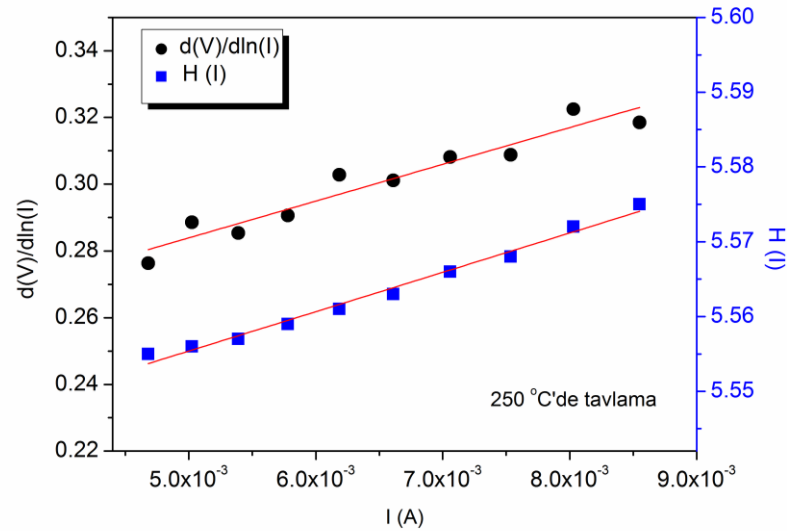
Diyotlar resistörlerden farklıdır ve lineer aygıtlar değildir. Diyotların dirençlerinin onlara uygulanan akım ve voltajın miktarı ile direkt ve orantılı olarak değişmediği anlamına gelir. Resistör direnci voltaj ya da akım ile değişmez. Diyot direnci ise bozulma gerilimi ve eşik geriliminde (breakdown voltage, threshold voltage) iki farklı direnç değişim periyoduna sahiptir. Direnç, eşik voltajına ulaşıldıktan sonra çok fazla değişim göstermez ve diyot boyunca hızlı bir şekilde akan akım miktarına izin vererek bir azalma sergiler. Bozulma voltajı ise diyodun alabildiği maksimum (diyodun dayanabildiği) ters

beslem voltajıdır. Eğer diyot bu voltaj değerinin üzerinde beslenirse terminalleri boyunca büyük bir akımla iletken hale gelir. Diyot direnci termal voltajın ( $V_T$ ) akıma ( $I_d$ ) bölümüyle ( $R=V_T/I_d$ ) de elde edilebilir. Ayrıca seri direnç; düz beslem akım-voltaj karakteristiklerinin lineer bölgesinin eğiminden de bulunabilir.

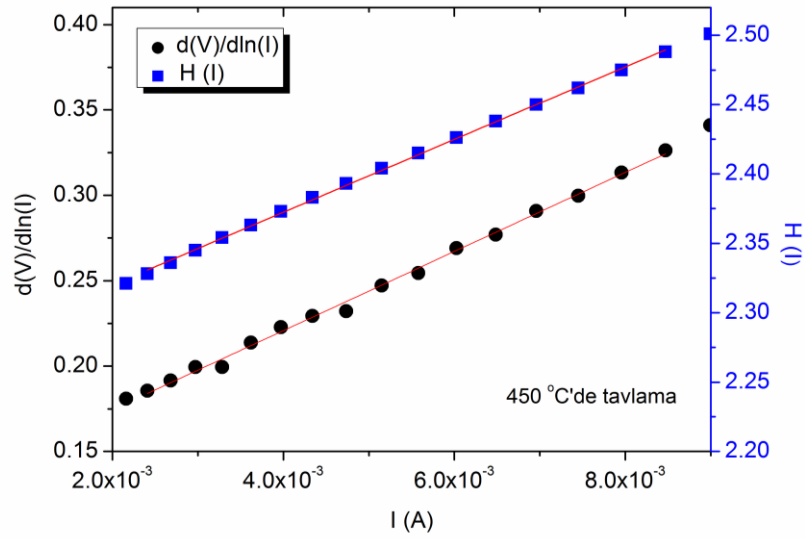
Şekil 4.12 a,b 250 °C ve 450 °C’de tavlanan CdO ince filmine sahip Al/CdO/p-Si heteroeklem diyotların  $dV/d\ln(I)-I$  ve  $H(I)-I$  eğrilerini (CH1, CH2) gösteriyor. Buradan her tavlama sıcaklığı için diyotların engel yüksekliği ve seri direnç değerleri sırasıyla bu eğrilerin eğim ve y-eksenini kesim noktalarından bulundu. Tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak elde edilen değerler Tablo 4.3’de listeleniyor.

Tablo 4.3. CdO/p-Si heteroeklem diyotların bazı elektriksel parametreleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	$\Phi_b$ (I-V) (eV)	$n$	$\Phi_b$ (CH1) (eV)	$\Phi_b$ (Norde) (eV)	$R_s$ (kohm) (CH2)	$R_s$ (kohm) (Norde)
250	0,63	1,16	0,63	0,64	3068	3407
450	0,55	1,38	0,56	0,55	98	170



Şekil 4.12. (a). 250 °C’de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin  $dV/d\ln(I)$  vs.  $I$  ve  $H(I)$  vs.  $I$  eğrileri



Şekil 4.12. (b) 450 °C'de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin  $dV/d\ln(I)$  vs.  $I$  ve  $H(I)$  vs.  $I$  eğrileri

Norde (1979) düz belsem  $I$ - $V$  ölçümlerinin tümünü hesaba katarak yeni bir metot önerdi. Bu metot sadece seri direnç bölgesine uygulanan Cheung metodundan bu yönüyle ayrılır. Norde fonksiyonları modifiye edilerek bir Schottky diyodun idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direncini ölçmeye imkan verir. Modifiye Norde fonksiyonları, sonuçların hassasiyetinin artırır. Fonksiyonlar aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left( \frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.24)$$

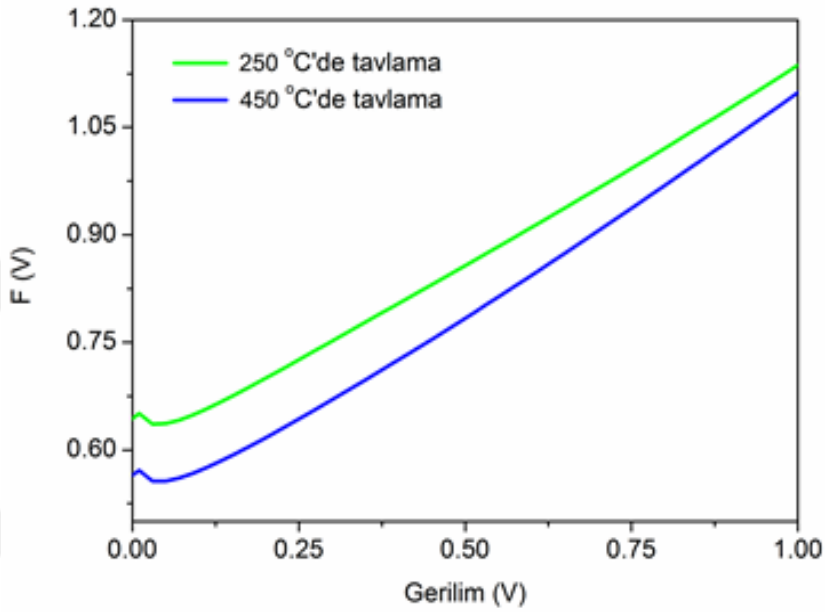
Burada,  $\gamma$  idealite faktöründen büyük boyutsuz bir tamsayıdır. Şekil 4.13  $F(V)$ - $V$  eğrilerini gösteriyor. Ayrıca, şekilden görüldüğü gibi  $F(V)$  bir minimum nokta veriyor. Norde fonksiyonlarının engel yüksekliği ve seri direnci bulmayı sağlayan ifadeleri de veriliyor:

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.25)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_0} \quad (4.26)$$



$F(V_0)$ ,  $F(V)$  fonksiyonunun minimum noktasıdır. Buradan engel yüksekliği ve seri direnç bulunabildi. Sonuçlar, Tablo 3'te veriliyor ve  $\ln I-V$  eğrilerinden ve Cheung metodundan elde edilenler ile iyi bir uyum gösteriyor. Engel yüksekliğinin değerleri uygulanan tüm metotlarda artan tavlama sıcaklığı ile bir azalma gösterdiği teyit ediliyor. Bu davranış belirli tane sınırlarından dolayı arayüzey bölgesinde fazların bir komplike karışımına atfedilebilir (Soylu et al. 2010).



Şekil 4.13. 250 °C ve 450 °C'de tavlanan CdO ince filmlere sahip Si heteroeklemlerin  $F(V)$ - $V$  eğrileri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CdO ince filmler sol-jel spin kaplama yöntemi ile cam ve p-tip Si altlıklar üzerine sentezlendi. Filmlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi sonucu (111), (200) ve (220) düzlemlerinde difraksiyon pikleri gözlenerek, kübik CdO'in standart difraksiyon spektrumu ile uyum içinde oldukları görüldü. (111) düzlemi boyunca görülen pikin daha baskın olduğu görüldü. 450 °C'de tavlanan numune için bu pik 250 °C'de tavlanan numuneye göre daha şiddetli bir yönelim sergiledi. Bu durum sıcaklığın kristallik (crystallinity) üzerine bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bir kristal yapının parçacık boyutu (particle size ) lines/m<sup>2</sup> birimindeki dislokasyon yoğunluğu (dislocation density  $\delta$ ) ve zorlanma değerleri tahmin edildi. Termal tavlama sıcaklığının kristal boyutu üzerine bir etkiye sahip olduğu anlaşıldı. Dislokasyon yoğunluğu (111) düzlemi dikkate alınarak değerlendirildi. Hem zorlanma hem de dislokasyon yoğunluğu değerleri tavlama sıcaklığı arttıkça azaldığı görüldü. 250 °C ve 450 °C'de tavlanan CdO ince filmlerin taramalı elektron mikroskopu görüntüleri karnabahar benzeri bir yapıyı içeren yüzey mikro yapısı gösterdi. Filmlerin parçacık ölçüsü (boyutu) ve yüzey morfolojisi tavlama sıcaklığı ile değişiyor. AFM görüntülerinden, en iyi yüzey pürüzlülüğü 450 °C'de tavlanan numune için başarıldığı anlaşıldı. 450 °C'de tavlanan CdO ince filmin soğurma kabiliyetinin, düşük sıcaklıkta tavlanan numune ile kıyaslandığında, daha yüksek olduğu, yasak enerji aralığının ise düşük olduğu görüldü. Hazırlanan katkısız (undoped) CdO ince filmler için tahmin edilen band gap değerleri literatürde elde edilenler ile uyum içindedir. Ancak, farklı yöntemlerle sentezlenen CdO ince filmlerin bant aralıkları ile farklılık gösterdi. Bu durum, CdO ince filminin bant aralığının ince filmin sentezinde kullanılan yöntem ve materyaller göre değişebileceğini gösterdi. Urbach enerjisi değerleri artan tavlama sıcaklığı ile azaldığı görüldü. Bu durum, termal proses bant aralığının lokalize olmuş aralığını kontrol etmede önemli bir rol oynamasına atfedildi. Olduğu gibi büyütülen (herhangi bir ısıtma işlemi tabii tutulmayan) CdO ince filmlere kıyasla, tavlanan numuneler için yüzeyde yansımanın arttığı gözlemlendi. Termal tavlamanın eksiton katsayısı ve dielektrik sabitinin değişimi üzerine etkisi gözlemlendi. Bu da, dielektrik uygulamalar için

ıslıl işlemin kullanılabilirliğini gösterdi. Hacim ve yüzey enerji kayıplarının ıslıl işleme modifiye edilebileceği sonucuna varıldı.

CdO/p-Si heteroeklem yapısı doğrultucu karakteristik gösterdi. Diyot, yüksek idealite faktörü ile idealden uzak bir davranış sergilese de elde edilen yüksek potansiyel engel yüksekliği ile geleneksel Si tabanlı Schottky diyotlara kıyasla modifiye edilebilir parametreler gösterdi. Farklı metotlarla bulunan diyot parametreleri birbiriyle uyum sağladı. Artan tavlama sıcaklığı ile hem engel yüksekliği hem de idealite faktörü düşüş gösterdi. Seri direnç  $k\Omega$  mertebesinde bulundu. Değişen tavlama sıcaklığının seri direnç üzerinde de bir etki oluşturduğu anlaşıldı. Sonuçlar; termal tavlamanın, CdO ince film tabanlı uygulamalarda hayati öneme sahip olduğunu gösterdi.



## KAYNAKLAR

Abdolazadeh Ziabari A, Ghodsi FE, Kiriakidis G (2012) Correlation between morphology and electro-optical properties of nanostructured CdO thin films: Influence of Al doping. *Surface and Coatings Technology* 213: 15

Akçören D (2013) Electrospun nanofibers of poly(butyl acrylate-co-methyl methacrylate)/polypyrrole composites. M.Sc. Thesis, Graduate School of Science Engineering and Technology, Department Of Polymer Science And Technology Polymer Science And Technology Programme, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye

Akın S, Karanfil G, Gültekin A, Sönmezoğlu S (2013) Improvement of physical properties of CdO thin films by Au–Ag nanocluster codoping. *Journal of Alloys and Compounds* 579: 272–278

Aksoy S, Caglar Y, Ilican S, Caglar M (2009) Effect of heat treatment on physical properties of CdO films deposited by sol–gel method. *International Journal of Hydrogen Energy* 34: 5191–5195

Aksoy S, Caglar Y (2011) Uluslararası N-CdO / p-Si'nin elektriksel özellikleri sol Jeli Üzerinden Yapılan Heterojon Diyot. *Dünya Bilim Akademisi, Mühendislik ve Teknoloji Uluslararası Matematik, Hesaplamalı, Fiziksel, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Dergisi* 11(5): 1737

Aktürk C (2013) ZnO Nano Sistemlerinin Sentezlenmesi Ve Manyetik Özelliklerinin Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) Spektroskopisi İle İncelenmesi Yüksek Lisans tezi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Al Orainy RH, Hendi AA (2014) Fabrication and electrical characterization of CdO/p-Si photosensors. *Microelectronic Engineering* 127: 14-20

Avcıata O (2009) Nano tozların sentezi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Azizar Rahman M, Khan MKR (2014) Effect of annealing temperature on structural, electrical and optical properties of spray pyrolytic nanocrystalline CdO thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing* 24: 26

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

Benramdane N, Murad WA, Misho RH, Ziane M, Kebbab Z (1997) A chemical method for the preparation of thin films of CdO and ZnO. *Materials Chemistry and Physics* 48(2): 119-123

Bozkaplan C (2011) Ag/ZnO/p-Si yapısının elektriksel karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye

Bohlin KE (1986) Generalized Norde plot including determination of the ideality Factor. *Journal of Applied Physics* 60: 1223–1224

Cheung SK, Cheung NW (1986) Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters* 49: 85

Dakhel AA (2011) Effect of cerium doping on the structural and optoelectrical properties of CdO nanocrystallite thin films. *Materials Chemistry and Physics* 130(1-2): 398-402

Dhawale DS, More AM, Latthe SS, Raipure KY, Lokhand CD (2008) Room temperature synthesis and characterization of CdO nanowires by chemical bath deposition (CBD) method. *Applied Surface Science* 254(11): 3269-3273

DiDomenico M, Wemple SH (1969) Oxygen-octahedra ferroelectrics I. theory of electro-optical and nonlinear optical effects. *Journal of Applied Physics* 40: 720.

Erçetin A, Aslantaş K (2016) Türk Doğa ve Fen Dergisi (Turkish Journal of Nature and Science) - Tr. Doğa ve Fen Derg. – Tr. J. Nature Sci. Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye 5(2): 1-5

Eren O (2006) Alüminyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, s. 59

Ersan F (2009) Vakumda buharlaştırma yöntemiyle hazırlanan Cu<sub>2</sub>S ince filmlerin optik özelliklerinin elipsometrik incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adnan Menderes Üniversitesi Aydın, Türkiye

Farag AM, Cavaş M, Yakuphanoglu F, Amanullah FM (2011) Photoluminescence and optical properties of nanostructure Ni doped ZnO thinfilms prepared by sol-gel spin coating technique. *Journal of Alloys and Compounds* 509: 7900–7908

Farag AM, Cavas M, Yakuphanoğlu F (2012) Electrical performance and interface states studies of undoped and Zn-doped CdO/p-Si heterojunction devices. *Materials Chemistry and Physics* 132(2): 550-558

Gençyılmaz O, Atay F, Akyüz İ (2013) Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile depolanan ve tavlanan CdO filmleri arasındaki optik, elektrik ve yüzey farklılıkları SAÜ. *Fen Bil. Der. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi SAU J. Sci.* 17(3): 295-300

Gültekin A, Karanfil G, Özel F, Kus M, Say R, Sönmezoğlu S (2014) Synthesis and characterisations of Au-nanoparticle-doped TiO<sub>2</sub> and CdO thin films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 75(6): 775-781

Khan MKR, Rahman MA, Shahjahan M, Rahman MM, Hakim MA, Saha DA, Uddin Khan JU (2010) Effect of Al-doping on optical and electrical properties of spray pyrolytic nano-crystalline CdO thin films. *Current Applied Physics* 10(3): 790-796

Korkmaz E (2011) Zno Ve Cdo ikili yarıiletken bileşiklerin sıkar ve sol- jel teknikleriyle büyütülmesi ve yapısal analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, s.28

Makori NE, Amatalo IA, Karimi PM, Njoroge WK (2014) Optical and electrical properties of CdO: Sn thin films for solar cell applications. *International Journal Of Optoelectronic Engineering* 4(1): 11-15

Mott NF, Gurney RW (1940) *Electronic Processes in Ionic Crystals*. Oxford University Press, London

Mott NF, Davis EA, (1971) *Electronic process in non-crystalline materials*. Clarendon Press, Oxford s. 438

Murali KR, Kalivanan A, Perumal S, Pillali NN (2010). Sol-gel dip coated CdO:Al films  
Journal of Alloys and Compounds 503(2): 350-353

Nalçacıgil Z (2011) Perylene Türevi Organik Yarıiletken İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

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

Norde HA (1979) Modified forward I-V plot for schottky diodes with high series Resistance. Journal of Applied Physics 50: 5052-5054

Rahman MA, Khan MKR (2014) Effect of annealing temperature on structural, electrical and optical properties of spray pyrolytic nanocrystalline CdO thin films Materials Science in Semiconductor Processing 24: 26-33

Ramamurthy M, Balajia M, Thirunavukkarasu P (2016) Characterization of jet nebulizer sprayed CdO thin films for solar cell application. Optik-International Journal for Light and Electron Optics 127: 3809

Saleh R, Prakoso SP, Fishli A (2012) The influence of Fe doping on the structural, magnetic and optical properties of nanocrystalline ZnO particles. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324: 665

Sakr GB, Yahia IS, Fadel M, Fouad SS, Romčević N (2010) Optical spectroscopy, optical conductivity, dielectric properties and new methods for determining the gap states of CuSe thin films. Journal of Alloys and Compounds 507(2): 557-562

Salem AM (2003) Optical constants and associated functions of CdGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> thin films Journal of Physics D: Applied Physics 36(8): 1030

Salem AM, Dahy TM (2008) Thickness dependence of optical parameters for ZnTe thin films deposited by electron beam gun evaporation technique. El-Gendy YA, Physica B 403(18): 3027-3033

Soylu M, Abay B, Onganer Y (2010) The effects of annealing on Au/pyronine-B/MD n InP Schottky structure. Journal of Physics and Chemistry of Solids 71: 1398-1403

Soylu M, Yakuphanoglu F (2010) Analysis of barrier height inhomogeneity in Au/n-GaAs Schottky barrier diodes by Tung model. *Journal of Alloys and Compounds* 506(1): 418-422

Sorar i (2008) Katkılı Ve Katkısız Çinko Oksit (ZnO) İnce Filmlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Programı Fizik Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Taşçıoğlu İ, Soylu M, Altındal Ş, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F (Aralık-2012) Effects of interface states and series resistance on electrical properties of Al/nanostructure 2 CdO/p-GaAs diode. *Journal of Alloys and Compounds* 541: 462-467

Thambidurai M, Muthukumarasamy N, Ranjitha A, Velauthapillai D (2015) Structural and optical properties of Ga-doped CdO nanocrystalline thin films. *Superlattices and Microstructures* 86: 559-563

Thirumoorthi M, Prakash JTJ (2016) A study of Tin doping effects on physical properties of CdO thin films prepared by sol-gel spin coating method *Journal of Asian Ceramic Societies* 4(1): 39-45

Ulutaş C (2009) Kimyasal depolama yöntemiyle elde edilmiş MnS ince filmlerin özelliklerine ısıl tavlamanın etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

Umadevi P, Prithivikumaran N (2016) Electrical parameters of metal doped n-CdO/p-Si heterojunction diodes *Physica B: Condensed Matter* 501: 123-128

Urbach F (1953) The Long-Wavelength Edge of Photographic Sensitivity and of the Electronic Absorption of Solids. *Physical Review* 92: 1324

Verschraegen J, Burgelman M, Penndorf J (2005) *Thin Solid Films* 307: 480-481

Yakuphanoglu F, Caglar Y, Caglar M, Ilican S (2010) ZnO/p-Si heterojunction photodiode by sol-gel deposition of nanostructure on ZnO film on p-Si substrate. *Materials Science in Semiconductor Processing* 13: 137-140

Yakuphanoglu F, Caglar Y, Ilican S, Caglar M (2007) The effects of fluorine on the structural, surface morphology and optical properties of ZnO thin films, *Physica B: Condensed Matter* 394(1): 86-92



Yakuphanoglu F, Cukurovali A, Yilmaz I (2004) Determination and analysis of the dispersive optical constants of some organic thin films. *Physica B: Condensed Matter* 351: 53

Yıldırım MA (2010) Sılar tekniği ile büyütülen zno ve cdo ince filmlerinin karakterizasyonu ve sandviç yapılarda kullanılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Katıhal Fiziği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

Yıldırım S (2014) Nanoyapıdaki  $Ni_{50}Mn_{34-x}Cu_xIn_{16}$  ( $x= 1,3, 1,5$ ) Heusler Alaşımlarının Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Wakad MM,. Shokr EKh, Mohammed SH (2000) Optical and calorimetric studies of Ge–Sb–Se glasses. *Journal of non-crystalline solids* 265: 157

Wemple SH, DiDomenico M, (1971) Behavior of the Electronic Dielectric Constant in Covalent and Ionic Materials. *Physical Review B* 3: 1338

Wemple SH (1973) Refractive-index behavior of amorphous semiconductors and glasses. *American Physical Society Physical Review B* 7: 3767

Wu X, Coutts TJ, Mulligan WP (1997) Properties of transparent conducting oxides formed from CdO and ZnO alloyed with  $SnO_2$  and  $In_2O_3$ . *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 15(3): 1057

Wu X, Coutts TJ, Mulligan WP (1997) Properties of transparent conducting oxides formed from CdO and ZnO alloyed with  $SnO_2$  and  $In_2O_3$ . *Journal of Vacuum Science - Technology A: Vacuum, Surfaces and Films* 15: 1057

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Solhan'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bingöl'de tamamladı. 2006 yılında kazandığı Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nü 2011 yılında lisansla birleştirilmiş tezsiz yüksek lisans derecesiyle bitirdi. 2013 yılında kazandığı İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu.

