

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

**THIOUREA KATKILI CdO FOTOAKTİF MALZEME
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARUN KOÇUK

FİZİK ANA BİLİM DALI

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

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Prof. Dr. Murat SOYLU'ya teşekkür ederim. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi (Proje No: BAB-FEF.2020.00.008) teşekkür ederim. Ayrıca laboratuvar çalışması sürecinde yardımını esirgemeyen Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

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

Harun KOÇUK
Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Atomik Kuvvet Microskobu (AFM).....	19
3.2. X Işını Difraktometresi (XRD).....	21
3.3. Soğurma (Absorption).....	22
3.4. Yansıma (Reflectance).....	24
3.5. Geçirgenlik (Transmittance).....	24
3.6. Bant aralığı (Band gap).....	25
3.7. Diyot.....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ϕ_b	: Engel yüksekliği
ε	: Ortamın dielektrik sabiti
ε_0	: Serbest uzayın geçirgenliği
$\lambda(\text{incidence})$	: Uyarma dalga boyu
q	: Elektronik yük
δ	: Dislokasyon yoğunluğu
E	: Enerji
E_g	: Yasak enerji aralığı
D	: Parçacıkların kristal boyutu
$h\nu$	: Foton enerjisi
R_z	: Ortalama maksimum yükseklik
S	: Sülfür
R_q	: Yüzeyin pürüzlülük ortalaması
E_u	: Urbach enerjisi
n	: İdealite faktörü
h	: Planck sabiti
k	: Boltzman sabiti
J	: Akım yoğunluğu
J_0	: Saturasyon akım yoğunluğu
V	: Voltaj
T	: Sıcaklık
R_s	: Seri direnç
R_a	: Kök ortalama kare pürüzlülüğü
Si	: Silisyum
Th	: Thiourea

UV	: Ultra viole
$\tan\delta$	: Kayıp faktörü
TET	: Termiyonik emisyon teorisi
EDX	: Enerji dağıtıcı x ışını spektroskopisi
YMK	: Yüzey merkezli kübik
$TC_{(hkl)}$	: Yapı katsayısı
FWHM	: Yarı maksimumda tam genişlik
XRD	: X ışınları difraksiyon analizi
SCO	: Stronsiyum katkılı kadmiyum oksit
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
BELF	: Hacim enerji kaybu fonksiyonu
SELF	: Yüzek enerji kaybı fonksiyonu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Hot plate(Sıcak tabla).....	14
Şekil 3.2.	Ultrasonik banyo.....	14
Şekil 3.3.	Spin coater cihazı.....	15
Şekil 3.4.	Thiourea için şematik gösterim	16
Şekil 3.5.	Kül fırını.....	17
Şekil 3.6.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	18
Şekil 3.7.	Raman cihazı	18
Şekil 3.8.	Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)	20
Şekil 3.9.	X ışını difraktometresi (XRD)	22
Şekil 3.10.	Soğurmanın (absorption) enerji üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 3.11.	Yansıma (Reflectance) olayı.....	24
Şekil 3.12.	Geçirgenlik (Transmittance) ışık üzerindeki etkisi.....	25
Şekil 3.13.	Bant aralığı (Band gap).....	26
Şekil 3.14.	Bazı diyot örnekleri.....	27
Şekil 4.1a-c.	40x40 µm, 5x5 µm ve üç boyutlu (3D) Th:CdO ince filmlerin AFM görüntüleri:(a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7.....	29
Şekil 4.2a-c.	Th:CdO ince filmlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları: (a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7.....	30
Şekil 4.3.	Cam altlıklar üzerine biriktirilen Th:CdO ince filmlerin XRD spektrumları	31
Şekil 4.4.	Th:CdO ince filmlerin geçirgenlik spektrumları.....	36
Şekil 4.5.	Th:CdO ince filmlerin soğurma spektrumları	37
Şekil 4.6.	$(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ eğrileri.....	38
Şekil 4.7.	Th:CdO ince filmlerin yansıma spektrumları.....	39
Şekil 4.8.	Filmler için $\log\alpha$ 'nın foton enerjisi $h\nu$ 'ye bağlılığı.....	40

Şekil 4.9.	Soğurma indisinin dalga boyuna karşı değişimi	40
Şekil 4.10.	Th:CdO ince filmler için kırılma indisi.....	41
Şekil 4.11.	Th:CdO ince filmler için $1/(n^2-1)-\lambda$ varyasyonu.....	42
Şekil 4.12.	Kayıp faktörünün($\tan\delta$) dalga boyuna bağlılığı.....	43
Şekil 4.13a.	Hacim enerji kaybı.....	44
Şekil 4.13b.	Filmler için $h\nu$ 'nün fonksiyonu olarak yüzey enerji kaybı.....	45
Şekil 4.14.	Th:CdO ince filmlerin Raman spektrumları.....	45
Şekil 4.15.	Th:CdO/p-Si heteroeklemin şematik konfigürasyonu.....	46
Şekil 4.16.	Th:CdO/p-Si heteroeklemlerinin I - V eğrileri.....	46
Şekil 4.17.	Th:CdO/p-Si heteroeklemler için $F(V)$ - V eğrileri.....	49
Şekil 4.18a-c.	Th:CdO/p-Si heteroeklem diyotların kapasite-voltaj eğrileri (C - V): (a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7.....	50

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 4.1.	Th katkılı CdO ince filmlerin bazı yapısal parametreleri.....	33
Tablo 4.2.	Th katkılı CdO ince filmler için bazı optik ve yapısal parametreler	34
Tablo 4.3.	Heteroeklemlerin bazı diyot parametreleri	47

THIOUREA KATKILI CdO FOTOAKTİF MALZEME GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Kadmiyum oksit (CdO) ve Tiyoüre (Th) katkılı CdO ince filmler soda kireç camı (SLG) ve kristal p-tipi Si (100) substratlar üzerinde çeşitli Th katkı konsantrasyonları için (%0,3, 0,5, 0,7'de) spin kullanılarak biriktirildi. Filmlerdeki kristalit boyutu, kafes sabiti, dislokasyon yoğunluğu (δ) ve gerinim gibi bazı yapısal parametreler, kübik yapıya sahip polikristal yapının ve (111) tercihli yönelimin doğrulandığı XRD analizinden elde edilmiştir. CdO ince film, Th katkılamaadan sonra kristal fazda herhangi bir değişiklik göstermediği görüldü. Optik çalışma, Th dopinginin geçirgenlik, absorbans ve yansıma spektrumlarında önemli değişikliklere neden olduğunu ortaya çıkardı. %0,3 Th katkılı CdO ince filmler için %80'in üzerinde optik geçirgenlik elde edildiği görüldü. Th katkılı CdO/p-Si heteroeklem düşük doğrultucu karakter ve düşük ışık hassasiyeti sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: CdO, Thiourea katkısı, heteroeklem.

DEVELOPMENT of THIOURE ADDED CdO PHOTOACTIVE MATERIAL

ABSTRACT

Cadmium oxide (CdO) and Thiourea (Th) doped CdO thin films were deposited on soda lime glass (SLG) and crystalline p-type Si (100) substrates for various Th doping concentrations (0.3, 0.5, 0.7 at.%) using spin coating method. Some structural parameters such as the crystallite size, lattice constant, dislocation density (δ) and strain in the films were obtained from XRD analysis in which the polycrystalline structure with cubic nature and (111) preferential orientation was confirmed. CdO thin film has not shown any change in crystal phase after Th doping. The optical study emerged that the Th doping caused important changes in the transmittance, absorbance and reflectance spectra. The optical transmittance above 80% is obtained for 0.3% Th doped CdO thin films. Th doped CdO/p-Si heterojunction exhibited low rectifying character and light sensitivity.

Keywords: CdO, doping Thiourea, heterojunction.

1. GİRİŞ

Yarı iletken nanoyapılar, benzersiz optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle aygıt teknolojisi için büyük önem taşımaktadır. Yıllardır yarı iletkenlerin geliştirilmesi için çaba sarf edilmektedir. Hem optik olarak şeffaf hem de elektriksel olarak iletken olan ilgi çekici bir yarı iletken malzeme türü olan şeffaf iletken oksitler (TCO'lar), güneş pilleri, fotovoltaiik, düz panel ekranlar ve şeffaf elektrotlar gibi optoelektronik cihazlarda potansiyel uygulamaya sahiptir. İki veya daha fazla elementten oluşan bileşik yarı iletkenlerin yaygın uygulamaları vardır. Şeffaf iletken oksitler (TCO'lar), bileşik yarı iletkenlerin bir örneğidir(Jin 2008,Soylu 2020). TCO'lar, güneş pilleri, fototransistörler, düz panel alanı ve gaz algılama sensör üretimi gibi optoelektronik uygulamalarda bilim adamlarının büyük ilgisini çekmiştir. Genel olarak çoğu TCO'da ($<40 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) düşük elektron hareketliliği nedeniyle, yüksek iletkenlik yüksek elektron konsantrasyonu (10^{21} cm^{-3}) gerektirir ve bu nedenle yakın IR aralığında ($\lambda > 1000 \text{ nm}$) şeffaflık, serbest taşıyıcı absorpsiyonuna ve plazma yansıma etkilerinden dolayı sınırlanır.

CdO filmleri, yakın kızılötesi (NIR) spektral analizde geçirgenlik (transparency) karakteristikleri ile değerlendirilir(Zhao 2002,Bera 2016). CdO,oksijen(O) boşluklarından (V_O) ve Cd arayere geçen atomlarından (C_{di}) dolayı n-tipi yarı iletken özelliği gösterir. CdO, ortalama indirek bant aralığı (1.98 eV), 10^{-2} – $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 'lik düşük direnç, nispeten yüksek elektriksel iletkenlik (10^2 – 10^3 S/cm) ve kaya tuzu kristal yapısı gibi bazı özellikler sergiler(Carballeda-Galicia 2017). CdO normalde Cd^{2+} ve O'nun oktahedral düzenine sahip bir FCC (yüz merkezli kübik) kristal sistemindedir. CdO, elektron konsantrasyonu ile çok daha yüksek elektron hareketliliği (mobility) nedeniyle daha da yüksek iletkenlik sergiler. Transparan iletken oksit CdO, sol-jel-spin kaplama(Akyuzlu 2017), ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR)(Sahin 2018), sprey piroliz(Thambidurai 2018), vakumlu buharlaştırma(Dakhel 2019), radyo frekanslı magnetron püskürtme (Sakthivel 2019) ve fiziksel banyo biriktirme(Dakhel 2017) gibi sentez yöntemleriyle elde edilebilir. Sol-jel yöntemi, düşük maliyetli ekipman,

büyümenin kolay kontrolü ve geniş alan kaplamaya uygunluk gibi bazı çekici özellikler sağlamaktadır. Diğer geçiş metali oksitleri ile karşılaştırıldığında, kadmiyum oksit (CdO) alışılmadık derecede büyük $\sim 5,9$ eV'luk elektron ilgisine (affinity) sahiptir. Bu nedenle de n-tipi doping için yüksek bir eğilimi vardır. CdO'nun nispeten küçük bant aralığı, fotovoltaik uygulamalar için dezavantajlarından biridir. Elementel katkılama ile bant aralığının artırılabilceği bilinmektedir. CdO, yüksek düzeyde katkılamada dejenere bir yarı iletken (metale yakın) gibi davranır. Absorpsiyon kenarı, iletim bandındaki serbest taşıyıcılar tarafından değiştirilebilir (Burstein-Moss etkisi). Literatürde genellikle elementlerin CdO ve diğer TCO'lara tekli veya birlikte katkılандığı çalışmalar mevcuttur. Öte yandan, elektriksel, yalıtkan, manyetik, optik ve dielektrik özellikler gibi temel özellikler, öncelikle CdO malzemedeki elektronların varlığına bağlıdır. TCO'ların yük transportunun anlaşılmasına yönelik çalışmalara da ilgi artmıştır. Araştırma, optoelektronik nanoteknolojinin inşası için yük aktarımını açıklamak için ihtiyaç duyulan mekanizmaları içermelidir. Metalik oksit filmler, bir yarı iletken ile temas ettirildiğinde doğrultucu özellik gösterebilir. Bu nedenle, bir elektron taşıma katmanı olarak CdO ince filmler, p-tipi silikon (Si) yarı iletken üzerinde oluşturulan p-n heteroeklemlerinde kullanılır (Yakuphanoglu 2010, Bhattacharyya 2011). Bu çalışmanın odak noktası CdO'in, üstün yapısal ve optoelektronik özelliklere sahip yarı iletken metal oksitlerden biri olmasıdır. Bildiğim kadarıyla, Thiourea (Th) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmlerin optik ve elektriksel özelliklerinin incelendiği deneysel bir araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışma, ilk bölümde çalışmanın önemi, sentezlenecek malzemenin tanıtımı ve özelliklerinin verildiği Giriş; ikinci bölümde çalışmanın literatürdeki öneminin araştırıldığı Kaynak Özetleri; üçüncü bölümde deneysel sürecin verildiği işlem basamakları, kullanılan karakterizasyon cihazları ve konu ile ilgili teorik bilgilerin verildiği Materyal ve Yöntem; dördüncü bölüm deneysel verilerin grafiğe dönüştürüldüğü grafiklerin arasında kıyaslamaların yapıldığı teorik ve fonksiyonel analizlerin yapıldığı Bulgular ve Tartışma; beşinci bölüm ise elde edilen sonuçların özetlendiği tezin literatüre katısına değinildiği ve yeni çalışmalar için hedeflerin konulduğu Sonuçlar ve Öneriler bölümlerinden oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Mwafy ve ark.(2020) yaptıkları çalışmada CdO ince filmleri termal etkili darbeli lazer biriktirme (Pulsed laser deposition) tekniğini kullanarak elde ettiler. Daha sonra termal etki olmaksızın aynı teknik ile oda sıcaklığında vakumda lazer ablasyon süresini (0, 15 ve 30 dakika) değiştirerek farklı kalınlıklara sahip hizalanmamış bir Ag katmanını (embedding) CdO film üzerine oluşturdular. Elde ettikleri kompoziti 500 °C’de tavladılar. Hazırlanan numunelerin kompozisyonundaki değişiklikler, yapısal ve optik özellikler X-ray diffraction (XRD), alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (Field-Emission Scanning Electron Microscopy FE-SEM), enerji dağılımlı x-ışını (Energy Dispersive X-Ray Analysis EDX), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), ultravioletole-visible spectrophotometry (UV-Vis) ve PL (Photoluminescence Spectroscopy) ile araştırıldı. Tavlamanın, hazırlanan CdO ince filmlerin üzerine oluşturulan Ag atomlarının gömülmesinin artırılmasına ve Ag atomlarının yeniden hizalanmasına bağlı olarak kompozitin yapısal ve optik özelliklerinin değişmesine yol açtığını belirlediler. XRD ölçümlerinin, CdO ve Ag katmanlarının kristal oluşumunu doğruladığını, XPS ile kompozit için iki değerli durumun (divalent states) ortaya çıktığını rapor ettiler. SEM görüntüleri ile parçacıkların dağılımını göstererek, pürüzlülüğün gelişim gösterdiğini ortaya koydular. UV-vis ölçümleri ile de kompozit ince filmin çok iyi bir geçirgenlik gösterdiğini ve optik enerji band aralığının doping konsantrasyonu arttıkça değiştiğini belittiler.

Anitha ve ark.(2019) Çalışmalarında Nebülize püskürtme piroliz tekniğini(NSP) kullanarak oluşturdıkları (Sn) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri, 473-548 K sıcaklık aralığında 25 K’lik adımlarla 20 dakika süreyle tavladılar. XRD çalışması ile elde edilen bütün filmlerin, (111) düzlemi boyunca temel yansıma göstererek polikristal özelliğe sahip olduklarını ve kristal boyutunun artan tavlama sıcaklığı ile arttığını gösterdiler. SEM görüntülerinden, tavlamanın yüzey morfolojisinde önemli

değişikliklere neden olduğunu gördüler. Cd^{2+} , O^{2-} ve Sn^{4+} için oksidasyon hallerinin varlığını X-ışını fotoelektron spektroskopi analizi ile teyit ettiler. Bu filmlerin 2.55-2.42 eV aralığında doğrudan bant aralığı enerjisine sahip olduğunu ve ortalama geçirgenliğin, çeşitli tavlama sıcaklıkları ile %73-%87 arasında değiştiğini belirlediler. 523 K'de tavlanan CdO ince filmler, en düşük dirence ($1.03 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$) sahip olduğunu tahmin ettiler.

CdO ince filmlerin cam altlıklar üzerine sol-jel yöntemi kullanılarak hazırlandığı bir çalışmada, numunelerin optimize edilmiş tavlama sıcaklığı 400 °C olarak belirlendi. CdO ince filmlerdeki Cd elementinin kütleli yüzdesinin molariteye bağlılığı EDX ile kompozisyonel analizden belirlenerek, CdO ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri çözelti molaritesine bağlı olarak incelendi. CdO nun kübik kristal yapıya sahip olduğunu teyit eden XRD analizi, kristal boyutunun artan molarite ile kısmen arttığını ortaya koymuştur. Başlangıç çözeltisindeki Cd^{2+} iyonlarının varlığındaki artışın kristallliği etkilemediği gözlenirken, yüzey morfolojisinin çözelti molaritesi ile oldukça ilişkili olduğu bildirilmiştir. Molaritenin eksiton katsayısı, hacim/yüzey enerji kaybı ve kırılma indisi gibi bazı optik parametreler üzerine de etkisi olduğu görülmüştür. Optik bant aralığının, hem soğurma ölçümlerinden hem de fotoluminesans (PL) ölçümlerinde tahmin edildiği çalışmada sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu sunucuna varılmıştır (Soylu 2020).

Shanmugavel, G. ve ark. (2019) çalışmalarında parfüm atomizörü kullanarak oluşturulan Ag katkılı CdO (CdO: Ag) ince filmlerin fotobuzunma (fotodegradasyon) kalitesini incelediler. CdO'daki Ag yoğunluğunu sırasıyla ağırlıkça %0,1,2 ve %3 olarak değiştirdiler. XRD çalışmaları, herhangi bir ikincil fazın varlığını göstermeyerek bütün Ag:CdO ince filmlerin kübik kristal yapıya sahip olduklarını ve artan kristallliğin Ag katkısı ile ortaya çıktığını gösteriyor. CdO: Ag film yüzeylerinin karnabahar şekilli tanelerden oluştuğunu, Ag atomlarının CdO örgü içerisine başarılı bir şekilde yerleştiğini EDX spektrumlarının analizinden rapor edildi. Optik bant aralığı, Ag konsantrasyonundaki artışla artma, elektriksel direncin ise azalma eğiliminde olduğu açıklandı. Metanol sarısına karşı fotokatalitik testler, Ag katkılı CdO filmlerinin katkısız filminden daha iyi bozunma etkinliği sergilediği ve XRD, SEM ve optik çalışmalar neticesinde azalan kristal boyutu, geniş yüzey alanı ve artan bant aralığı değerlerinden

dolayı 75 dakikalık ışık radyasyonundan sonra %84,44 oranındaki bir verimliliğin %2 Ag katkılı CdO katalizör ile gerçekleşebildiği bildirildi. Geri dönüşüm testleri ile CdO:Ag katalizörlerinin yeniden kullanılabilir doğası da teyit edilmiş oldu.

Katkısız ve çeşitli magnezyum (Mg) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmlerin sentezlendiği bir çalışmada spreylendirme tekniği kullanıldı. Elde edilen ince filmler yapısal, optik ve morfolojik yönden incelendi. Numunelerin yapısal özellikleri incelemek için X-ışını kırınımı (XRD) ve Raman spektroskopisi kullanıldı. Saf ve Mg dop edilmiş CdO ince filmlerinin morfolojik ve optik özelliklerini karakterize etmek için ultraviyole (UV)-görünür ve fotoluminesans (PL) spektroskopisi ölçümlerinin yanı sıra taramalı elektron mikroskopunu (SEM) kullanıldı. XRD ölçümleri, hem katkısız hem de Mg katkılanmış CdO ince filmlerinin kübik bir yapı sergilediğini ve (200) düzlemi boyunca tercihli yönelime sahip olduğunu ortaya çıkardı. Raman spektrumunda, CdO ince filmine ait birinci pikinin (266 cm^{-1}) kaybolduğu ve ikinci ana pik ise (908 cm^{-1}) Mg katkısı ile daha yüksek enerjilere kaydığını gözlemlendi. Absorbans ölçümlerinin bir sonucu olarak, Mg katkılanması ile numunelerin bant aralığının 2.15 eV'den 2.43 eV'ye kaydığı ve Burstein-Moss etkisinden dolayı gri skalaya bir kayma görüldüğü ve geçirgenliğin %67'den %59'a düştüğü rapor edildi. PL sonuçları, hem katkısız hem de Mg katkılıda CdO ince filmlerinin 394 nm (3.15 eV)'de bir UV emisyonuna, 434 nm (2.86 eV)'de mavi emisyonuna, 540 nm (2.30 eV)'de mavi-sarı emisyonuna, 735 nm (1.69 eV) ve 782 nm (1.59 eV)'de bir emisyonuna sahip olduğu gösterdiği ifade edildi. SEM ölçümleri ise, CdO ince filmlerinin Mg katkısına ile piramidal yapılardan rastgele şekillere değiştiğini gösterildi. (İskenderoğlu, 2019)

Güney (2019) yaptığı çalışmada katkısız ve kurşun (Pb) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri spreylendirme tekniği ile sentezlendi. Numunelerin optik, yapısal, morfolojik ve elektriksel özellikleri UV-Vis spektroskopisi, PL (fotoluminesans), XRD (X-ışını kırınımı), SEM (taramalı elektron mikroskobu), akım voltajı (I-V) ve Raman spektroskopisi ölçümleri ile analiz edildi. Soğurma (absorpsiyon) ölçümlerinden, Pb katkı maddesi arttıkça numunelerin bant aralıklarının 2.20 eV'den 2.53 eV'ye yükseldiğini ve örneklerin geçirgenliğinin %67'den %19'a düştüğünü belirlendi. XRD ölçümlerinden, ince filmlerin kübik yapıya sahip olduğunu ve temel yansıma düzlemlerinin (111), (200), (220), (311) ve (222) olarak işaretlendiğini görüldü. SEM görüntülerinden, numunelerin

tane sınırlarının ve morfolojilerinin Pb katkı maddesi ile değiştiğini gözlemlendi. PL ölçümlerinden, ince filmlerin yaklaşık 383 nm UV emisyonu, 437 nm mavi emisyon, 540 nm yeşil emisyon, 736 nm ve 760 nm emisyonları olmak üzere beş farklı emisyonu sahip olduğu belirtilerek, bu durum sentezlenen ince filmlerin görüntüleme cihazlarında kullanılabileceğinin işareti olarak sunuldu. Akım-Voltaj (I-V) ölçümlerinden, Pb katkılı CdO'nun elektriksel iletkenliğinin katkısız CdO'dan daha yüksek olduğunu ve Pb katkılı CdO numunelerin direncinin artan Pb katkı miktarı ile arttığı anlaşıldı. Raman spektrum ölçümleri, katkısız ve Pb katkılı CdO numunesinin 191 cm^{-1} , 269 cm^{-1} , 368 cm^{-1} , 556 cm^{-1} ve 922 cm^{-1} 'de bantlar sergilediğini gösterdi. Sonuç olarak, hem Pb katkılı CdO ince filmlerin spray piroliz yöntemi ile başarılı bir şekilde büyütülebileceği hem de Pb katkılı CdO ince filmlerin elektriksel özelliklerinin iyileştirildiği rapor edildi.

Karakaya ve Aydemir ve ark. (2018), Alüminyum katkılı şeffaf ve iletken kadmiyum oksit (CdO: Al) ince filmleri sol-jel tekniği ile indiyum kalay oksit (ITO) cam yüzeylere daldırılmalı kaplama yöntemi ile oluşturdular. Sentezde, 2-metoksietanol un çözücü olduğu 0.3 M'lik kadmiyum asetat çözeltisi hazırlanarak ve monoetanolamin ile stabilize edilerek Al ile katkılандırdılar. XRD sonuçlarına göre, sentezlenen filmler tercihen (111) oryantasyonlu kübik kristal yapıya sahip bir polikristal faz içeriyorken, yüksek Al konsantrasyonları (ağırlıkça% 20) ile katkılamanın amorf filmlerin oluşumuna yol açtığı ifade edildi. Yapısal parametrelerin değerlerinin (tane boyutu, örgü parametresi, dislokasyon yoğunluğu, yüzey pürüzlülük katsayısı gibi) Al konsantrasyonu ile değiştiği görüldü. XRD analizine dayalı tane boyutu hesaplamaları, tüm filmlerin 23-30 nm arasında değişen boyutlarda kuantum noktalar içeren bir yapıda, nanokristal olduğunu ortaya koymuştur. SEM görüntülerinden filmlerin yüzey morfolojisinin, Al katkılanmasından etkilendiği anlaşıldı. Direkt bant aralığı enerji değerleri, katkısız CdO için 2,99 eV'dan ağırlıkça %20 Al katkılı CdO için 2,53 eV'a düştüğü belirtildi. Yaklaşık $3.2 \times 10^{-4}\ \Omega\text{-cm}$ 'lik en düşük direnç, ağırlıkça %10 Al katkılı CdO film için ölçüldü. Bu çalışmada, ortalama optik geçirgenliği % 80'i aşan filmler elde edildi.

Soylu ve Yazici (2017), çalışmalarında katkısız CdO ince filmleri, sol-jel spin kaplama yöntemini kullanarak cam altlık ve p-tipi Si üzerinde hazırladılar. Sentezledikleri filmlerin yapısal ve optik özelliklerini, tavlama sıcaklığının bir fonksiyonu olarak incelediler. X-ışını kırınım (XRD) desenleri, filmlerin kübik kristal yapıya ve (111)

tercihli yönelime sahip CdO'dan oluştuğunu gösterdi. İyi kaliteye sahip kristallığın yüksek tavlama sıcaklığı ile ilişkili olduğu belirtildi. CdO filmlerinin yüzey morfolojisinin, karnabahar görünümlü bir yapı gösterdiği ve tavlama sıcaklığından etkilendiği anlaşıldı. 450 °C ve 250 °C tavlama (annealing) sıcaklıkları için optik bant aralıkları sırasıyla 2,49 eV ve 2,27 eV olarak tahmin ederek ve artan sıcaklıkla bir düşüş gösterdiğini belirttiler. Eksiton katsayısı, kırılma indisi ve yüzey-hacim enerji kaybı gibi optik parametrelerin spektrofotometrik analiz ile belirlendiği araştırmada tavlama sıcaklığının önemli etkisi teyit edildi. CdO/p-Si heteroeklem yapısının zayıf doğrultucu davranış gösterdiği ve elde edilen diyot parametrelerinin de termal tavlama sıcaklığına bağlı olduğu rapor edildi. Sonuçlardan CdO nun termal tavlama sıcaklığının optimize edildiği heteroeklemler ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceğine işaret edildi.

Taşcıoğlu ve ark. (2012) sol-jel olarak hazırladıkları CdO çözeltisini p-tip GaAs yarıiletkeni üzerine dönel kaplama metoduyla nanoyapılı ince filmler olarak kapladılar. Elde edilen Al/CdO/p-GaAs diyodunun elektriksel karakterizasyonu, akım-gerilim (I-V) ve kapasitans-iletkenlik-gerilim (C-V, G-V) ölçümleri ile gerçekleştirildi. Diyodun idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_b) değerleri sırasıyla, 2,29 ve 0,62 eV olarak elde edildi. Arayüzey hallerinin enerji dağılım profilleri ise Hill-Coleman yöntemi ile belirlendi. Elde edilen sonuçlardan, seri direnç ve arayüzey hallerinin Al / CdO / p-GaAs diyodunun elektriksel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edildi.

Yakuphanoglu ve ark. (2019), SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) metodunu kullanarak CdS nanoparçacıkları ile birleştirilmiş CdO tabanlı fotodedektör fabrikasyonu yapmayı hedefledikleri çalışmalarında Al/CdS nanopartiküller-CdO/p-Si/Al eklemi üreterek optik ve elektriksel özelliklerini araştırdılar. SILAR tekniği ile oluşturulan CdS nanoparçacıkların CdO ile bir kompozisyon oluşturduğu ince filmler, silisyum üzerine sol-jel spin kaplama yöntemi ile kaplandı. Elde edilen fotodedektörün morfolojik ve optik özelliklerini incelemek için UV-Vis spektroskopisi ve alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanıldı ve hazırlanan filmin bant aralığı 2,17 eV olarak tahmin edildi. Önemli diyo parametreleri Güneş ışığı şartlarının farklı yoğunlukları için akım-voltaj karakteristikleri (I-V)'nden hesaplandı. Engel yüksekliği, idealite faktörü ve fototepkisi sırasıyla, 0,49 eV, 3,2 ve yaklaşık $2,65 \times 10^3$ olarak belirlendi. Ayrıca, geçici fotoakım ve fotokapasitans özellikleri farklı ışık koşulları

altında incelendi. Son olarak, arayüz halleri kapasitans/konduktans-voltaj (C-V/G-V) ölçümlerini kullanarak hesaplandı. Al/CdS-CdO/p-Si/Al aygıtının iyi performans göstererek fotodedektör teknolojisini geliştirmede aday olduğu rapor edildi.

Dhar ve Chakrabarti (2000) gözenekli p-Si altlık üzerine geçirgen ve iletken CdO ince filmler oluşturarak ve bir optimum sıcaklıkta tavlayarak, 10^3 mertebesinde bir doğrultma oranına sahip yüksek performanslı doğrultucu kontaklar elde ettiler. 1,5 mm çaplı diyotların karanlıkta ve -10 V'ta 26 nA lik ters akımı geçirdiği tespit edildi. Bu değer normal tungsten lamba aydınlatması altında 10^3 mertebesinde arttığı görüldü. Sonuçlardan, CdO/p-Si diyodunun yüksek verimli fotodiyot oluşturmak için çok iyi aday olabileceği ifade edildi

Ismail ve ark. (2021) CdO nanorod ince film elde etmek için ekonomik bir metod olan ve düşük sıcaklıklarda uygulanabilen elektrokimyasal depozisyon tekniğini kullandılar. Cd iyonları ve altlık tipinin etkisi yapısal morfolojik ve optik özellikler bakımından XRD, SEM, UV-Vis, ve PL spektroskopi teknikleri kullanılarak incelendi. Sonuçlardan, farklı iyon konsantrasyonları ve her iki altlık için CdO ince filmlerin yüzey merkezli kübik-temel faz oluşumu teyit edildi. Elde edilen numunelerden FTO altlığı olan için artan Cd^{2+} iyon konsantrasyonu ile tane büyüklüğünde az bir küçülmeye sahip aynı şekil korunurken, ITO altlığı olan için nano tabakalarda bir değişimin olduğu nanorodların yüzey morfolojisinde belirlendi. Bant gap enerjisi Tauc denkleminde ITO ve FTO altlığına sahip numuneler için 0.2 M'dan 0.8 M'a artan molarite ile sırasıyla, 2.5 eV'tan 2.2 eV'a ve 2.5 eV'tan 2.3 eV'a değiştiği belirtildi. Büyütme oranı ve iletkenliğin, elektrodpozisyon işleminin akım-zaman (I-t) eğrileri ile teyit edildiği gibi, farklı yapı, morfoloji ve optik bant gap'lara sahip CdO numuneler elde etmek için temel faktörler olduğu rapor edildi. Elde edilen CdO numunelerin fototepki (Photoresponse) değerleri karanlık ve ışık şartları altında değerlendirildi. Elektrodpozisyon tekniği kullanılarak elde edilen nanoyol (nanorods) ve nanotabaka (nanosheet) yüzey şekilli CdO ince filmlerin optoelektronik aygıt fabrikasyonu için umut verici aday oldukları vurgusu yapıldı.

Ravikumar, M.ve ark.(2019) Çalışmalarında katkısız ve neodimiyum (Nd) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri imal etmek için bir parfüm atomizer destekli sprey

piroliz yöntemini kullandılar. X-ışını kırınım sonuçları, tüm filmlerin (200) yönü boyunca tercihli bir yönelime sahip kübik bir yapıya sahip polikristal olduğunu ortaya koymaktadır. Nd katkılı CdO filmlerin kristalit boyutunu hesaplamak için Scherrer formülü kullandılar. Enerji dağılımlı spektroskopi sonuçları, Nd katkılı CdO ince filmlerde Cd, Nd ve O elementlerinin bulunduğunu göstermektedir. Katkılı filmlerin optik absorpsiyonu, artan Nd-doping seviyesi ile birlikte arttığını gördüler. Hazırlanan CdO ince filmleri görünür bölgede yüksek absorpsiyon katsayısına sahip olup ve artan Nd katkı içeriği ile optik bant aralığının azalmakta olduğunu gördüler. Artan Nd katkı konsantrasyonu ile biriktirilen filmlerin elektriksel taşıyıcı konsantrasyonunda(n) artmıştır. Nano yapıları Al/Nd-n-CdO/p-Si/Al cihazının fotoiletkenlik çalışmaları ile, diyot benzeri davranışı gösteren doğrusal olmayan bir elektrik karakteristiği gösterdiğini gördüler. Hazırlanan Nd:CdO filmleri, bu n-CdO/p-Si heteroyapısının foto-algılama etkisini artırabildiğini ve bu Nd katkılı CdO ince filmlerin, yakın gelecekte fotodiyot uygulaması için yeni bir yol açabileceğini gösterdiler.

Şeffaf iletken kadmiyum oksit (CdO) ve Fe (ağırlıkça %0,5, 1, 1,5 ve 2 ağırlık) katkılı CdO ince filmler, kolay kimyasal spreylendirme yöntemi kullanılarak cam altlık üzerine kapladılar. Fe katkılamanın CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisini, X-ışını kırınımı (XRD), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), UV-vis geçirgenliği ve Hall ölçümü gibi farklı karakterizasyon tekniklerini kullanarak sistematik olarak araştırmasını gerçekleştirdiler. XRD desenleri, saf ve Fe katkılı CdO filmlerinin kübik kristal yapısı ile birlikte polikristal yapıya sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. AFM görüntüleri, Fe katkı konsantrasyonuna göre CdO ince filmin pürüzlülüğünün azaldığını göstermiştir. Ağırlıkça %1 Fe katkılı CdO filminin yüzey yapısı, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile araştırıldı. Fe katkı konsantrasyonunun artmasıyla CdO ince filmin optik geçirgenliğinin azaldığı ve CdO ince filmin optik bant aralığı değeri, artan Fe katkı konsantrasyonu ile kademeli olarak 2.61'eV'den 2.18 eV'ye düşmüştür. Hall ölçümünden, (7.67×10^{-4}) Omega cm) ağırlıkça %1 Fe katkılı CdO ince film için minimum öz direnç değeri elde edildiğini gördüler. Son olarak, ev yapımı sensör ünitesi kullanılarak etanol sensör davranışı gözlemlendiler. Fe katkılı CdO ince filmlerin ağırlıkça %1'i için %56,12'lik maksimum etanol gazı tepkisi gözlemlendiler. Bu sonuç, Fe katkılı CdO'nun sensör uygulamalarında gelecek vaat eden malzemelerden biri olduğunu gördüler. Sankarasubramanian, K.ve ark.(2015)

Pathak ve ark. (2017) farklı oranlara sahip çinko ve kadmiyum karışım oksitleri, başlangıç olarak çinko asetat dihidrat ve kadmiyum asetat dihidrat kullanarak optimize edilmiş biriktirme koşulları altında sol-jel (döndürmeli kaplama) yöntemini kullanarak cam altlıklar (substratlar) üzerine oluşturdular. X-ışını kırınım desenleri ile filmlerin polikristal doğasının doğrulandığı analizde kübik CdO ve altıgen wurtzite ZnO fazlarının bir kombinasyonunu gösterdiği anlaşıldı. Oluşturulan ince filmlerde Zn, Cd ve O'nun oksidasyon halleri X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) çalışması ile belirlendi. Taramalı elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobunun ile yüzey morfolojisini incelendiği çalışmada, ince filmlerin kompozisyonu ise ikincil iyon kütle spektroskopisi ile incelendi. Filmlerin geçirgenliği (transmitans) 300-800 nm dalgaboyu aralığında incelendi. Optik bant aralığı, düzensiz veya amorf yarı iletkenlerin optik bant aralığını veya Tauc bant aralığını belirlemek için kullanılan Tauc grafiği kullanılarak belirlendi. Artan CdO içeriği ile bant aralığının 3,15 eV'den 2,15 eV'ye düştüğünü tahmin edildi. ZnO: CdO ince filmlerin ışık yayma özellikleri, oda sıcaklığında kaydedilen fotoluminesans spektrumları ile incelendi. Akım-voltaj (I-V) özellikleri de değerlendirildi ve omik davranış gösteren yapının artan CdO içeriği ile direncin azaldığı rapor edildi.

Mohanraj, K.ve ark.(2019) yaptıkları çalışmada, P-N eklem diyot uygulaması için mikrodalga ışınlama tekniği ile farklı katkı konsantrasyonlarında Ru katkılı CdO nanoparçacıkları hazırladılar. Doping ajanının CdO nanoparçacıkları üzerindeki etkisi, XRD, FT-IR, SEM, EDS, TEM, UV-DRS ve XPS teknikleri gibi çeşitli tekniklerle araştırdılar. XRD sonuçları, hazırlanan nanoparçacıkların (111) düzlem yönü boyunca tercih edilen yönelime sahip kübik yapıya sahip olduğunu ve bu düzlem kristalit boyutunun 18.7 ila 16.8 nm aralığında olduğunu doğrulamıştır. SEM ve TEM morfolojileri, CdO nanoparçacıklarının Ru dopinginden güçlü bir şekilde etkilendiğini ve artan Ru doping seviyeleri ile tane boyutunun azaldığını ortaya koymaktadır. UV-vis DRS sonuçları, Ru içeriğinin artmasıyla optik bant aralığı değerinin azaldığını göstermiştir. FTIR, EDS ve XPS sonuçları, saf ve Ru katkılı CdO oluşumu için iyi kanıtlar olduğunu ileri sürdüler. DC elektriksel iletkenlik sonucu, ağırlıkça %5 Ru doping seviyesinin saf CdO ile karşılaştırıldığında maksimum iletkenliğe sahip olduğunu göstermiştir. n-RuCdO/p-Si diyot parametreleri (idealite faktörü (n) ve bariyer yüksekliği

(Phi(b))) J-V yöntemi kullanılarak çalıştılar. Üretilen n-RuCdO/p-Si diyotun fotoakım ve karanlık akım davranışları sonucu, iyi fotoiletken tepki gösterdiğini gördüler.

Umadevi, P.ve ark.(2016) CdO, Al katkılı CdO ve Cu katkılı CdO ince filmler, sol jel spin kaplama yöntemi ile p-tipi silikon substratlar üzerine kapladılar. Silikon altlık üzerinde katkısız, Al ve Cu katkılı CdO filmlerin yapısal, yüzey morfolojik ve elektriksel özelliklerini incelediler. Ag/CdO/p-Si, Ag/Al: CdO/p-Si ve Ag/Cu: CdO/p-Si heteroeklem diyotları üretilmiş ve diyotların ters doyma akımı, bariyer yüksekliği ve idealite faktörü gibi diyot parametrelerini yaparak akım gerilimi (IV) özelliklerini incelediler. Diyotun ters akımının doping ile güçlü bir şekilde arttığını gördüler. Alüminyum ve bakır ile katkılama yapılarak bariyer yüksekliği ve idealite faktörü değerleri düşürdüler. Heteroeklemli diyotların ışık tepkisi incelendi ve katkılı CdO ile oluşturulan heteroeklemli diyotun, katkısız heteroeklemli diyottan daha büyük ışık tepkisine sahip olduğunu buldular.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

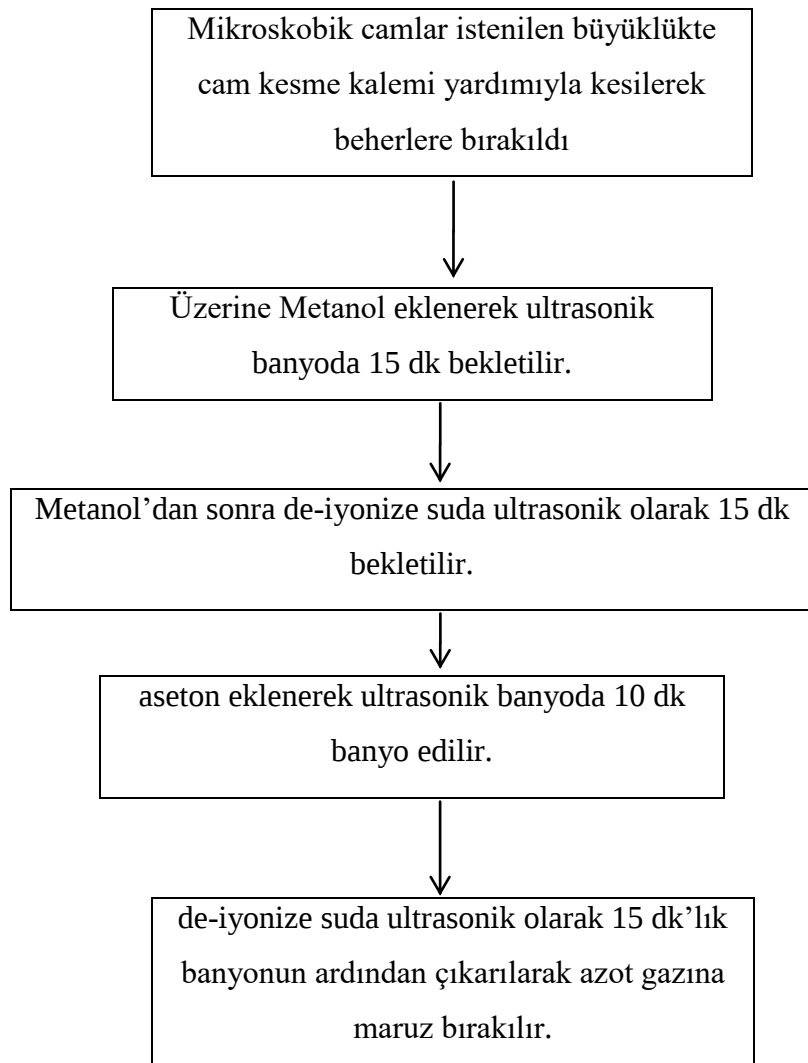
Transparan CdO ince filmler hazırlamak için sol gel yönteminin uygulanmasına karar verildi. Cadmium acetate dihidrat ($\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) malzemenin esas elamanı olarak sağlandı. 2-methoxethanol ise bu tuzu çözmek için kullanılmak üzere temin edildi. Tuz çözelti tarafından çözüldükten sonra hem jel hem de kararlı bir yapı elde etmek için monoetanol amin'e ihtiyaç duyuldu.

Aşağıdaki gibi bir süreç takip edildi.

- 2-methoxethanol çözücüsünde $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ (cadmium asetat dihidrat) kompleks bileşiğinin çözülmesi sağlandı.
- Ana materyal, çözücü ve stabilizatörün oranının ayarlanarak molarite 0,5 M da sabitlenmesi sağlandı.
- Manyetik karıştırıcı yardımıyla 30 °C' de 2 saat süresince döndürülerek karıştırıldı. (Şekil 3.1).
- Daha sonra hazırlanan çözelti 3 farklı şişeye koyuldu. Sonra bu şişelerin her birine sırasıyla %0.3, %0.5 ve %0.7 oranlarında Thiourea (Th) eklendi. Bu işlem yapıldıktan sonra Thiourea (Th) nin çözeltinin içerisinde homojen bir şekilde dağılması için karışım tekrardan 30 derecede 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıyla tekrardan karıştırıldı. Bu işlem yapıldıktan sonra Thiourea (Th) derişimi fazla olan çözeltinin daha yoğun ve bulanık olduğu gözlemlendi.
- Dengeleyici (stabilizer) olarak Monoethanolamin çözeltiye eklendi.
- Elde edilen çözeltiler kapakları hava almayacak şekilde sıkıca kapatılarak yaklaşık olarak 18 saat bekletildi.
- Elde edilen çözeltinin kısmen jel kıvamında olduğu görüldü.
- CdO ince filmler farklı oranlarda Thiourea ($\text{Th}_{0.03}\text{Cd}_{0.97}\text{O}$, $\text{Th}_{0.05}\text{Cd}_{0.95}\text{O}$, $\text{Th}_{0.07}\text{Cd}_{0.93}\text{O}$) katkılı olarak hazırlandı.

- Cam altlıklar ultrasonik banyoda temizlendi (Şekil 3.2).
- Farklı Th oranlı CdO cam altlık ve p-Si üzerine dönel (spin) kaplama yöntemi ile kaplandı (Şekil 3.3).

Cam altlıkların (üzerinde CdO ince filmler oluşturmak için) kimyasal kirliliklerden arındırıldığı temizleme adımları aşağıda gösterilmiştir.

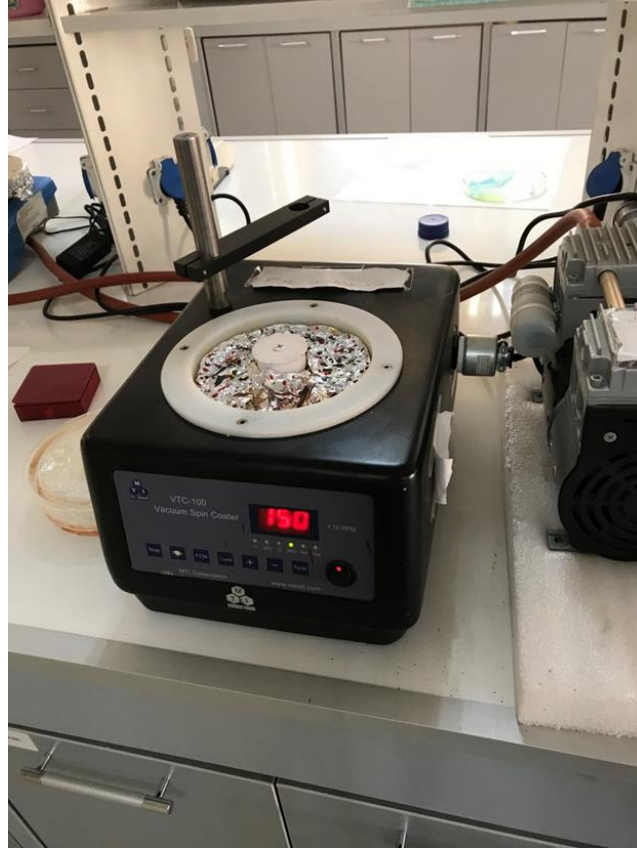




Şekil 3.1. Hot plate (Sıcak tabla)

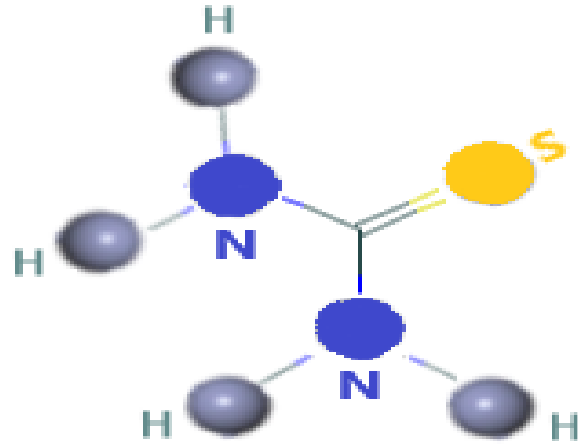


Şekil 3.2. Ultrasonik banyo



Şekil 3.3. Spin coater cihazı

Şekil 3.4’ de Thiourea nın şematik görünümünü veriliyor. Şemadan da görüldüğü gibi yapı Sulfur (S) içeriyor. Yapıya dahil olan diğer elementler ise Azot (N) ve Hidrojen (H) dir. Tiyoüre, $SC(NH_2)_2$ formülüne sahiptir. Organosülfür bileşiğidir ve kükürt içerir.



Şekil 3.4. Thiourea için şematik gösterim

Cam altlıkların temizleme işlemi bittikten sonra daha sonra kaplama işlemine geçildi. Cam altlıkların kaplaması aşağıda anlatıldı.

- Cam altlık spin coater üzerine oturtuldu.
- Cam üzerine çözeltiden birkaç damla (yaklaşık olarak) bırakıldı.
- Spin coater için zaman ve dönme hızı 30 s ve 1000 rpm'e set edildi. Homojenlik sağlamak için çözeltinin cam altlık üzerine ince bir tabaka olarak sürülmesi sağlandı.
- Bu işlem her seferinde aynı şekilde yapılarak ince filmler 3 ya da 5 kat olacak şekilde hazırlandı.
- Bu işlemler yapılırken pipetle numune alınmadan önce çözeltinin manyetik karıştırıcı yardımıyla hot plate te 1-2 dk karıştırılmasına her seferinde özen gösterildi.
- Hot plate te yapılan bu karıştırma işlemi sonucunda pipetle film yapmak için alınan numunenin içindeki kristal maddelerin homojen karıştırılması sağlandı.
- Kaplama gerçekleştirildikten sonra 65 °C'de 5 dk boyunca ısıtılma (hot plate) tabi tutuldu.
- Daha sonra kurutulan numuneler kül fırında 400 °C 1 saat boyunca tavlandı (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kül fırını

- Böylece, cam altlık üzerinde Th katkılı CdO ince filmlı 3 adet numune elde edildi. İlk aşamada elde edilen bu filmlerin AFM, SEM, EDX,UV ve Raman spektroskopisi ile karakterize edilmesi planlandı (Şekil 3.6-8).



Şekil 3.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)



Şekil 3.7. Raman cihazı

3.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

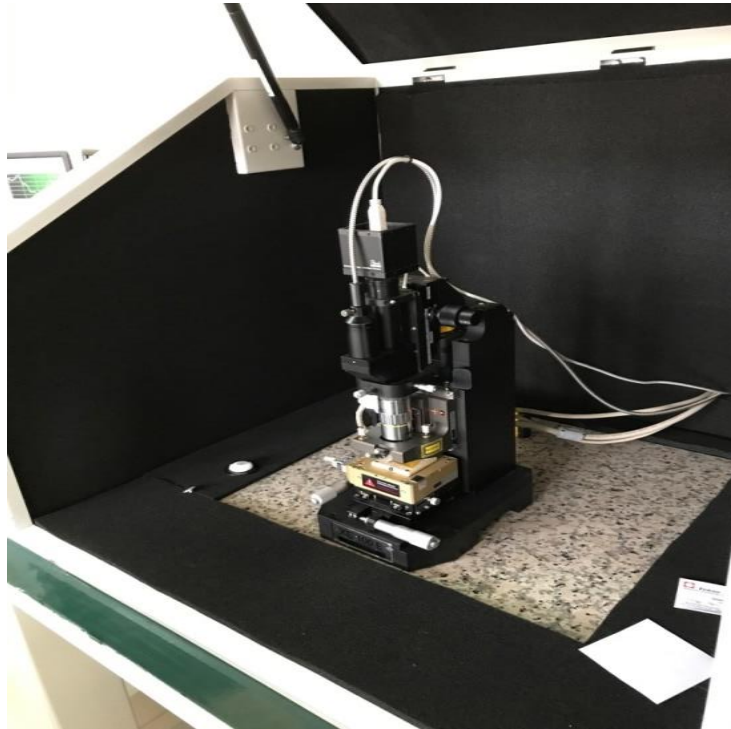
Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), yüzey topografisi için kullanılan bir aygıttır. Data, mekanik bir prob ile yüzeye "hissetme" veya "dokunma" yoluyla toplanır. (Elektronik) komutta küçük ama doğru ve hassas hareketleri kolaylaştıran piezoelektrik elemanlar, hassas taramayı mümkün kılar. Atomik Kuvvet Mikroskobu ismine rağmen Nükleer kuvveti kullanmaz. AFM, 1985 yılında IBM bilim adamları tarafından icat edildi. AFM'nin öncüsü olan taramalı tünelleme mikroskobu (scanning tunnelling microscopy STM), Heinrich Rohrer ve Gerd Binnig tarafından 1980'lerin başında IBM Research - Zürih'te geliştirildi ve onlara 1986 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran bir gelişme. Gerd atomik kuvvet mikroskobunu icat etti ve ilk deneysel uygulama 1986'da Gerd, Quate ve Gerber tarafından gerçekleştirildi. Ticari olarak temin edilebilen ilk atomik kuvvet mikroskobu 1989'da piyasaya sürüldü. AFM, nano boyutta yüzeyin görüntülenebilmesi ve işlenmesi için en önde gelen araçlardan biridir.

Kuvvet ölçümünde, AFM'ler, prob ve numune arasındaki kuvvetleri, karşılıklı ayrılmalarının bir fonksiyonu olarak ölçmek için kullanılabilir. Bu, örneğin bir sertlik ölçüsü olan Young modülü gibi örneğin mekanik özelliklerini ölçmek için kuvvet spektroskopisi gerçekleştirmek için uygulanabilir.

Yüzey topoğrafyası genellikle bir sözde renk grafiği olarak görüntülenir. Her ne kadar Binnig, Quate ve Gerber tarafından 1986 yılında atomik kuvvet mikroskobu ile ilgili ilk yayın atomik çözünürlük elde etme olasılığı hakkında spekülasyon yapsa da, kusurların atomik çözünürlüğü ve ortam (sıvı) koşullarında adım kenarları gösterilmeden önce derin deneysel zorlukların üstesinden gelinmesi gerekiyordu. 1993, Ohnesorge ve Binnig tarafından. Silikon 7x7 yüzeyinin gerçek atomik çözünürlüğü - STM tarafından elde edilen bu yüzeyin atomik görüntüleri, bilim camiasını taramalı tünelleme mikroskobunun muhteşem uzaysal çözünürlüğüne ikna etmişti - Giessibl tarafından gösterilmeden önce biraz daha beklemek zorunda kaldı. Manipülasyonda, numunenin özelliklerini kontrollü bir şekilde değiştirmek için uç ve numune arasındaki kuvvetler de kullanılabilir. Bunun örnekleri arasında atomik manipülasyon, taramalı probitografisi ve hücrelerin lokal uyarılması yer alır.

Topografik görüntülerin alınmasıyla eş zamanlı olarak, örneğin diğer özellikleri yerel olarak ölçülebilir ve genellikle benzer şekilde yüksek çözünürlükte bir görüntü olarak gösterilebilir. Bu tür özelliklerin örnekleri, sertlik veya yapışma mukavemeti gibi mekanik özellikler ve iletkenlik veya yüzey potansiyeli gibi elektriksel özelliklerdir. Aslında, SPM tekniklerinin çoğu, bu yöntemi kullanan AFM'nin uzantılarıdır.

Moleküler biyolojide AFM, protein komplekslerinin ve gruplarının yapısını ve mekanik özelliklerini incelemek için de kullanılabilir. Örneğin, AFM mikrotübülleri görüntülemek ve sertliklerini ölçmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

3.2. X Işını Difraktometresi (XRD)

X-ışını kristalografisi (XRC), kristal yapının bir gelen X-ışınları demetinin birçok özel yöne kırılmasına neden olduğu bir kristalin moleküler ve atomik yapısını aydınlatan experimental (deneysel) bir çalışma alanıdır. bir kristalograf kırınımlı ışınların yoğunluklarını ve açılarını ölçerek, üç boyutlu bir resmi kristal içindeki elektron yoğunluğu dikate alarak belirler.

Tuzlar, metaller, mineraller, yarı iletkenler ve çeşitli biyolojik, organik ve inorganik moleküller gibi birçok malzeme kristal oluşturabildiğinden, X-ışını birçok bilimsel alanın gelişiminde temel olmuştur. Bu yöntem, kullanımının ilk on yılında, atomların boyutunu, kimyasal bağların uzunluklarını ve türlerini ve özellikle mineraller ve alaşımlar olmak üzere çeşitli malzemeler arasındaki atomik ölçek farklılıklarını belirledi. Yöntem ayrıca, DNA, proteinler, ilaçlar ve vitaminler olmak üzere çok sayıda biyolojik molekülün işlevini ve yapısını meydana çıkardı. X-ışını, yeni malzemelerin atomik yapısını karakterize etmek ve diğer deneylerde benzer görünen malzemeleri ayırt etmek için hala birincil yöntemdir. X ışını kristal yapıları ayrıca bir malzemenin alışılmadık elektronik veya elastik özelliklerini açıklayabilir, kimyasal etkileşimlere ve işlemlere ışık tutabilir veya hastalıklara karşı ilaçların tasarlanmasında temel oluşturabilir.

Tek kristalli bir X-ışını kırınım ölçümünde, bir gonyometre üzerine bir kristal monte edilir. Açılölçer, kristali seçilen yönlerde konumlandırmak için kullanılır. Kristal, ince odaklanmış monokromatik bir X-ışını demeti ile aydınlatılarak, yansımalar olarak bilinen düzenli aralıklı noktaların kırınım modelini oluşturur. Farklı yönelimlerde alınan iki boyutlu görüntüler, örnek için bilinen kimyasal verilerle birleştirilen Fourier dönüşümlerinin matematiksel yöntemi kullanılarak kristal içindeki elektron yoğunluğunun üç boyutlu bir modeline dönüştürülür. Kristaller çok küçükse veya iç yapısında yeterince homojen değilse, zayıf çözünürlük (bulanıklık) veya hatta hatalar ortaya çıkabilir. X ışını kristalografisi, atomik yapıları belirlemek için birkaç başka yöntemle ilgilidir. Fourier dönüşümü ile benzer şekilde yorumlanan elektronların veya nötronların saçılmasıyla benzer kırınım modelleri üretilir. Yeterli büyüklükte tek kristaller elde edilemezse, daha az detaylı bilgi elde etmek için çeşitli

başka X-ışını yöntemleri uygulanabilir; bu tür yöntemler arasında fiber kırınımı, toz kırınımı ve (numune kristalize değilse) küçük açılı X-ışını saçılması (SAXS) bulunur.

Belirtilen tüm X-ışını kırınım yöntemlerinde elastic bir saçılma mevcuttur; gelen X-ışını dağınık X-ışınları ile aynı dalga boyuna sahiptir. Buna karşılık, elastik olmayan X-ışını saçılma yöntemleri, atomlarının dağılımından ziyade, plazmonlar, kristal-alan ve yörünge uyarıları, magnonlar ve fononlar gibi numunenin uyarılmalarını incelemek için yararlıdır.



Şekil 3.9. X ışını difraktometresi (XRD)

3.3. Soğurma (Absorption)

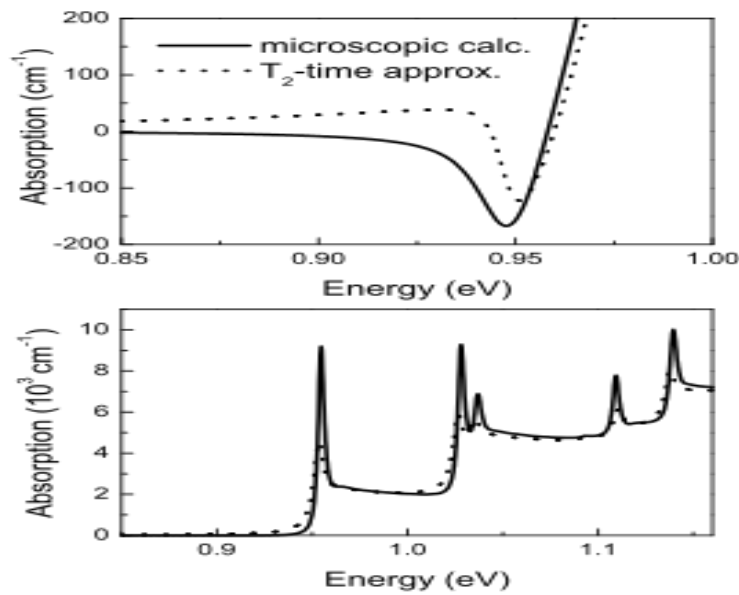
Fizikte, elektromanyetik radyasyonun absorpsiyonu, maddenin (tipik olarak atomlara bağlı elektronların) bir fotonun enerjisini nasıl aldığıdır - ve böylece elektromanyetik enerjiyi soğurucunun iç enerjisine (örneğin, termal enerji) dönüştürür. Kayda değer bir etki, zayıflama veya bir ortamda yayılırken ışık dalgalarının yoğunluğunun kademeli olarak azalmasıdır. Dalgaların absorpsiyonu genellikle yoğunluklarına

bağlı olmasa da (doğrusal absorpsiyon), belirli koşullarda (optik) ortamın şeffaflığı dalga yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak değişen bir faktörle değişir ve doyurulabilir absorpsiyon (veya doğrusal olmayan absorpsiyon) meydana gelir. Soğrulma olayı bir çok alanda önemli bir yere sahiptir.

Radyo yayılımında, görüş hattı olmayan yayımda temsil edilir. Örneğin, uydu bağlantısı tasarımında kullanılan atmosferdeki radyo dalgası zayıflamasının hesaplanmasında soğrulma olayı önem arz eder. Tıpta, X-ışınları, X-ışını görüntülemenin temeli olan farklı dokular (özellikle kemik) tarafından farklı derecelerde emilir.

Optikte, güneş gözlükleri, renkli filtreler, boyalar ve diğer bu tür malzemeler, hangi görünür dalga boylarını emdiklerine ve hangi oranlarda bulunduklarına göre özel olarak tasarlanmıştır.

Fizikte, Dünya'nın iyonosferinin D-bölgesinin, yüksek frekanslı elektromanyetik spektruma giren radyo sinyallerini önemli ölçüde soğrulduğu bilinmektedir. Nükleer fizikte, nükleer radyasyonların soğrulması sıvı seviyelerini, dansitometriyi veya kalınlık ölçümlerini ölçmek için kullanılabilir.

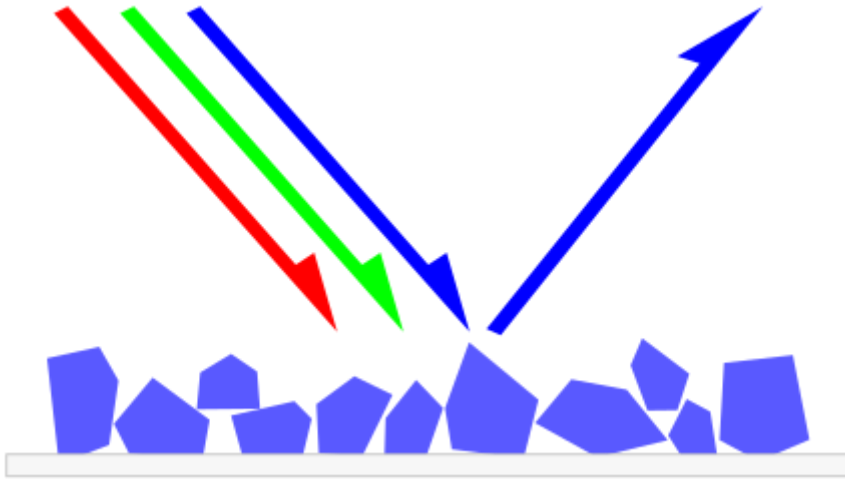


Şekil 3.10. Soğurmanın (absorption) enerji üzerindeki etkisi

3.4. Yansıma (Reflectance)

Bir malzemenin yüzeyinin yansıması, radyan enerjiyi yansıtmadaki etkinliğidir. Sınırdaki yansıyan, gelen elektromanyetik gücün oranıdır. Yansıma, malzemenin elektronik yapısının ışığın elektromanyetik alanına tepkisinin bir bileşenidir ve genel olarak ışığın frekansının veya dalga boyunun, polarizasyonunun ve gelme açısının bir fonksiyonudur. Yansımanın dalga boyuna bağımlılığı, yansıma spektrumu veya spektral yansıma eğrisi olarak adlandırılır. Yansımanın yönelimli bir karakteristik olduğu göz önüne alındığında, dağınık yansıma verenler ve yüzey speküler yansıma verenler olarak ayrılabilir.

Cilalı metal veya cam gibi aynasal yüzeylere ait yansıma, yansıma açısının uygun olduğu durumlar dışında neredeyse açılarının tümünde sıfırdır; bu, geniş düzlemde normal olan yüzeye göre aynı açıdır, ancak karşı tarafta. Radyasyon yüzeye dik geldiğinde aynı yöne geri yansır. Dağınık yüzeyler (Mat beyaz boya) için yansıma tekdüzedir.



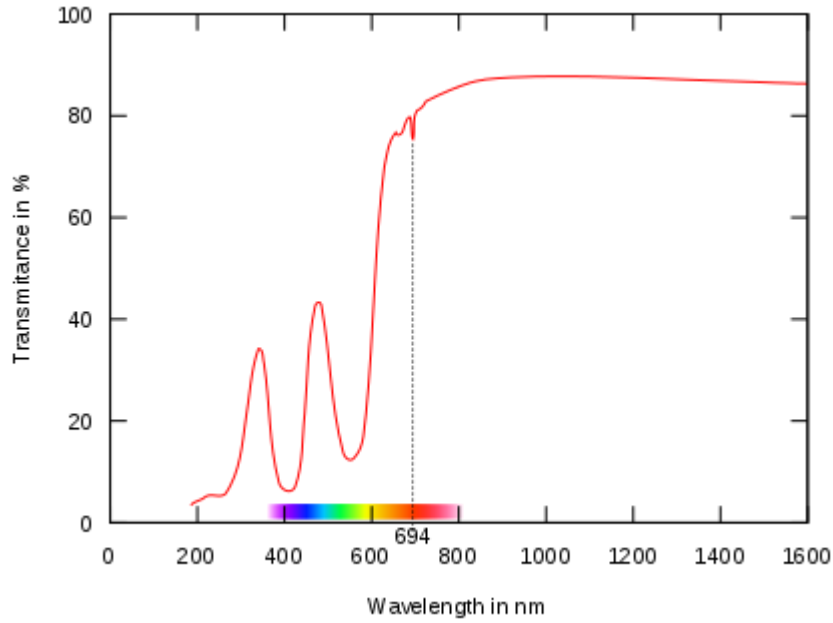
Şekil 3.11. Yansıma (Reflectance) olayı

3.5. Geçirgenlik (Transmittance)

Bir çözeltiye gönderilen ışığın yüzde kaçının çözeltiden geçtiğinin hesaplanması işlemidir. Çözeltiden çıkan transmittans değerinin 100 ile çarpılması bize bu yüzde oranı verir. Bir malzemenin yüzeyinin geçirgenliği, radyan enerjiyi iletmedeki

etkinliğidir. İletilenin gelen elektrik alanına oranı olan iletim katsayısının aksine, bir örnek üzerinden iletilen gelen elektromanyetik gücün oranıdır.

İç geçirgenlik, soğurma yoluyla enerji kaybını ifade ederken (toplam) geçirgenlik, soğurma, saçılma, yansıma vb. nedeniyle oluşur.



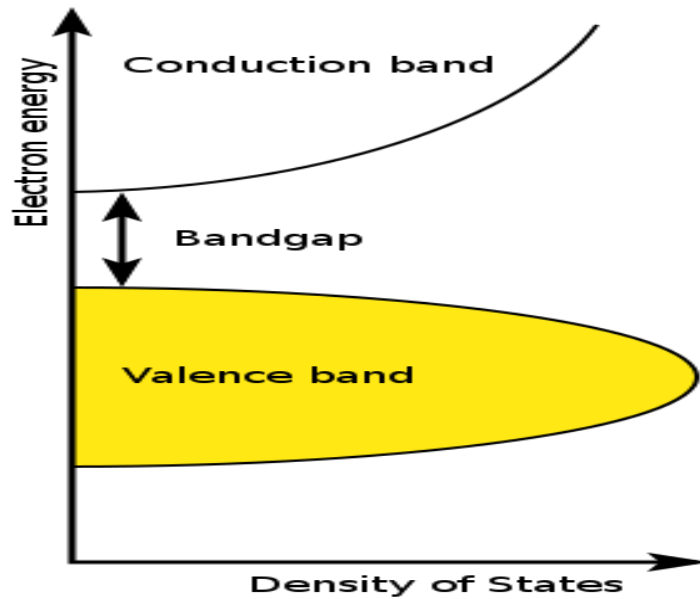
Şekil 3.12. Geçirgenliğin (Transmittance) ışık üzerindeki etkisi

3.6. Bant aralığı (Band gap)

Bir elmas kristali oluşturmak için çok sayıda karbon atomunun bir araya getirilmesinin varsayımsal örneğinde elektronik bant yapısının nasıl ortaya çıktığını gösterir. Atomlar arasındaki boşluğun bir fonksiyonu olarak da enerji seviyelerini gösterir. Atomlar birbirinden uzak olduğunda her atomun aynı enerjiye sahip değerlik atomik orbitalleri p ve s vardır. Ancak atomlar birbirine yaklaştıkça yörüngeleri örtüşmeye başlar. Kristaldeki N atomun orbitallerinin hibridizasyonunu tanımlayan Bloch teoremi nedeniyle, eşit enerjiye sahip N atom orbitali, her biri farklı bir enerjiye sahip N moleküler orbitale bölünür. N çok büyük bir sayı olduğu için, bitişik orbitaller enerji olarak birbirine son derece yakındır, bu nedenle orbitaller sürekli bir enerji bandı olarak kabul edilebilir. Bu aralıkta orbitaller, aralarında 5.5 eV bant aralığı olan değerlik ve iletim bantları olarak adlandırılan iki bant oluşturur.

Oda sıcaklığında, çok az elektron bu geniş enerji aralığını aşacak ve iletim elektronları olacak termal enerjiye sahiptir, bu nedenle elmas bir yalıtkandır. Aynı kristal yapıya sahip silikonun benzer bir işlemi, silikonu bir yarı iletken yapan 1.1 eV'lık çok daha küçük bir bant aralığı verir.

Katı hal fiziğinde, enerji boşluğu olarak da adlandırılan bir bant boşluğu, hiçbir elektronik durumun var olamayacağı bir katıdaki bir enerji aralığıdır. Katıların elektronik bant yapısının grafiklerinde, bant aralığı genellikle yalıtkanlarda ve yarı iletkenlerde değerlik bandının üstü ile iletim bandının altı arasındaki enerji farkına (elektron volt cinsinden) atıfta bulunur. Bir atoma bağlı bir değerlik elektronunu, kristal kafes içinde hareket etmekte serbest olan ve elektrik akımını iletme için bir yük taşıyıcısı olarak hizmet eden bir iletim elektronu haline getirmek için gereken enerjidir. Kimyadaki HOMO/LUMO boşluğu ile yakından ilgilidir. Değerlik bandı tamamen dolu ve iletim bandı tamamen boşsa, elektronlar katı içinde hareket edemez; bununla birlikte, eğer bazı elektronlar valanstan iletim bandına geçerse, akım akabilir. Bu nedenle, bant aralığı bir katının elektriksel iletkenliğini belirleyen önemli bir faktördür. Büyük bant boşluklu maddeler genellikle yalıtkandır, daha küçük bant boşluklu maddeler yarı iletkenlerdir, iletkenler ise değerlik ve iletim bantları örtüştüğü için çok küçük bant boşluklarına sahiptir veya hiç yoktur.

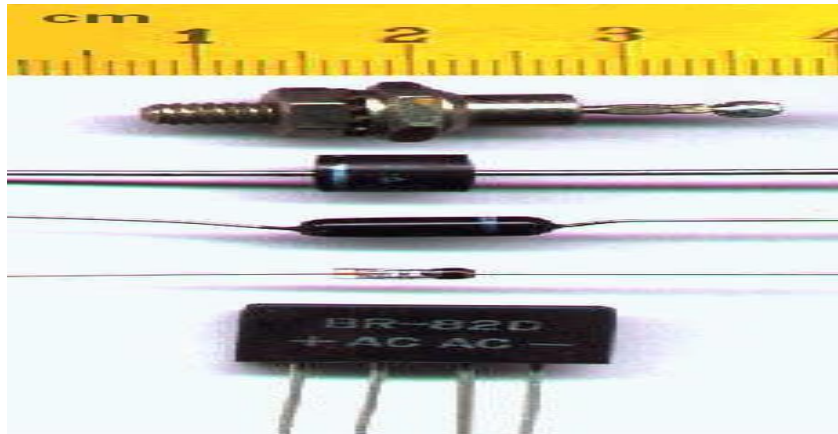


Şekil 3.13. Bant aralığı (Band gap)

3.7. Diyot

Diyot, akımı esas olarak bir yönde (asimetrik iletkenlik) ileten iki terminalli bir elektronik bileşendir; bir yönde daha az dirence (idealde sıfır) ve diğer yönde daha fazla dirence sahiptir (idealde sonsuz). Bir termiyonik diyot veya vakum tüplü diyot, iki elektrotlu, ısıtılmış bir katot ve elektronların katottan plakaya yalnızca bir yönde akabildiği bir plakalı bir vakum tüpüdür. Günümüzde en yaygın kullanılan tip olan bir yarı iletken diyot, iki elektrik terminaline bağlı bir p-n bağlantısı olan kristal bir yarı iletken malzeme parçasıdır. İlk yarı iletken aygıtlar, yarı iletken diyotlar olarak kabul edildi. Bir metal ve bir kristalin teması ile asimetrik olarak elektrik iletkenliğinin bulunuşu, 1874'te Alman fizikçi Ferdinand Braun tarafından gerçekleştirildi. Günümüzde çoğu diyot silikondan yapılmıştır, ancak galyum arsenit ve germanyum gibi diğer yarı iletken malzemeler de kullanılmaktadır.

Bir diyot olarak bilinen aygıtın geleneksel karakteristiği, akımının tek yönde (diyotun ileri yönü olarak adlandırılır) geçmesine izin verirken, ters yönde (ters yön) bloke etmektir. Dolayısıyla diyota, çek valfin elektronik versiyonuymuş gibi bakılabilir. Bu tek yönlü iletim karakteristiğine doğrultma denir. Alternatif akımı (ac) üzerinde yapılacak dönüşüm (doğru akıma dc) için uygun bir devre elemanıdır. Doğrultucu formları, diyotlar, radyo alıcılarında radyo sinyallerinden modülasyon çıkarmak gibi görevler için kullanılabilir. Bir yarı iletken tabanlı diyotun uygulanan gerilime karşı akım değişim (akım-voltaj, $I-V$) eğrisi, yarı iletken malzemeler ve imalat sırasında malzemelere eklenen safsızlıklar (doping) seçilerek özelleştirilebilir.



Şekil 3.14. Bazı diyot örnekleri

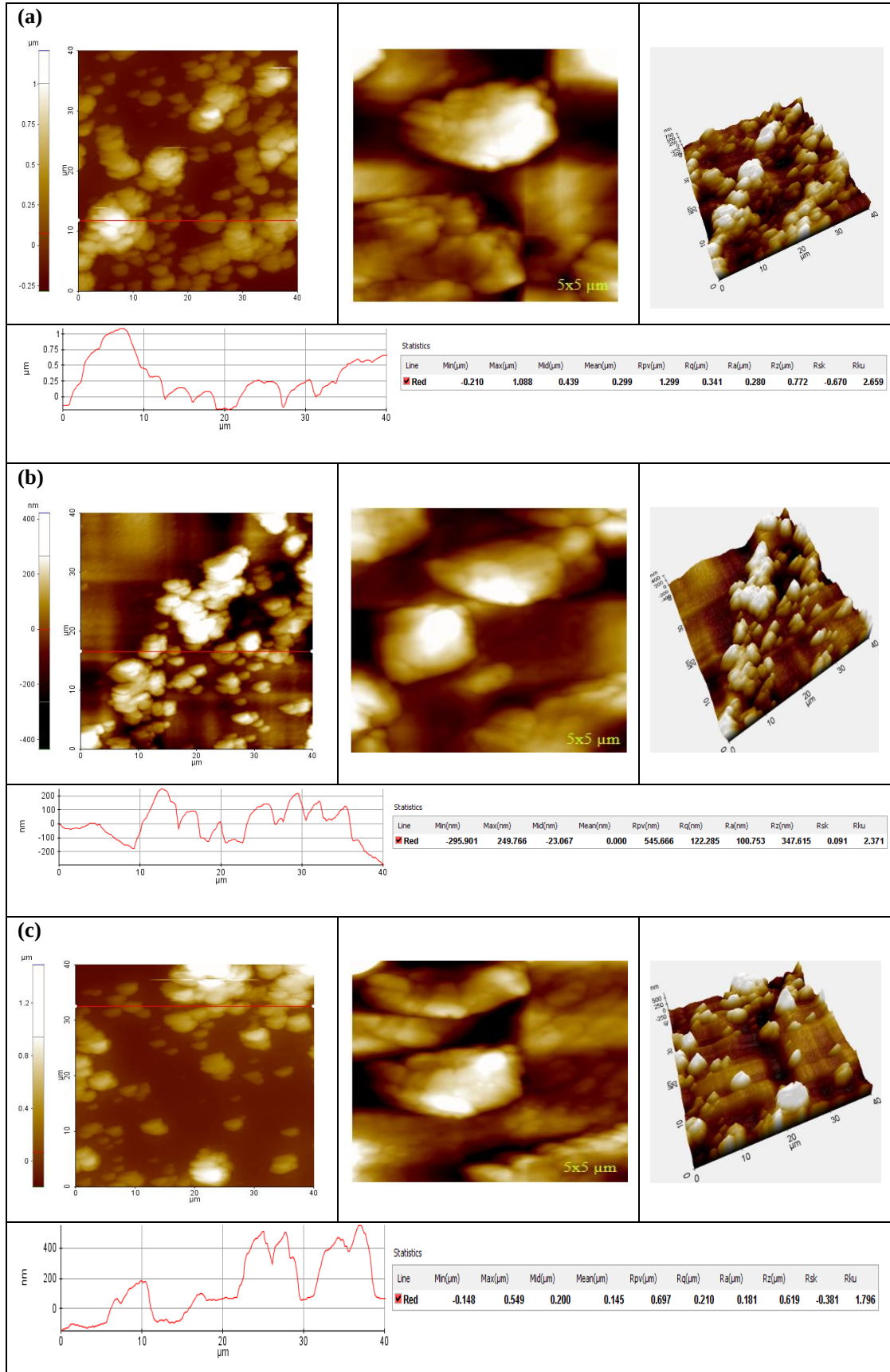
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Morfolojik, Yapısal ve Optik Özellikler

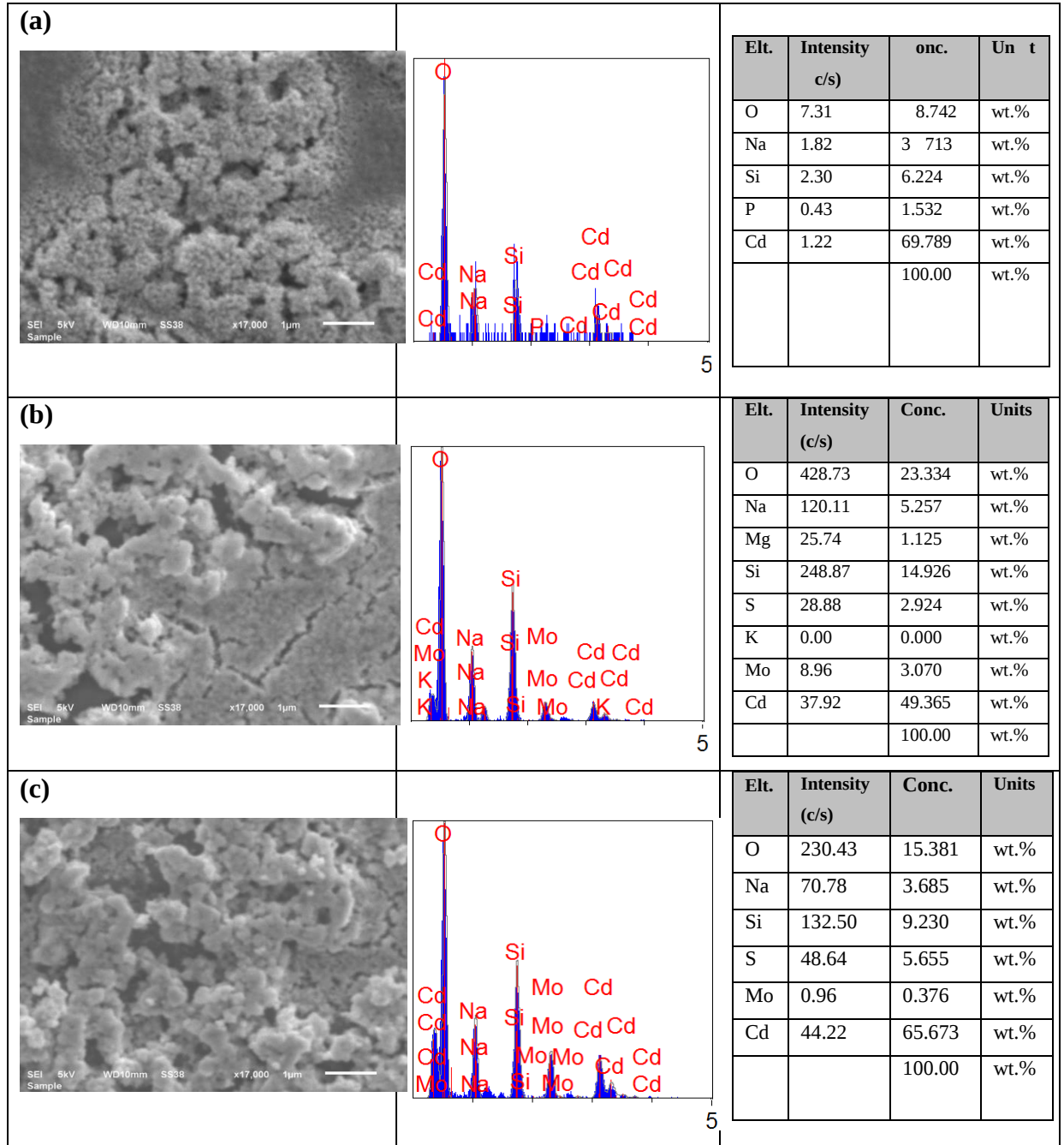
CdO ince filmlerin AFM görüntüleri Şekil 4.1a-c'de gösterilmektedir; Numunelerin sırasıyla %0,3, %0,5 ve %0,7 için 40x40 µm, 5x5 µm ve üç boyutlu (3D) görüntülerine yer verildi. Her üç numunede de nano kümelerin oluştuğu ancak yüzeyde homojen bir dağılım göstermediği görüldü. Kırmızı çizgi boyunca gözlenen yüzey dağılımı, 40x40 µm'lik görüntülerde de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü %0.5 Th katkılı CdO numunede nm mertebesinde iken, %0,3 ve %0,7 Th katkılı CdO numunelerde ise mikron mertebesinde. Ayrıca şekiller, yüzeyin pürüzlülük ortalaması (R_a), tepeden vadiye pürüzlülük (R_{pv}), kök ortalama kare pürüzlülüğü (R_q) ve ortalama maksimum yükseklik (R_z) gibi yüzeylerin istatistiklerini gösterir. Ayrıca, çarpıklık ve basıklık (Skewness (R_{sk}), Kurtosis R_{ku}), profildeki ortalama çizgiye göre sırasıyla asimetri ve tepelik ile ilgilidir. Th'nin katkılama (doping) etkisi, yüzey morfolojisinin parametreleri boyunca görülür.

Şekil 4.2a-c, bize 17000 büyütmede CdO ince filmlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerini göstermektedir. SEM ile elde edilen görüntüler, her örneğin farklı bir yüzey haritası sunduğunu göstermektedir. Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX) verileri de sağlanır. Sonuçlar çok sayıda öge içerir. Th katkılı CdO kompozit yapı dışında beklenmeyen elemanların varlığı muhtemelen altlık olarak kullanılan camdan kaynaklanmıştır.

EDX sonuçları, kükürt (S) elementinin varlığını doğrulamıştır. %0,3 Th katkılı CdO'da kükürt içeriği bildirilmezken, %0,5 ve %0,7 Th katkılı CdO ince filmlerde S oranı görülüyor. Artan Th oranının S oranına paralel olması da dikkat çekicidir.

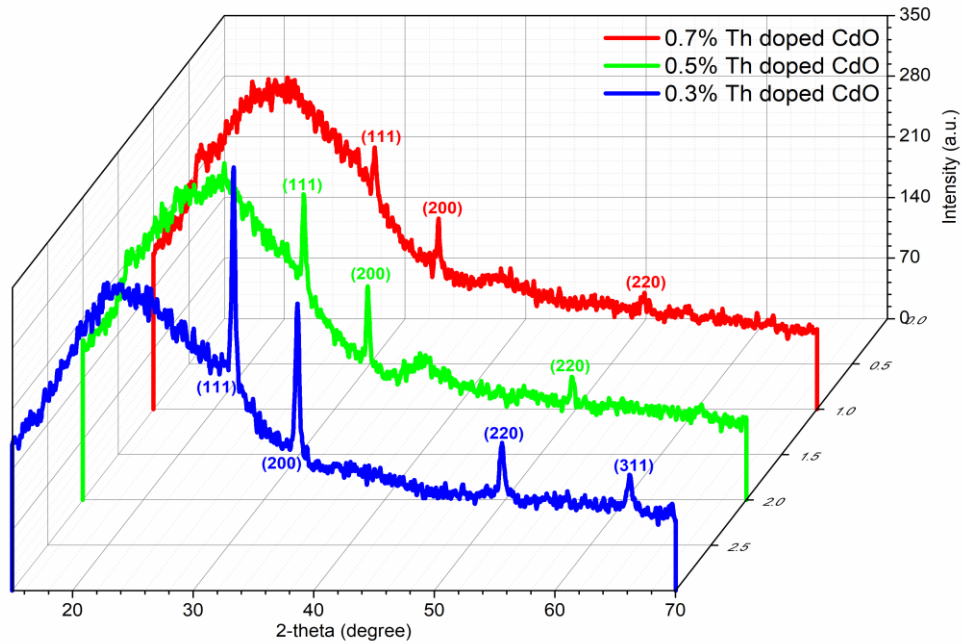


Şekil 4.1a-c. 40x40 μm, 5x5 μm ve üç boyutlu (3D) Th:CdO ince filmlerin AFM görüntüleri: (a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7



Şekil 4.2a-c. Th:CdO ince filmlerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları: (a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7

Şekil 4.3, cam altlıklar üzerinde biriken çeşitli Th katkı konsantrasyonlarına (%0,3, %0,5, %0,7) sahip Th:CdO ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) modelini göstermektedir. Filmlerin tercih edilen düzlem yoğunlukları, artan Th konsantrasyonu nedeniyle değişmektedir. CdO ince filmler (111) ve (200) kübik kristal yapıya sahip olan ince film formunda tercihli yönelim göstermiştir. Pikler, Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) JCPDS: 05-0640 kart numarasıyla iyi bir uyum içindedir. CdO ince film, Th katkılama sonrasında kristal fazda herhangi bir değişiklik göstermedi. (220) ve (311) gibi diğer kristal oryantasyonları yüksek yoğunluğa sahiptir ve literatürle karşılaştırıldığında iyi bir uyum göstermiştir (Balachandar 2020, Ramamurthy 2016). Th, CdO örgü yapısında arttığında, kırınım zirvelerindeki kaymalar değişmiştir. Tepeler, 33° ila $38^\circ(2\theta)$ Bragg açısında daha baskın görünmektedir. Bunlar, çeşitli kırınım açılarında ana kırınım zirveleridir. Yapı, yüzey merkezli kübik (fcc) düzenlemeye göre indekslenir. Katkılama nedeniyle, Th'nın ağırlıkça %0,5 ve %0,7'sinde hiçbir faz (pik) ortaya çıkmamıştır. Yapısal deformasyon olmamış ve tüm numuneler kristal katı halde kalmıştır. (311) gibi kristal oryantasyonun zirvesi, %0,7 Th katkılı CdO ince filmde baskınlığını kaybediyor. Yüzey dokusunun (yönlendirme) karakteristiğinin, gerilme, uzama ve elastikiyet dahil olmak üzere doping elementlerine bağlı olduğu fark edilmektedir.



Şekil 4.3. Cam altlıklar üzerine biriktirilen Th:CdO ince filmlerin XRD spektrumları

Yapı katsayısı ($TC(hkl)$) (texture coefficient) değeri büyüme yüzeyini temsil eder ve aşağıdaki gibi verilir (Benhaoua 2014).

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

N kırınım tepe (pik) sayısını temsil ettiği yerde, $I(hkl)$ düzlemin (hkl) gözlemlenen göreceli yoğunluğu, $I_0(hkl)$ ise standart yoğunluktur. (111) ve (200) tercihli düzlem büyümeleri, önceki raporlarda olduğu gibi baskın tepe yoğunluğunu göstermektedir (Kumaravel 2010, Sankarasubramanian 2015). Tablo 4.1, Th doping miktarına bağlı olarak CdO filmleri için yapı katsayılarını içermektedir. CdO ince filmler rastgele yönlendirilmiş taneler içerdiğinden yapı katsayısı önemlidir. 1'e yakın yapı katsayısı değerleri rastgele yönelmiş tanelerin varlığını gösterir (Fang 2014). Görülmektedir ki, Th katkılama, yapı, pürüzlülük katsayı değerlerini kısmen değiştirmiştir. Özellikle (100) düzlemi boyunca pürüzlü CdO yüzeyinin baskın olduğu görülmektedir. İnce filmlerin yüzey dokusu, tane sınırının uyumsuzluğunu yansıtır. Bu, gözeneklilik ile ilişkilidir ve gaz algılama mekanizmasında önemli bir rol oynar (Kumar 2015).

Tablo 4.1. Th katkılı CdO ince filmlerin bazı yapısal parametreleri

Th %	2θ (°)	FWHM	hkl	I ₀	I _{hkl}	TC _{hkl}
0,3	33,35	0,270	111	20,0	21,71	3,350
	38,18	0,336	200	10,0	12,32	2,960
	55,60	0,350	220	20,0	7,91	2,096
	66,20	0,770	311	10,0	8,65	1,720
0,5	33,25	0,285	111	20,0	35,75	3,560
	38,28	0,360	200	10,0	16,47	2,700
	55,55	0,790	220	20,0	8,39	1,890
0,7	33,28	0,292	111	20,0	28,26	3,656
	38,22	0,388	200	10,0	14,29	2,896
	55,38	0,853	220	20,0	8,61	1,830

Yarı maksimumda tam genişlik (FWHM), tepe yoğunluğunu değerlendirmek için bir araç olarak kullanılır. FWHM değerleri, Th katkısının bir fonksiyonu olarak Tablo 4.1'de verilmektedir. FWHM, doping konsantrasyonu ile artan, baskın pikler olan (111) ve (200) düzlemleri için daha küçük değerler alıyor. Parçacıkların kristal boyutunu (D) bulmak için kullanılan Scherrer denklemi aşağıda verilmiştir (Ghosh 2004):

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta_{FWHM} \cos\theta} \quad 4.2$$

Burada, 0.94 korelasyon katsayısı kullanılmıştır. λ ve θ , sırasıyla Bragg açısını ve gelen x-ışını dalga boyunu (1.5406 Å) temsil eder. Tablo 4.2'de, kristal düzlemi (200) için nm ölçekli kristal boyutunun artan Th konsantrasyonu ile azaldığı görülmektedir. Gözlenen

örnek, Sr-katkılı CdO ile ilgili önceki raporun aksinedir (Kabir 2021). Th ile XRD piklerinin azalan doğası, azalan kristal boyutundan kaynaklanmaktadır (Ganesh 2021).

Kristal sınırlarındaki değişimin de kristal boyutu üzerine etkisi vardır. İlaveten, dislokasyon yoğunluğu (δ) ve gerinim (ϵ) (c eksenini boyunca kristal boyutu dikkate alınarak) diğer yapısal parametrelerden bazılarıdır ve aşağıdaki gibi verilir (Kabir 2018).

Tablo 4.2. Th katkılı CdO ince filmler için bazı optik ve yapısal parametreler

CdO	Th (%0,3)	Th (%0,5)	Th(%0,7)
E_u (meV)	346	243	356
E_g (eV)	2,33	2,37	2,36
d_{hkl} (111)	2,711	2,712	2,710
Kristal boyutu (D) (nm)	92,20	82,60	85,40
Örgü sabiti($^{\circ}$ A)	4,702	4,712	4,688
Dislokasyon yoğunluğu (δ) $\times 10^{14}$ lines/m ²	5,082	5,677	6,708
Strain (ϵ) $\times 10^{-2}$	8,158	8,623	9,373
E_o (eV)	2,721	2,799	2,962
E_d (eV)	4,575	3,854	3,399

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

$$\epsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad 4.4$$

Tablo 4.2'de verilen değerler, (111) kristal düzlemi için verilmiştir. Dislokasyon yoğunluğu (δ), Kabir ve ark. (2021) tarafından spray pyrolysis metodu ile sentezlenen stronsiyum (Sr) katkılı kadmiyum oksit (SCO) ince filmler için 10^{15} lines/m²

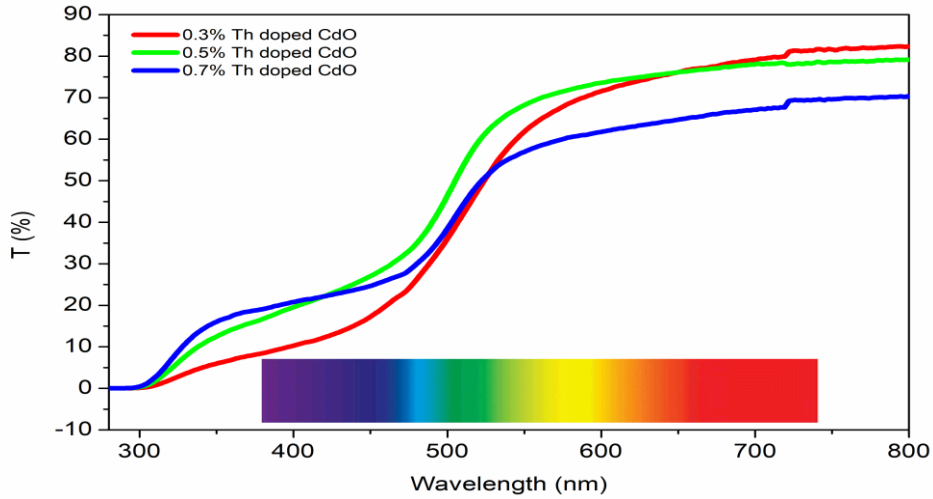
mertebeğinde elde edilirken mevcut çalışmada bu değer, 10^{14} lines/m² mertebesinde dir. Artan Th katkı konsantrasyonu ile hem δ hem de ε değerleri artmaktadır. Küçük dislokasyon yoğunluğu, filmin kristal kalitesi veya yüksek kristallik derecesi ile ilişkilidir.

Kübik yapı lı CdO için örgü (latis) sabiti (a), aşağıdaki gibi verilir (Clegg 2009):

$$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad 4.5$$

Tercihli (200) yönelimli pik için 400 °C tavl anmış numunelerin örgü sabiti değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Elde edilen değerler, CdO'nun (4.69 Å) standart örgü sabiti değerine çok yakın olarak bulundu. Deneysel sonuçlardan, Th katkısının ve değış en miktarının örgü sabiti üzerinde bir etkisi oldu ğ u da çıkarılabilir.

Ş ekil 4.4, 280-800 nm dalga boyu aralığında %0,3, %0,5 ve %0,7 Th katkı lı CdO ince filmler için optik geçirgenlik ölçümlerini göstermektedir. Geçirgenlik yaklaşık 300 nm'de artarken, dalgalı bir eğ ilim göstermekte, artan dalga boyu ile 480 nm civarında tekrar artmaktadır. Daha uzun dalga boylarında ise önemli ölçüde değ işmemiştir. %0,3 Th katkı lı CdO ince filmlerin geçirgenliğ inin görünür bölge sınırına kadar UV bölgesinde en düşük oldu ğ u ve artan Th katkısı ile geçirgenliğ in arttığı görülmektedir. Bunla birlikte %0,5 Th katkı lı CdO ince filmler 420-650 nm dalga boyu aralığında en yüksek geçirgenliğ i veriyor. Literatürde CdO ince filmlerin geçirgenliğ inin artan katkı elementi miktarı ile azaldığı na dair raporlar bulunmaktadır (Helen 2016, Ganesh 2021). Oksijen boşluklarının veya Cd⁺² iyonlarının yerini alabilen S⁻² iyonlarının etkisi düşünülebilir. Artan doping nedeniyle geçirgenlikteki azalmanın saçılma ile ilgili olmadığını belirtmek önemlidir.

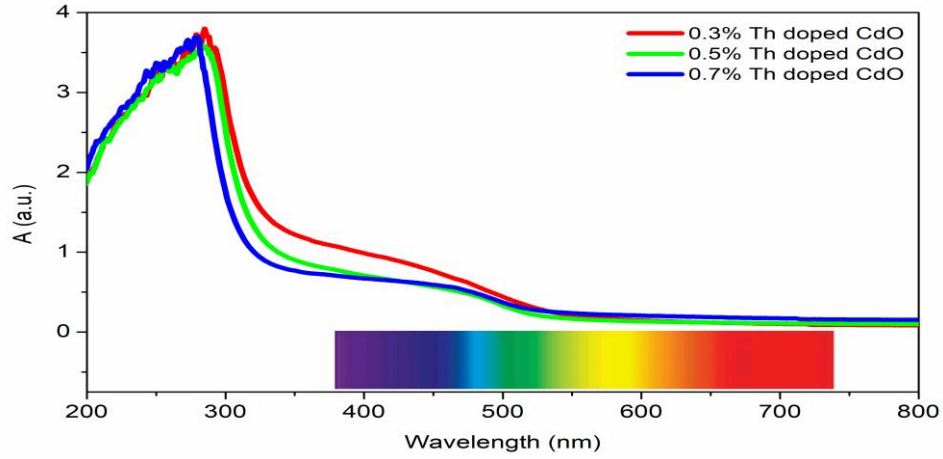


Şekil 4.4. Th:CdO ince filmlerin geçirgenlik spektrumları

Şekil 4.5, Th:CdO ince filmlerin soğurma (absorpsiyon) spektrumlarını göstermektedir. Doping konsantrasyonu arttıkça absorpsiyon kenarının azaldığı görülmektedir. Spektrum, biri yaklaşık 300 nm'de ve diğeri yaklaşık 500 nm'de iki farklı absorpsiyon süresizliği (absorpsiyon kenarı) gösterir. Görünür bölge spektrumunda absorpsiyon hemen hemen sabit iken, UV bölgesinde bir yumru ile başlayan artış, dalga boyu azaldıkça zirveye ulaşıyor. Ganesh ve ark. (2021) tarafından hazırlanan İndiyum katkılı kadmiyum oksit ince filmlerin optik özelliklerini incelendiği çalışmada da benzer davranış gözlenmiştir. Optik bant aralığını (E_g) elde etmek için Tauc tekniği kullanılabilir (Tauc 1969):

$$\alpha h\nu = B_{op}(h\nu - E_g)^n \quad 4.6$$

burada α absorpsiyon katsayısı, B_{op} sabit bir katsayıdır, n , optik geçişin karakteriyle ilişkili bir üs (indeks) ve $h\nu$ foton enerjisidir. Bu indeks sırasıyla 1/2, 3/2, 2 ve 3 olarak izinli doğrudan, yasaklı doğrudan, izinli dolaylı, yasak dolaylı geçiş ile ilgilidir. Doğrudan geçişli bant aralığına sahip CdO için n değeri 1/2 olarak verilir.



Şekil 4.5. Th:CdO ince filmlerin soğurma spektrumları

Şekil 4.6, $h\nu$ 'ye karşılık $(\alpha h\nu)^2$ değişimini gösterir. Optik bant aralığının değeri, yaklaşık 0,05 eV hassasiyete karşılık gelen düz çizgi bölümünün ekstrapolasyonu kullanılarak belirlenir (Tablo 4.2). Elde edilen bant aralığı değerleri standart E_g (CdO) (2.2–2.6 eV) aralığında bulundu (Zhao 2002, Dakhel 2019). CdO ince filmin bant aralığının, Th doping seviyesi arttıkça maviye kaydığı görüldü (bant aralığı genişlemesi-BGW). Bu, Th'nin %0,3'ten %0,7'ye değişen dopinginde Burstein-Moss (BM) bant aralığının genişlemesine bağlanmaktadır (Ahmed 2018, Pankove 1975). Bant aralığındaki değişiklik, Th katkılı CdO nanoyapılarında Sülfür içeriğinin varlığından kaynaklanan daha fazla O-boşluğu nedeniyledir. Moss-Burstein BGW, taşıyıcı konsantrasyonunun değişmesinden kaynaklanabilir. Bant aralığı değişimi, taşıyıcıdan fenomenolojik olarak etkilenmiştir. İletim elektronlarından (N_{el}) oluşan bir yarı iletken için bant aralığı aşağıdaki denklem (Pankove 1975) ile verilir:

$$E_g = E_g^{int} + S_{BGW} N_{el}^{2/3} \quad 4.7$$

ΔE_g^{BM} , bant aralığı genişlemesi (BGW) ile ilgilidir (Kawamura 2003).

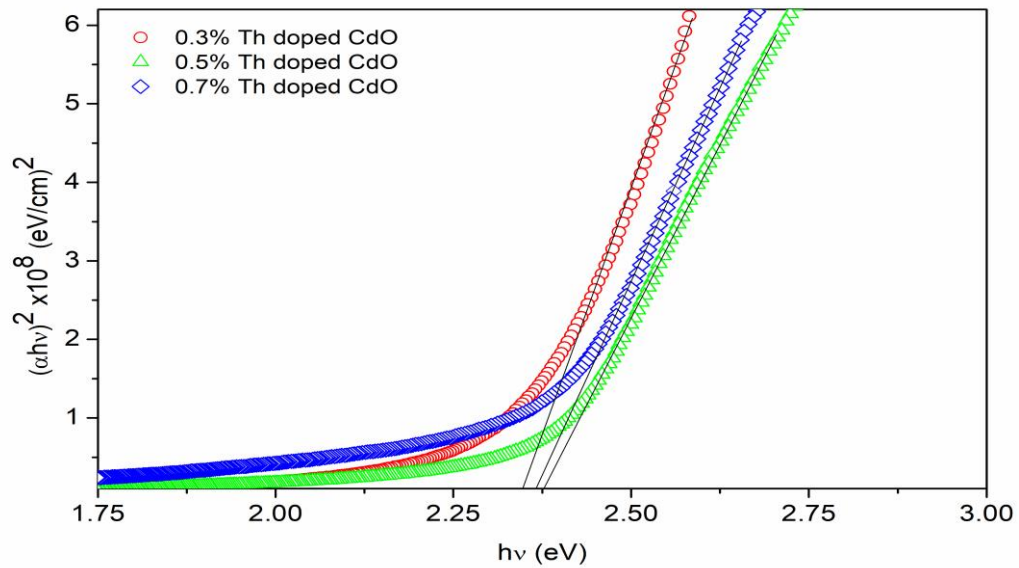
$$\Delta E_g^{BM} = S_{BGW} N_{el}^{2/3} \quad 4.8$$

$$S_{BGW} = \left(\frac{\hbar^2}{2\gamma m_e} \right) (3\pi^2)^{2/3} \quad 4.9$$

Burada γ , oran olarak m_{vc}^*/m_e ye eşittir. m_{vc}^* indirgenmiş etkin kütle ve m_e serbest elektron kütlesidir.

$$\frac{1}{m_{vc}^*} = \frac{1}{m_v^*} + \frac{1}{m_c^*} \quad 4.10$$

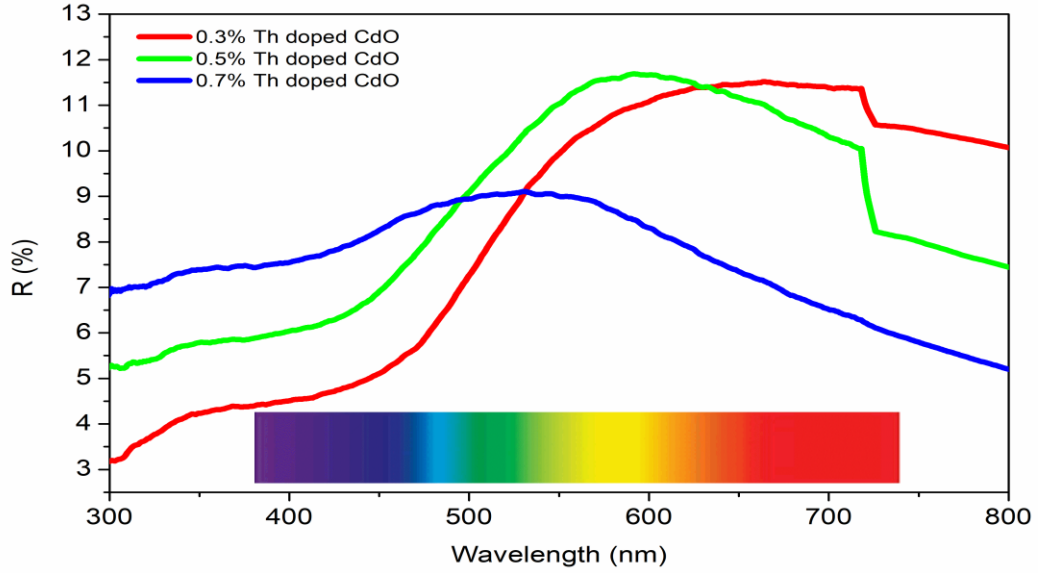
m_c^* iletgenlik bandı etkin kütlesi ve m_v^* değerlik bandı etkin kütlesidir ve 0,274 m_e 'ye eşittir (Robertson 2010). Optoelektronik fonksiyon olarak E_g^{int} , Cd-Cd ve e-örgü etkileşimlerinden kaynaklanan içsel bant aralığıdır (2.1 eV) (Robertson 2010). CdO için SBGW= $1,348 \times 10^{-18} \text{ eVm}^2$ (Dakhel 2011). Th dopinginin ağırlıkça %0,3 ve %0,7'si için taşıyıcı konsantrasyonlarının sırasıyla 1×10^{20} ve $2,3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ olduğu tahmin edilmiştir. Th dopingi arttıkça taşıyıcı konsantrasyonunun arttığı görülmektedir.



Şekil 4.6. $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ eğrileri

Şekil 4.7, cam altlıklar üzerinde oluşturulan çeşitli Th katkı konsantrasyonlarına (%0,3, %0,5, %0,7) sahip Th:CdO ince filmlerin yansıma özelliklerini göstermektedir.

Görünür bölgede Th katkı konsantrasyonu arttıkça yansımının arttığı, ancak bu durumun yaklaşık 500 nm'den sonra tersine döndüğü ve IR bölgesinde artan Th katkı konsantrasyonu ile azaldığı görülmektedir.

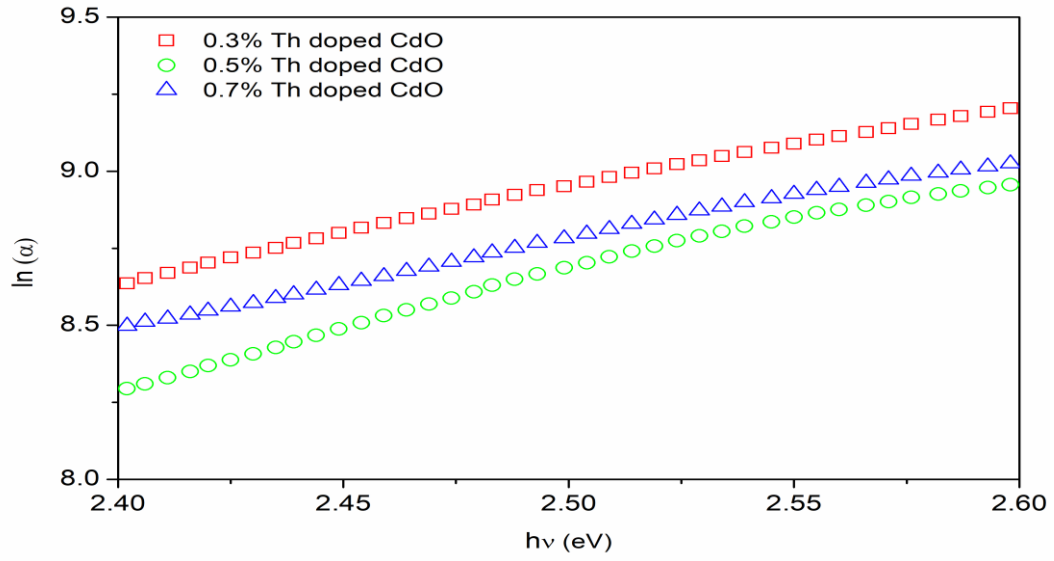


Şekil 4.7. Th:CdO ince filmlerin yansımaya spektrumları

Üstel (exponential) kenar bölgesi, Urbach-Martienssen kuralı ile karakterize edilir:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{E}{E_u}\right) \quad 4.11$$

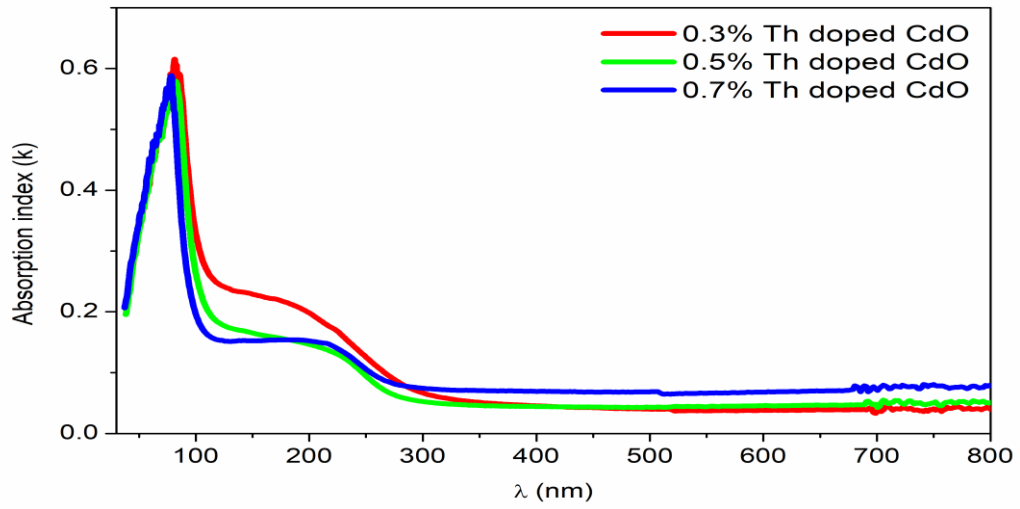
burada E_u ve α_0 sırasıyla, Urbach enerjisi ve bir sabittir. Şekil 4.8 ise Th (%0,3, %0,5, %0,7) ile katkılanan CdO ince filmler için foton enerjisine ($h\nu$) karşı $\ln(\alpha)$ grafiğini göstermektedir. Elde edilen değerler Tablo 4.2'de verilmiştir. Absorpsiyon, üstel kuyruktaki lokalize-genişletilmiş hal geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Urbach enerjisi, CdO ince filmlerde Th içeriği arttıkça azalıyor ve sonra artıyor.



Şekil 4.8. Filmler için $\log\alpha$ 'nın foton enerjisi $h\nu$ 'ye bağılılığı

Şekil 4.9, Th katkılı CdO ince filmler için soğurma indisi veya sönme katsayısının (k) dalga boyuna (λ) karşı değişimini gösteriyor. Soğurma indisi aşağıdaki bağıntıyla verilir:

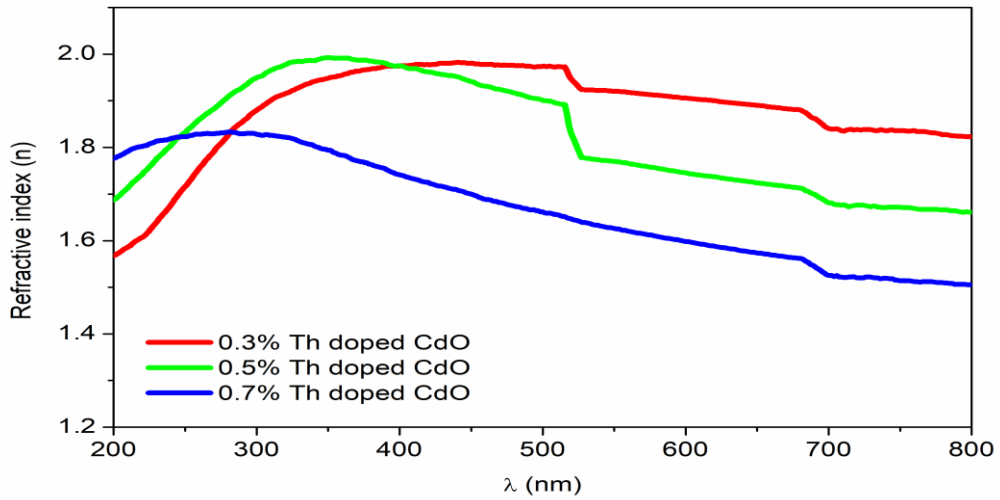
$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad 4.12$$



Şekil 4.9. Soğurma indisinin dalga boyuna karşı değişimi

Görüldüğü gibi absorpsiyon indisi (soğurma katsayısı) absorpsiyon grafiğine benzer bir karakter göstermektedir. Absorpsiyon indisi ayrıca Th katkı konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiştir.

Şekil 4.10, Th katkılı CdO ince filmler için kırılma indisi (n) ile dalga boyu (λ) arasındaki grafikleri göstermektedir.



Şekil 4.10. Th:CdO ince filmler için kırılma indisi

Eksiton katsayısı (k), kompleks kırılma indisinin (n) sanal kısmını oluşturur:

$$n^*(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda) \quad 4.13$$

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad 4.14$$

$$n = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad 4.15$$

Kırılma indisi aynı zamanda yansıma eğrileri gibi davranır ve özellikler konsantrasyona bağlı olarak değişir. Ayrıca, kırılma indisi dalga boyu arttıkça önce artıyor, sonra azalıyor. Özellikle azalma bölgesi normal dağılım, artış bölgesi ise anormal dağılım

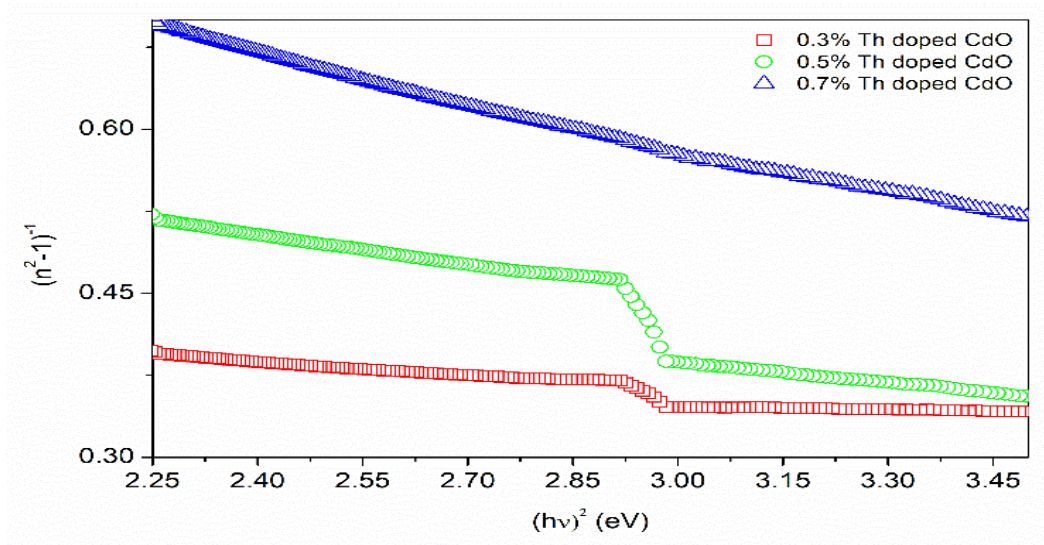
bölgesi olarak bilinir (Rajashree 2014). 600 nm'de 1,90, 1,74 ve 1.60 (%0,3, 0,5, 0,7'de) olarak elde edilen kırılma indisi değerleri, In:CdO numuneleri için elde edilen değerlerden daha küçüktür (Kose 2009). Yansıma sonrası değişen polarizasyon ve katkılı filmlerin kalınlığındaki değişiklik kırılma indisi üzerinde etkili olmuştur.

Dağılım, tek osilatör modeli (Wemple 1971) dikkate alınarak verilmiştir:

$$n^2 - 1 = \frac{E_d E_0}{E_0^2 - (h\nu)^2} \quad 4.16$$

E_d , osilatörden kaynaklanan dispersiyon enerjisidir ve banttan banda elektronik geçişleri temsil eder, E_0 osilatörün enerjisidir.

Th:CdO ince filmler için $1/(n^2-1)$ ile $(h\nu)^2$ 'nin değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Th:CdO ince filmler için $1/(n^2-1)$ - λ varyasyonu

E_0 ve E_d değerleri düz çizgi bölgesinden belirlenir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi, CdO ince filmlerinin dispersiyon enerjisi ve uyarma (excitation) değerleri Th'nin katkılanması ile değişmekte ancak belirli bir eğilim göstermemektedir. Benzer bir çalışma Bor katkılı CdO ince filmler için yapılmıştır. Bor dopingi ile dispersiyon enerjisi arasında bir ilişki bulunmuştur (Yakuphanoglu 2011).

Ayrıca, statik kırılma indisi (n_0) E_d 'ye E_0 'ın oranı (E_d/E_0) olarak belirlenebilir ve aşağıdaki gibi verilir:

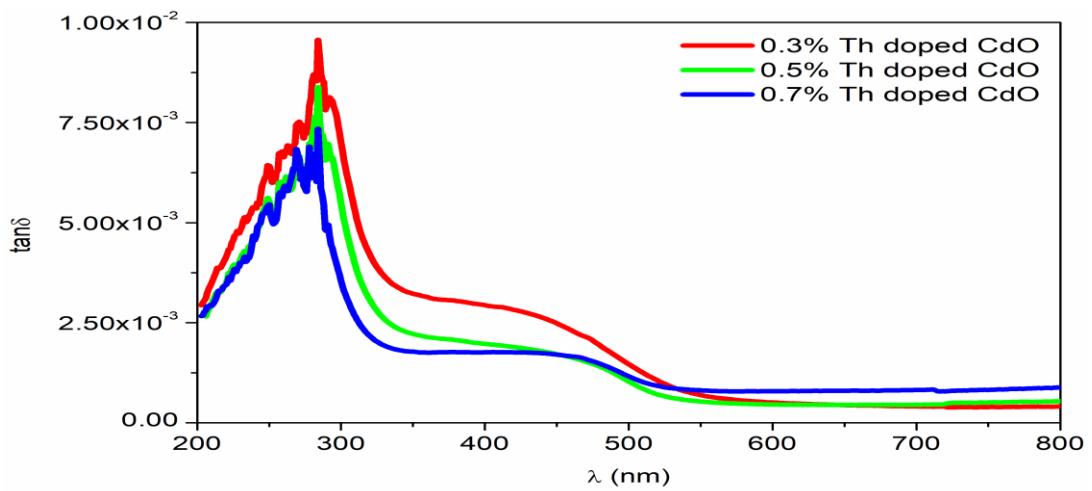
$$n_0 = \sqrt{1 + \frac{E_d}{E_0}} \quad 4.17$$

Statik kırılma indeksi değerleri sırasıyla 1,63 ve 1,54 ve 1,46 (%0,3, 0,5, 0,7) olarak bulunmuştur. Ayrıca, statik dielektrik sabiti $\epsilon_s = n^2(0)$ şeklinde ifade edilerek belirlenebilir.

Toplam güç kaybı olarak iki bileşen, yüzey ve hacim (bulk) enerjisi dielektrik boyunca değişir. Dielektrik materyaller, kompleks dielektrik sabitine bağlı (ϵ) gerçek (ϵ_1) ve sanal (ϵ_2) kısımlar ile karakterize edilen bir kayıp faktörü (dissipation factor, $\tan\delta$) içermektedir (Sakr 2010).

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad 4.18$$

düşük kayıp faktörüne sahip dielektrik yüksek enerji verimliliğinde güç kayıplarını en aza indirmek için gereklidir. Şekil 4.12, $\tan\delta$ ile λ arasındaki değişimi göstermektedir. Doping Th arttıkça kayıp faktörü azalmıştır.



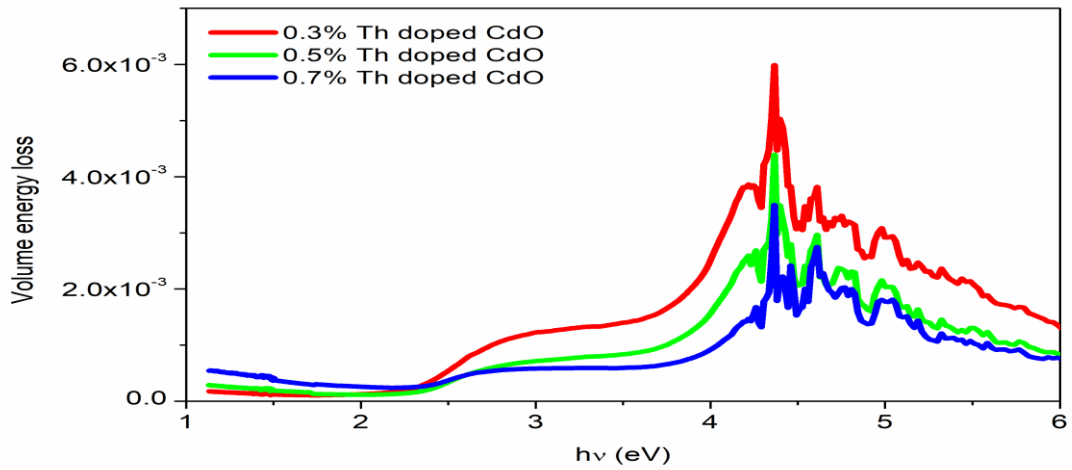
Şekil 4.12. Kayıp faktörünün($\tan\delta$) dalga boyuna bağlılığı

Hacim ve yüzey enerji kaybı fonksiyonları (BELF ve SELF) aşağıdaki gibi verilir (Ashrafi 2011):

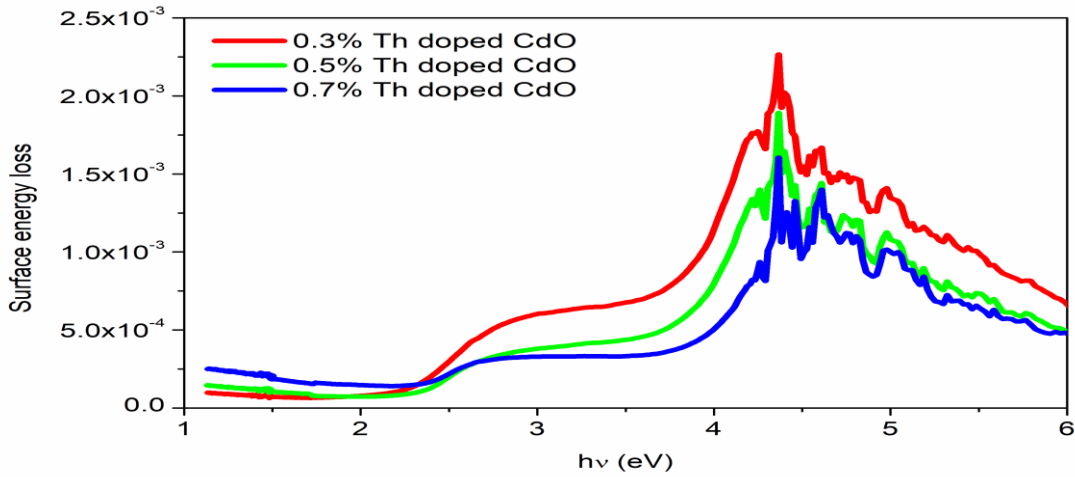
$$-\text{Im}\left[\frac{1}{\varepsilon^*}\right] = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2} \quad 4.19$$

$$-\text{Im}\left[\frac{1}{\varepsilon^* + 1}\right] = \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 1)^2 + \varepsilon_2^2} \quad 4.20$$

Şekil 4.13a-b, BELF ve SELF ile $h\nu$ 'nün değişimini göstermektedir. Gövde ve yüzeyde uyarılacak elektronların olasılığı REELS analizinde karakterize edilir. Artan Th konsantrasyonu ile enerji kayıplarının azaldığı görülmektedir.

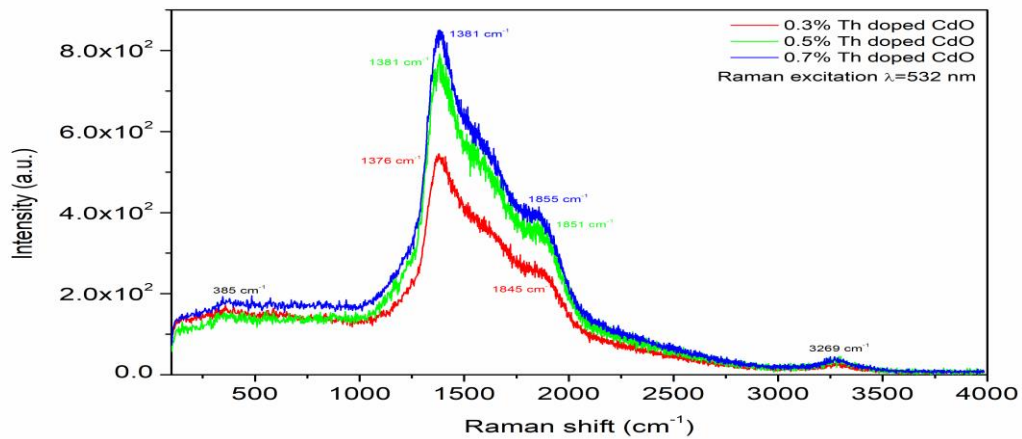


Şekil 4.13a. Hacim enerji kaybı



Şekil 4.13b. Filmler için $h\nu$ 'nün fonksiyonu olarak yüzey enerji kaybı

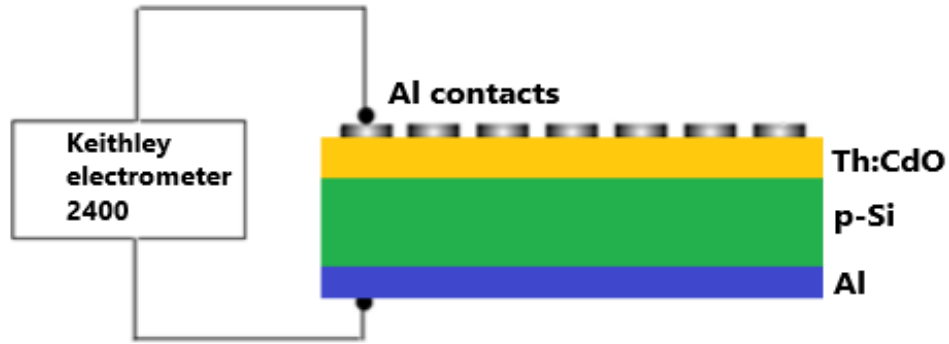
Titreşim modlarının analizi, taşıma özellikleri ve faz oryantasyonu ile ilişkilidir. Şekil 4.14, CdO ince filmlerinin Raman spektrumlarını göstermektedir. Geri saçılma geometrisine sahip veriler, 532 nm dalga boyu uyarılmasını içerir. Raman spektroskopisi, 100 ila 4000 dalga sayısı aralığında aktive edilmiştir. Piklerin konumu ve şekli, üç örnek için hemen hemen değişmezken, Th'nin artmasıyla pik (peak) maksimumları artıyor. 385 cm^{-1} 'de zayıf pik gözlenir. Başlıca Raman pikleri, 291 ila 1000 dalga sayısı aralığında CdO'nun enine optik (TO) ve boyuna optik (LO) modlarına karşılık gelmektedir (Ashrafi 2011, Cusco 2010). Daha yoğun bant $\sim 1381 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülmektedir. Ayrıca, tepe noktaları sırasıyla, 1850 cm^{-1} ve 3269 cm^{-1} 'de merkezlenmiştir. Piklerin, literatüre kıyasla daha büyük dalga boylarında merkezleneceği görülmektedir (Güney 2019, Thema 2015). İlave pikler, Th ve yüzey etkisinden kaynaklanan iç gerilime atfedilebilen titreşim modlarıyla ilgili olabilir.



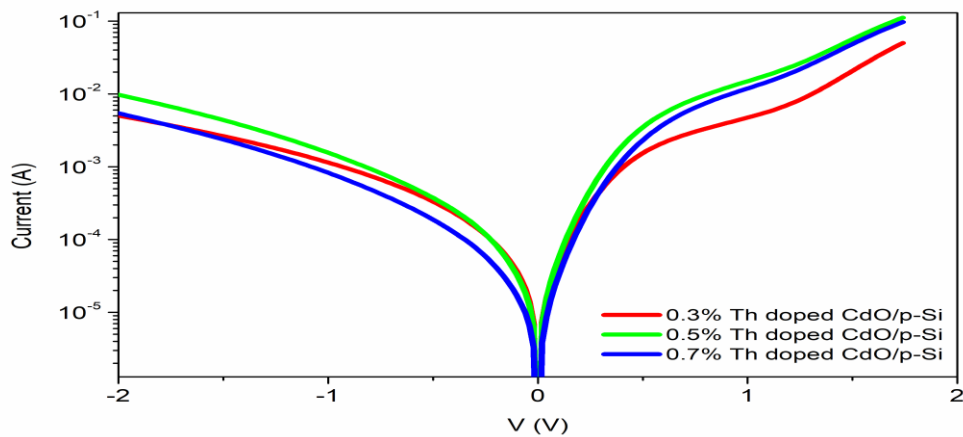
Şekil 4.14. Th:CdO ince filmlerin Raman spektrumları

3.2. Th:CdO/p-Si Heteroeklem Diyotların Akım-Voltaj ($I-V$) Karakteristikleri

Şekil 4.15, Th:CdO/p-Si heteroekleminin şematik konfigürasyonunu göstermektedir. Heteroeklem yapısına uygulanan gerilim ± 2 V'tur. Şekil 4.16, uygulanan voltajın bir sonucu olarak elde edilen akım-voltaj ($I-V$) karakteristiklerini göstermektedir. Görüldüğü gibi, heteroeklem, karanlık durumda düşük bir doğrultma oranı sergilemektedir. CdO'daki artan Th içeriği ile doğrultucu doğası artmaktadır. Eklemde CdO ve p-Si arasında bir engel olduğu düşünülmektedir. CdO'nun p-Si ile uygun Fermi seviyesine sahip olduğu düşünülür. CdO yük transferi için uygun bir tabaka olarak sunulur. Ters doyma (saturation) akımında doygunluk görülüyor. Th:CdO/p-Si diyotların aydınlatmaya karşı fotovoltajik tepkisi kısmen düşük bulunmuştur.



Şekil 4.15. Th:CdO/p-Si heteroeklemin şematik konfigürasyonu



Şekil 4.16. Th:CdO/p-Si heteroeklemlerinin $I-V$ eğrileri

Heteroeklemin iletim mekanizması, Termiyonik Emisyon Teorisi (TET) ile tanımlanır (Murali 2001):

$$J = J_0 \exp\left(\frac{q(V - JR_s A)}{nkT}\right) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{q(V - JR_s A)}{kT}\right) \right\} \quad 4.21$$

burada A, A*, k, q, n, T ve Rs önceki çalışmalarda da karakterize edildiği gibi iyi bilinen anlamlara sahiptir (Soylu 2014). $V - JR_s A$, heteroeklem (voltaj düşüşü) boyunca elektriksel potansiyel kaybıdır. J_0 , doyma akımı yoğunluğudur ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad 4.22$$

Th katkılı CdO/p-Si heteroeklemlili diyotlar için I_0 değerleri, başlangıçta azalan, daha sonra artan Th katkısıyla artan 10^{-6} A (Tablo 4.3) mertebesindedir.

Tablo 4.3. Heteroeklemlerin bazı diyot parametreleri

CdO	Th (% 0,3)	Th (%0,5)	Th (%0,7)
Φ (eV) (I-V)	0,64	0,63	0,64
(n)	1,43	1,44	1,45
Φ (eV) (Norde)	0,71	0,68	0,68
R_s (ohm)	1897,28	473,75	614,62
I_0 (A)x10 ⁻⁶	1,30	1,75	1,05

Diyotun doyma akımı akışı, Th katkısıyla değişiyor. Engel yüksekliği (ϕ_b , BH) ve idealite faktörü (n) aşağıdaki denklemlerle ifade edilir:

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{A^* T^2}{J_0} \right) \quad 4.23$$

$$n = \frac{q}{kT} \left[\frac{dV}{d \ln(J)} \right] \quad 4.24$$

Bu ϕ_b ve n, sırasıyla $\log I - V$ grafiğinin düz çizgi bölgesinin kesişme noktasından ve eğiminden bulunur. Karanlık koşullarda Th katkılı CdO ince filmlere dayalı Si diyotlar için değerleri sırasıyla 0,64 eV, 0,63 eV ve 0,64 eV olarak belirlendi (%0,3, %0,5, %0,7). Ayrıca Th katkısı arttıkça idealite faktörünün de arttığı görülmektedir. İdeal faktör (>1), diğer mevcut taşıma mekanizmalarının varlığına atfedilir (Card 1971). Belirlenen değerler, ileri eğilim $I-V$ eğrilerinin belirli bir (doğrusal) bölgesinden elde edildi. Bununla birlikte, Norde tüm düz beslem $I-V$ verilerini hesaba katan verilerden diyot parametrelerinin bulunmasına izin veren bir yöntem önerdi (Norde 1979):

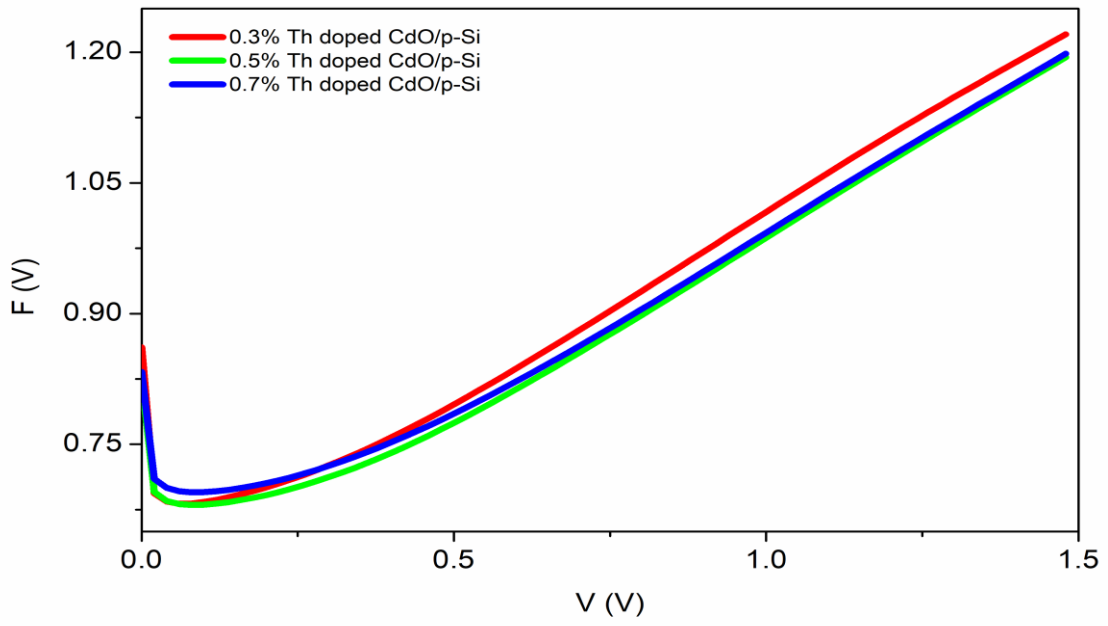
$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I(V)}{AA^* T^2} \right) \quad 4.25$$

Seri direncin (R_s) bulunmasını sağlayan Norde fonksiyonu aşağıdaki gibi yeniden yazılır:

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad 4.26$$

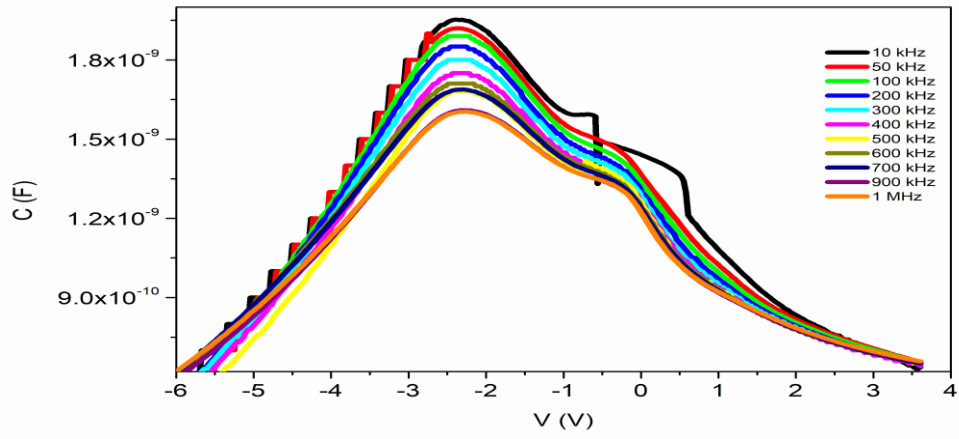
$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_0} \quad 4.27$$

Şekil 4.17, $F(V)-V$ eğrilerini göstermektedir. Sonuçlar, çizimin minimumuna karşılık gelen ve Tablo 4.3'te verilen noktalar kullanılarak belirlenir. %0,3 Th:CdO ince film tabakaya sahip Al/p-Si heteroeklemi için R_s değeri diğerlerine kıyasla daha yüksektir.

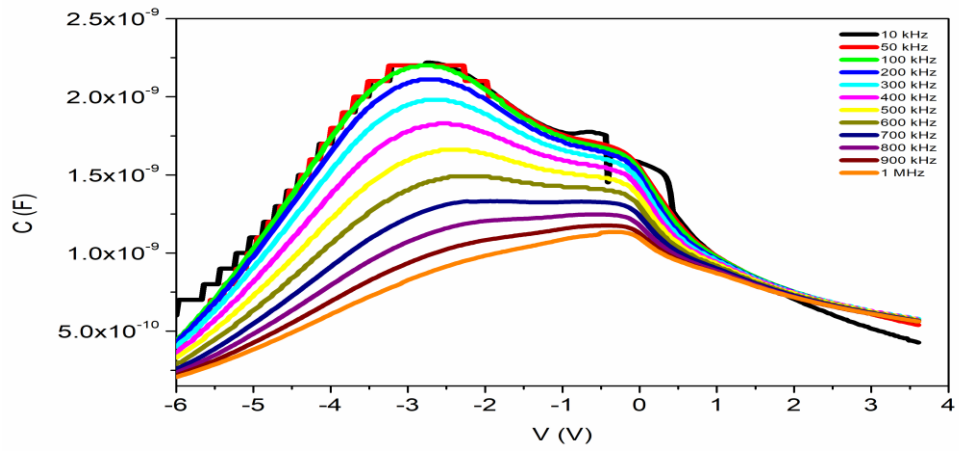


Şekil 4.17. Th:CdO/p-Si heteroeklemler için $F(V)$ - V eğrileri

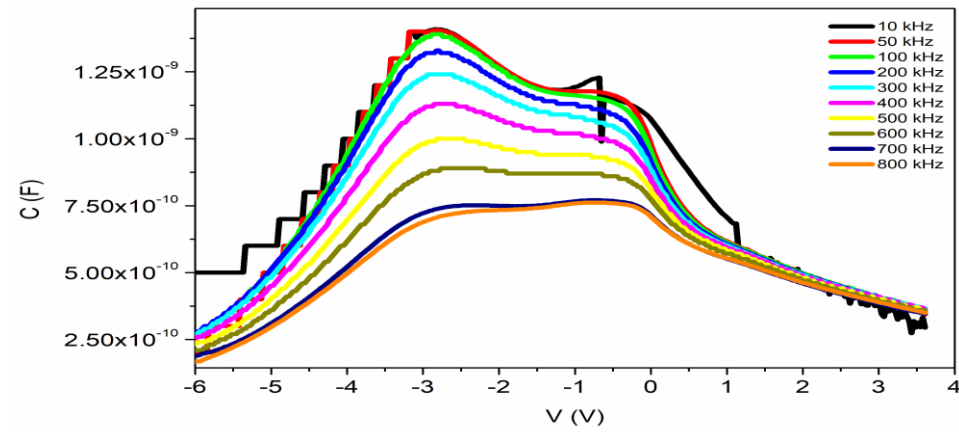
Şekil 4.18a-c'de görüldüğü gibi düz beslem bölgesinde kapasitans herhangi bir değişiklik göstermezken, ters beslem bölgesinde artan frekansla azalmaktadır. Bu, alternatif akımı (a.c.) izleyemeyen arayüzey durumlarının varlığına atfedilmiştir. Th katkılamanın kapasitans değerlerini kısmen etkilediği görülmüştür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.18a-c. Th:CdO/p-Si heteroeklem diyotların kapasite-voltaj eğrileri (C-V):
 (a) %0,3 (b) %0,5 (c) %0,7

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı Th-doping içeriklerine sahip CdO ince filmler, cam ve p-Si (100) substratlar üzerine basit ve uygun maliyetli bir sol-jel spin kaplama yöntemi ile elde edilebilir. AFM sonuçları, %0.5 Th katkılı CdO numunesi için yüzeyin pürüzlülüğü nm mertebesinde olan nano-kümelere oluştuğunu göstermektedir. SEM (EDX) sonuçları, tiyoürede kükürt (S) elementinin ve CdO'da Cd/O'nun varlığını doğrular. XRD sonuçları, tepeler (111) ve (200) ile baskın tercihli oryantasyona karşılık gelirken, doping Th'nin kristal karakter üzerinde hiçbir etkisi yoktur, bazı yapısal parametreleri etkiler. Artan Th katkısı, optik bant aralığını artırır. Th:CdO/p-Si heteroeklem, karanlık durumda düşük doğrultma oranı da dahil olmak üzere doğrultma özelliği sergiler. Ancak Th:CdO/p-Si diyotlarının aydınlatmaya tepki vermediği görülmektedir. Tüm cihazlar, Th katkısından kısmen etkilenen nF sırasına göre voltaj ve frekansa bağlı olarak değişen göreceli kapasitans gösterir.

Öneriler: Th için optimum oranın belirlenebilmesi için farklı ağırlıkta (%0.7-0,9, 1, 3, 5, 7,10 vs.) katkı miktarları ile bir çalışma yürütülebilir. Ayrıca, çözelti molaritesi için de optimum bir oran için deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

Sevik A, Coskun B, Soylu M (2020) The effect of molar ratio on the photo-generated charge activity of ZnO–CdO composites. *Eur. Phys. J. Plus* 135 - 65

Bera A, Saha B (2016) Dispersion in impedance spectra of isotype CdO–ZnO thin film heterostructure on applied dc bias. *Surface Review and Letters* 23 – 1650062

Akyuzlu AM, Dagdelen F, Gultek A, Hendi AA, Yakuphanoglu F (2017) EPJ Plus your physics journal Electrical characterization of ZnO/NiO p-n junction prepared by the sol-gel method Electrical characterization of ZnO/NiO p-n junction prepared by the sol-gel method. *Eur. Phys. J. Plus* 132 - 178

Dakhel AA (2019) Impact of Silicon Doping on the Properties of Transparent Conducting CdO Thin Films. *Silicon* 11: 525–532

Dakhel AA (2017) Improving carrier mobility with vanadium doping of transparent conducting CdO. *Microelectronics Reliability* 79 - 276

Ashraf AA (2015) Recent progress in cadmium oxide thin films. *Reserarchgate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3726.2881>

Dakhel AA, Hamad H (2019) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. *Journal of Electronic Materials* 8 - 4293

Murali A, Barve A, Leppert VJ, Risbud SH, Kennedy IM, Lee HWH (2001) Synthesis and Characterization of Indium Oxide Nanoparticles *Nano Letters* 1(6): 287–289

Mostafa AM, Mwafy EA (2020) Laser-assisted for preparation Ag/CdO nanocomposite thin film: Structural and optical study. *Optical Materials*: 107: 110124 DOI: 10.1016/j.optmat.2020.110124

Ashrafi A, Ostrikov K (2011) Low-temperature synthesis of graphene on nickel foil by microwave plasma chemical vapor deposition. *Appl. Phys. Lett.* 98 (33119): 1-3

Dakhel AA (2011) Effect of thermal annealing in different gas atmospheres on the structural, optical, and electrical properties of Li-doped CdO nanocrystalline films. *Solid State Sciences* 13: 1000-1005

Sahin B, Aydin R (2018) Silar derived CdO films: effect of triethanolamine on the surface morphology and optical bandgap energy. *Phys. B Condens. Matter* 541: 95–102

Saha B, Das S, Chattopadhyay KK (2007) Electrical and optical properties of Al doped cadmium oxide thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering. *Sol Energy Mater Sol Cells* 91: 1692–1697

Geng BY, Wang GZ, Jiang Z, Xie T, Sun SH, Meng GW, Zhang LD (2003) Synthesis and optical properties of S-doped ZnO nanowires. *Appl. Phys. Lett.* 82: 4791–4793

Benhaoua B, Rahel A, Benramache S (2014) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. *Superlatt. Microstruct.* 68 – 38

Coskun B, Mensah-Darkwa K, Soylu M (2018) Hidrotermal metod ile nano yarıiletken malzeme esaslı fotodiyot üretimi ve özelliklerinin araştırılması. *Thin Solid Films*: 653: 236-248

Balachandar BK, Logu T, Hari Ramprasath R, Sankarasubramanian K, Soundarrajan P, Sridharan M, Ramamurthi K, Sethuraman K (2020) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. *Materials Science in Semiconductor Processing* 105 - 104753

Rajashree C, Balu AR, Nagarethinam VS (2014) Substrate Temperature effect on the Physical properties of Spray deposited Lead sulfide Thin Films suitable for Solar control coatings. *International J. ChemTech Res.* 6: 974–4290

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

Carballeda-Galicia DM, Castanedo-Perez R, Jimenez-Sandoval O, Jimenez-Sandoval S, Torres-Delgado G, Zuniga-Romero CI (2000) High transmittance CdO thin films obtained by the sol-gel method. *Thin Solid Films* 371: 105–108

Yakuphanoglu F, Caglar M, Caglar Y, Ilican S (2010) Electrical characterization of nanocluster n-CdO/pSi heterojunction diode. *J. Alloys Compd.* 506 - 188

Thema FT, Beukes P, Gurib-Fakim A, Maaza M (2015) Green synthesis of Montepelite CdO nanoparticles by *Agathosma betulina* natural extract. *Journal of Alloys and Compounds* 646 : 1043-1048

Yakuphanoglu F (2011) Synthesis and electro-optic properties of nanosized-boron doped cadmium oxide thin films for solar cell applications. *Solar Energy* 85: 2704–2709

Shen G, Cho JH, Yoo JK, Yi GC, Lee CJ (2005) Synthesis and Optical Properties of S-Doped ZnO Nanostructures: Nanonails and Nanowires. *Phys. Chem. B* 109: 5491-5496

Shanmugavel G ,Balu AR ,Nagarethinam, ,Ravishankar S ,Suganya M , Balamurugan S ,Usharani, ,Kayathiri C ,Karthika M.(2019) CdO:Ag thin films with enhanced visible light photocatalytic activity against metanil yellow. *View Web of Science ResearcherID and Orcid sn Applied Sciences: 1: 10: 1203 DOI: 10.1007/ 42452-019-1237-2*

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. *J. Alloys Compd.* 507 - 557

Gozeh, Bestoon A, Karabulut A, Yildiz A (2019-2020) Sıkar Controlled CdS Nanoparticles Sensitized CdO Diode Based Photodetectors. *Silicon: 12: 7: 1673-1681*

Guney H (2019) The structural, morphological, optical and electrical properties of Pb doped CdO thin films grown by spray method. *Vacuum: 159: 261-268*

Norde H (1979) A modified forward *I-V* plot for Schottky diodes with high series resistance. *J. Appl. Phys.* 50: 5052-5053

Card HC, Rhoderick EH (1971) *Journal of Physics D: Applied Physics* Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *J. Phys. D4: 1589-1601*

Güney H, İskenderoğlu D (2019) The effect of Zn doping on CdO thin films grown by Sıkar method at room temperature. *Physica B: Condensed Matter* 552: 119–123. *Material Research Express: 6: 2: 026423*

Ismail W, Bakry M, Elshobaki M, El-Shaer A (2021) Impact of precursor concentrations and substrate type on properties of electrodeposited CdO nanorod thin films for optoelectronic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*: 133 : 105959

Tascioglu I, Soylu M, Altindal S (2012) Effects of interface states and series resistance on electrical properties of Al/nanostructure CdO/p-GaAs diode. *Journal of Alloys and Compounds*: 541: 462-467

Robertson J, Falabretti B (2010) Electronic structure of transparent conducting oxides-springer. Ch, p. 2-32

Pankove JJ (1975) *Optical Processes in Semiconductors* (NY: Dover), p. 36

Tauc J, Abeles F (1969) *Optical Properties of Solids* (New York: North Holland)

Cho J, Lin Q, Yang S, Simmons JG, Cheng Y, Lin E ;et al (2011) Sulfur-doped zinc oxide (ZnO) Nanostars: Synthesis and simulation of growth mechanism. DOI 10.1007/s 12274-011-0180-3; CN 11-5974/O4

Jae-Seong Jeong, Yong-Huyn Kim, Chang-Kyun Park, Heon-Do Kim, Joongho Choi, (2016) *Microelectronics Reliability* 64 - 640

Usharani K, Raja N, Manjula N, Nagarethinam VS, Balu AR (2015) Characteristic analysis on the suitability of CdO thin films towards optical device applications – Substrate temperature effect. *Int. J. Thin Film Sci. Technol.* 4: 89–96

Murali KR, Kalaivanan A, Perumal S, Neelakanda Pillai N (2010) Sol–gel dip coated CdO:Al films. *J. Alloys Compd.* 503 350

Sankarasubramanian K, Soundarajan P, Sethuraman K, Ramamurth K (2015) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. *Materials Science in Semiconductor Processing* 40: 879–884

Sankarasubramanian K, Soundarajan P , Sethuraman K ,Ramamurthi K (2015) Chemical spray pyrolysis deposition of transparent and conducting Fe doped CdO thin films for ethanol sensor. *Materials Science in Semiconductor Processing* 40: 879-884

Kawamura K, Maekawa K, Yanagi H, Hirano M, Hosono H (2003) Observation of carrier dynamics in CdO thin films by excitation with femtosecond laser pulse. *Thin Solid Films* 445 – 182

Mohanraj K, Balasubramanian D, Chandrasekaran J (2019) Synthesis and characterization of ruthenium-doped CdO nanoparticle and its n-RuCdO/p-Si junction diode application. View Web of Science ResearcherID and Orcid (provided by Clarivate) Journal of Alloys and Compounds :779: 762-775

Thambidurai M, Dang C (2018) Structural, morphological and optical properties of CdO nanostructures synthesized by chemical bath deposition method. Mater. Lett. 221: 244–247

Anitha M, Saravanakumar K, Anitha N (2019) Influence of annealing temperature on physical properties of Sn-doped CdO thin films by nebulized spray pyrolysis technique. Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials 243: 54-64

Soylu M (2020) Solution molarity dependent structural and optical properties of CdO nanostructured thin films. 216: 164865

Ramamurthy M, Balaji M, Thirunavukkarasu P (2016) Characterization of jet nebulizer sprayed CdO thin films for solar cell application Optik 127: 3809–38

Soylu M, Al-Ghamdi AA, Al-Hartomy OA, El-Tantawy F, Yakuphanoglu F (2014) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. Physica E, 64: 240–245

Humayan Kabir M, Bhattacharjee A, Manjorul Islam M, Rahman MS, Saifur Rahman MD, Khan MKR (2021) Effect of Sr doping on structural, morphological, optical and electrical properties of spray pyrolyzed CdO thin films. Journal of Materials Science: Materials in Electronics 32: 3834-3842

Soylu M, Yazici T (2017) CdO thin films based on the annealing temperature differences prepared by sol–gel method and their heterojunction devices. Materials Research Express 4: 12: 126307

Kumar M, Kumar A, Abhyankar AC (2015) Influence of Texture Coefficient on Surface Morphology and Sensing Properties of W-Doped Nanocrystalline Tin Oxide Thin Films. ACS Appl. Mater. Interfaces 7: 3571–3580

Kabir MH, Al M, Rahman MS, Khan MKR, Chin (2018) Influence of Al doping on microstructure, morphology, optical and photoluminescence properties of pyrolytic ZnO thin films prepared in an ambient atmosphere. J. Phys. 56 – 2275

Ravikumar M, Chandramohan R, Kumar KDA, Valanarasu S, Shkir M, Alfaify S, Kathalingam A (2019) Effect of Nd doping on structural and opto-electronic properties of CdO thin films fabricated by a perfume atomizer spray method. View Web of Science ResearcherID and Orcid (provided by Clarivate). Bulletin of Materials Science: 42: 1

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

Velusamy P, Ramesh Babu R, Ramamurthi K, Elangovan E, Viegas J, Dahlem MS, Arivanandhan M (2016) Characterization of spray pyrolytically deposited high mobility praseodymium doped CdO thin films. Ceramics International 42: 12675–12685

Sakthivel P, Murugan R, Asaithambi S, Karuppaiah M, Rajendran S, Ravi G (2019) Radio frequency magnetron sputtered CdO thin films for optoelectronic applications. J. Phys. Chem. Solids 126: 1–10

Bhattacharyya P, Mishra GP, Sarkar SK (2011) The effect of surface modification and catalytic metal contact on methane sensing performance of nano-ZnO–Si heterojunction sensor Microelectronics Reliability 51: 2185

Cusco R, Ibanez J, Domenech-Amador N, Artus L, Zuniga-Perez J, Munoz Sanjose V (2010) Raman scattering of cadmium oxide epilayers grown by metal-organic vapor phase epitaxy. J. Appl. Phys. 107(063519): 1-4

Ghosh R, Basak D, Fujihara S (2004) Effect of substrate-induced strain on the structural, electrical, and optical properties of polycrystalline ZnO/ZnO thin films. J. Appl. Phys. 96: 2689

Kumaravel R, Menaka S, Regina S, Mary Sneg, Ramamurthi K, Jeganathan K (2010) The Effect of Doping Thiourea In CdO Thin Films For Electronic Applications. Materials Chemistry and Physics 122: 444–448

Ahmed S, Sarker MSI, Rahman MM, Kamruzzaman M, Khan MKR (2018) Effect of yttrium(Y) on structural, morphological and transport properties of CdO thin films prepared by spray pyrolysis technique. Heliyon 4: e00740

Kose S, Atay F, Bilgin V, Akyuz I (2009) In doped CdO films: Electrical, optical, structural and surface properties. Int. J. Hydrogen Energy 34: 5260

Dhar S, Chakrabarti S (2000) Large photoresponse of CdO/porous Si diodes. *Semiconductor Science and Technology* 15: 11: L39-L40

Wemple SH, DiDomenico M (1971) Behavior of the Electronic Dielectric Constant in Covalent and Ionic Materials. *Phys. Rev. B*. 3: 1338–1351

Seniye K, Sinem A (2018) Sol–Gel Synthesis of Aluminum Doped CdO Thin Films for Optoelectronic Applications. *Materials Focus*: 7: 1: 126-131

Jin S, Yang Y, Medvedeva JE, Wang L, Li S, Cortes N, Ireland JR (2008) Tuning the Properties of Transparent Oxide Conductors. Dopant Ion Size and Electronic Structure Effects on CdO-Based Transparent Conducting Oxides. Ga- and In-Doped CdO Thin Films Grown by MOCVD. *Chem. Mater.* 20 220–230

Helen SJ, Devadason S, Mahalingam T (2016) Improved physical properties of spray pyrolysed Al:CdO nanocrystalline thin films. *J Mater Sci Mater Electron* 27: 4426–4432

Pathak TK, Rajput JK, Kumar V, Purohit LP, Swart HC, Kroon RE (2017) Transparent conducting ZnO-CdO mixed oxide thin films grown by the sol-gel method. *View Web of Science ResearcherID and Orcid (provided by Clarivate) Journal of Colloid and Interface Science* 487: 378-387

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

Ganesh V, Haritha L, Elhosiny Ali H, Aboaraia AM, Khairy Y, Hegazy HH, Butova V, Alexander V, Soldatov H, Algarni H.Y. Zahran I, Yahia S (2021) The detailed calculations of optical properties of indium-doped CdO nanostructured films using Kramers-Kronig relations. *Journal of Non-Crystalline Solids* 552 - 120454

Clegg W, Blake AJ, Cole JM, Evans JSO, Main P, Parsons S, Watkin DJ (2009) *Crystal Structure Analysis* (Oxford: Oxford University Press)

Ganesh V, Yugandhar Bitla, Haritha L, Mohd. Shkir, AlFaify S (2021) Facile fabrication and characterization of nanostructured Y:CdO thin films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 97: 697–705

Ganesh V, Mohd. Shkir, AlFaify S, Yahia IS, Zahran HY, Abd El-Rehim AF (2017) Study on structural, linear and nonlinear optical properties of spin coated N doped CdO thin films for optoelectronic applications. *Journal of Molecular Structure* 1150: 523-530

Zhao Z, Morel DL, Ferekides CS (2002) Electrical and optical properties of tin-doped CdO films deposited by atmospheric metalorganic chemical vapor deposition. *Thin Solid Films* 413: 203–211

https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy, [Scanning_electron_microscope](#), [X-ray_crystallography](#), [Energy-dispersive_Xray_spectroscopy](#), [Raman_spectroscopy](#), [Diode](#), [PN_diode_with_electrical_symbol.svg](#), [Diode#/media/File:Dioden2.jpg](#), [Gain_versus_absorption.svg](#), [Simple_reflectance.svg](#), [Ruby_transmittance.svg](#), & [Bandgap_in_semiconductor.svg](#)