

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİMYASAL BANYO TEKNİĞİ KULLANILARAK CAM VE ITO ALTLIK
ÜZERİNE CdO NANOYAPILARIN BÜYÜTÜLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Tuba SAKAOĞLU

FİZİK ANABİLİM DALI

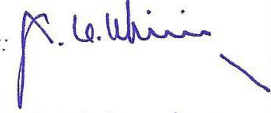
Erzincan

2014

Her Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ danışmanlığında, Tuba IRMAK SAKAOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 04/09/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

İmza: 

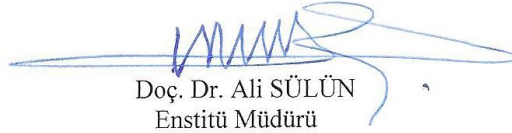
Üye : Yrd. Doç. Dr. Sibel MORKOÇ KARADENİZ

İmza: 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Burcu Meryem AYDIN

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Doç. Dr. Ali SÜLÜN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**KİMYASAL BANYO TEKNİĞİ KULLANILARAK CAM VE ITO ALTLIK
ÜZERİNE CdO NANOYAPILARIN BÜYÜTÜLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU****Tuba SAKAOĞLU****Erzincan Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Fizik Anabilim Dalı****Danışmanı: Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ**

Bu çalışmada kimyasal banyo tekniği kullanılarak cam ve ITO altlık malzemelerin üzerine CdO ince filmler büyütülmüştür. Her bir numuneye 400 °C'de 2 saat tavlama işlemi uygulanmıştır. Elde edilen filmlerin X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile kristal yapıları, tane büyüklükleri, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile film yüzeyi üzerindeki nanoyapıların şekilleri büyüklükleri ve yüzey dağılımları, ultravioleto spektrofotometre (UV) ile optik özellikleri incelenmiştir. Bu analizler sonucunda kullanılan çözeltinin ve tavlama işleminin CdO ince filmlerin fiziksel özelliklerinde bazı değişikliklere neden olduğu kaydedilmiştir. Çalışmada elde edilen deneysel bulgular literatürde verilen çalışmalarla karşılaştırılarak benzerlik ve farklılıkları yorumlanmıştır.

2014, 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum Oksit, İnce film, Nanoyapı, Kimyasal Banyo Tekniği.

ABSTRACT

Master Thesis

**GROWTH AND CHARACTERIZATION OF CdO NANOSTRUCTURES ON
GLASS AND ITO SUBSTRATES BY CHEMICAL BATH DEPOSITION
TECHNIQUE****Tuba SAKAOĞLU****Erzincan University****Graduate School of Natural and Applied Sciences,****Department of Physics****Supervisor: Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ**

In this study, CdO thin films were deposited on glass substrates and ITO by using chemical bath deposition technique. Each samples were annealed for 2 hours at 400 °C. Crystal structures and grain sizes of as deposited thin films were characterized by X-ray Diffraction Spectroscopy (XRD), sizes, forms and surface distribution of nanostructures on surface of the films were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), optical properties of the films were characterized by Ultraviolet Spectroscopy (UV). As a result of this analysis, it was observed that using solution and annealing process has led to change of some physical properties of CdO thin films. The experimental results obtained in the study were compared to the literature studies and similarities and differences of them were interpreted.

2014, 59 pages.**Key Words:** Cadmium Oxide, Thin film, Nanostructure, Chemical Bath Deposition Technique.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Erzincan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde hazırlanmıştır. Tez konumun belirlenmesinde ve çalışma sürecinde her türlü destek ve imkânı sağlayıp bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ' ye en içten teşekkür ve saygılarımı arz ederim.

Yüksek lisansım süresince laboratuarda çalışma imkanı ve her konuda desteğini benden esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Sibel MORKOÇ KARADENİZ' e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL' a, araştırma görevlisi Sayın Demet TATAR' a, SEM analizlerindeki yardımlarından dolayı Atatürk Üniversitesi araştırma görevlisi Sayın Selim ÇÖGENLİ' ye, XRD analizlerindeki yardımlarından dolayı Erzincan Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Çağrı ÇIRAK' a ve UV analizlerindeki yardımlarından dolayı Erzincan Üniversitesi araştırma görevlisi Sayın Mehmet KUZUCU' ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm öğrenim hayatım boyunca, maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan, bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan ailem ve eşim Cemal Hürol SAKAOĞLU' na sonsuz teşekkür ederim.

Tuba SAKAOĞLU

Eylül, 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1.Nanoteknoloji ve tarihçesi.....	4
2.1.1. Nanoyapılar ve teknolojide yeri.....	4
2.2. İnce filmler ve yarıiletkenler.....	5
2.2.1. Yarıiletken malzemelerin özellikleri.....	6
2.2.2. Metal oksit yarıiletken yapılar.....	6
2.2.3. Yarıiletkenlerde bant aralığı.....	7
2.2.4. n ve p tipi yarıiletken yapılar ve p-n eklemi.....	8
2.3. CdO filmler.....	9
2.3.1. CdO' nun özellikleri ve yapısı.....	10
2.3.2. CdO amorf yapı.....	11
2.3.3. CdO kristal yapı.....	12
2.3.4. CdO nanotellerin kullanım alanları.....	14

2.4. Kimyasal banyo tekniği (CBD).....	15
2.5. Sputterin (Saçtırma) yöntemi.....	17
2.6. Kimyasal buhar depolama (CVD).....	17
2.7. Kimyasal püskürtme yöntemi.....	18
2.8. Sol-Jel yöntemi.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Kimyasal banyo tekniği (CBD)	19
3.1.1. Altlık temizleme.....	19
3.1.2. Solüsyon hazırlama	20
3.1.3. Depozisyon işlemleri.....	21
3.2. Analiz teknikleri.....	23
3.2.1. X-ışını kırınımı (XRD)	23
3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	26
3.2.3. Enerji dağılımlı X-ışını spektrometre.....	27
3.2.4. Ultraviolet spektrofotometre (UV).....	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1.1. Cam altlık üzerine CdO büyütme.....	29
4.1.2. ITO altlık üzerine CdO büyütme	34
5. SONUÇ.....	39
6. KAYNAKLAR.....	44
7.ÖZGEÇMİŞ.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ**Sayfa No**

Şekil.2.1. Yarıiletkende sıfır Kelvin ve oda sıcaklığında valans ve iletkenlik bandlarının şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2. Klasik MOS yapısı.....	7
Şekil 2.3. Yasak enerji band aralığı.....	8
Şekil 2.4. Kadmiyum oksit.....	11
Şekil 2.5. Katı madde tipleri.....	12
Şekil 2.6. CdO kristal yapısı.....	12
Şekil 2.7. Birim hücre.....	13
Şekil 2.8. Kimyasal banyo depolama metodunun blok diyagramı.....	15
Şekil 3.1. CBD yöntemi.....	19
Şekil 3.2. Ultrasonik temizleyici.....	20
Şekil 3.3. Kadmiyum klörür içerisine amonyum hidroksidin eklenmesi.....	21
Şekil 3.4. Üç gün süreyle büyütülmüş Cd(OH) ₂ yapısı.....	22
Şekil 3.5. Cam ve ITO altlık üzerine oluşturulmuş kadmiyum oksit filmler.....	22

Şekil 3.6. X-ışınlarının kristal tarafından kırınımına uğratılması.....	24
Şekil 3.7. Erzincan üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Panalytical Empyrean marka/model XRD cihazı.....	25
Şekil 3.8. Atatürk üniversitesi laboratuvarlarında bulunan FEI Inspect 550 marka SEM cihazı.....	27
Şekil 3.9. Erzincan üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Perkin Elmer marka/model UV spektrofotmetre cihazı.....	28
Şekil 4.1. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekletme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan cam altlık üzerindeki Kadmiyum Oksit ince filmin XRD spektrumu.....	30
Şekil 4.2. Literatür, kübik CdO yapısının XRD spektrumu	30
Şekil 4.3. Literatür, monoklinik Cd(OH) ₂ yapısının XRD spektrumu.....	31
Şekil 4.4. Literatür, hekzagonal CdO yapısının XRD spektrumu.....	31
Şekil 4.5. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekletme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin SEM görüntüsü	32

Şekil 4.6. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin EDS spektrumu	33
Şekil 4.7. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin UV spektrumu	34
Şekil 4.8. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin XRD spektrumu.....	35
Şekil 4.9. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin SEM görüntüsü	36
Şekil 4.10. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin EDS spektrumu	37
Şekil 4.11. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400°C’de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin UV spektrumu.....	38

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- CBD: Kimyasal banyo depolama
Cd²⁺: Kadmiyum atomu
CdO: Kadmiyum oksit
CdCl₂: Kadmiyum klorür
Cd(OH)₂: Kadmiyum hidroksit
CIS: Kadmiyum indiyum sülfür
CO₂: Karbondioksit
CVD: Kimyasal buhar depolama
d: İki kristal düzlem arası uzaklık
EDS: Enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi
eV: Elektron volt
Ge: Germanyum
H⁺: Hidrojen iyonu
h, k, l: Miller indisleri
H₂O: Su
N₂: Azot
nm: Nanometre
O₂: Oksijen
SEM: Taramalı elektron mikroskobu
Si: Silisyum
SiO: Silisyum oksit
ZnO: Çinko oksit
XRD: X-ışını kırınımı
µm: Mikrometre

TABLolar DİZİNİ**Sayfa**

Tablo 2.1. Yedi kristal örgüsü yapısı ve Bravais hücreleri.....	13
Tablo 5.1. Cam altlık üzerine büyütülen CdO nanoyapıların XRD sonuçlarının referans sonuçları ile karşılaştırılması.....	40
Tablo 5.2. ITO altlık üzerine büyütülen CdO nanoyapıların XRD sonuçlarının referans sonuçları ile karşılaştırılması.....	41

1.GİRİŞ

Her ne kadar nanoteknoloji 21. yüzyılın teknolojisi olarak ifade edilsede bu alandaki çalışmalar çok eskilere dayanmaktadır. 100 yıl önce sanatçılar tarafından geliştirilen ve kullanılan çok ince ve dayanıklı boyalar, renkli pencere camları, yarı iletken ve transistörlerin üretimi aslında nanoteknolojinin ilk uygulamalarıdır (Yurtçiçek, 2009). Nanoteknoloji fizik, kimya, biyoloji gibi temel bilimlerin yanında tıp, eczacılık, malzeme bilimi ve mühendislik gibi yan bilimleri de içine alan disiplinler arası bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır (Morkoç Karadeniz, 2011).

Nanoteknolojinin amacı; sadece faydalı özelliklere sahip nano malzeme yapmak değil, aynı zamanda çok küçük mekanik aygıtlar, robotlar ve dönüştürücüler gibi elektriksel aygıtlarda yapmaktır (Aydoğan, 2011).

Nano yapıdaki malzemeler farklı özelliklerinden dolayı geniş ölçüde çalışılmakta ve çeşitli cihazlarda kullanılmaktadır. Malzemenin boyutu küçüldükçe malzemeye ait yeni özelliklerin ortaya çıktığını görülmektedir (Zuhuatayeva, 2012).

Nano yapının iletkenliği, o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilmektedir. Benzer şekilde, nano ölçeklerde atomlararası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmektedir (Bayındır, 2005).

Nano tel, nano tüp, nano çubuk, gibi yapılar elektronik, mekanik, optik göstergelerinde geniş uygulama alanına sahiptir (Tepe, 2005). Nano teller (nonawire) de kütle halindeki malzemelere göre farklı mekanik, kimyasal, fiziksel ve optik özellikler gösteren nano malzemelerden birisidir (Aksoy, 2012).

Kadmiyum oksit (CdO) yarıiletken bileşiği periyodik tablonun II. grup elementlerinden olan Cd ve VI. grup elementlerinden olan O' dan oluşan II-VI grup bileşiğidir. CdO yarıiletken filmi n-tipi yarıiletken olup 2,2-2,8 eV arasında yasak enerji aralığına sahiptir. Yüksek elektriksel iletkenliğe ve görünür bölgede yüksek

optiksel geçirgenliğe sahiptir (Korkmaz, 2011). Kadmiyum nemli havada yavaş olarak oksitlendiği halde havada yanarak kadmiyum oksit (CdO) meydana getirir (Kırmızıgül, 2008).

CdO filmleri nano malzeme üretmek için geliştirilmiş çeşitli yöntemler mevcuttur;

1. Kimyasal banyo depolama (CBD)
2. Sputterin (Saçtırma) Yöntemi
3. Kimyasal buhar depolama (CVD)
4. Aktif reaktif buharlaştırma
5. Çözelti büyütme
6. Isıl oksitlenme
7. Sol-Jel
8. Kimyasal püskürtme gibi tekniklerle üretilir (Akyüz, 2005).

Bu tip malzemelere özellikle optoelektronik alanında ihtiyaç duyulmaktadır. Her geçen gün yeni malzemeler üretme ve inceleme çalışmalarına daha fazla ağırlık verilmektedir. Bunun nedeni mevcut malzemelerin artık daha yüksek performans gerektiren cihazlar için yetersiz kalmasıdır. Bu nedenle elde edilen CdO malzemelerin özellikleri katkılama ve tavlama yolu ile iyileştirilmeye çalışılmıştır. Daha iyi fiziksel karakteristiklerle elde edilebilecek veya tavlama sonrası işlemlerle uygun optoelektronik özellikleri olabilecek CdO filmleri teknolojik, alanda umut veren malzemeler olacaklardır (Akyüz, 2005).

Kadmiyum oksit, katalizör olarak kaplama banyosunda oksitlenme, dirençli, kararlı bir yüzey meydana getirir ve saflığı çok yüksek olan kadmiyumun elde edilmesinde kullanılır. Kadmiyum-nikel pillerinin yapısında, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu olarak kullanılır. Düşük erime noktalı lehim yapımında, çeşitli döküm alaşımların yapımında kullanılır (Kırmızıgül, 2008).

SiO malzemeler içinde CdO üzerinde yapılan çalışmalar son yedi yıla kadar oldukça kısıtlıydı. Ancak CdO, foto-diyot, foto-transistor, fotovoltajik piller gibi optoelektronik aygıtların üretiminde önemli bir malzemedir ve son yıllarda bu

malzeme üzerinde yapılan çalışmalar CdO' nun teknolojik uygulama alanı açısından zengin bir malzeme olduğunu göstermektedir (Gurumurugan et al., 1997).

CdO nano filmlerinin teknolojilerde kullanımını araştırmak ve film karakteristiklerini incelemek amacıyla, tavlama işlemlerinin bu filmlerin bazı fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Akyüz, 2005).

Yapmış olduğumuz çalışmada, CdO nano malzemeler kimyasal banyo yöntemi ile üretilmiştir. Kimyasal banyo (CBD) yöntemi nano malzeme elde etme metotları arasında en kolay ve en ucuz olan metottur. Kimyasal banyo yönteminin; oldukça basit yapıda olması, gerekli tertibat yönünden daha ekonomik olması, üretim işleminde müdahale için elverişli yapıda olması, nano malzeme üretimi için vakum ortamına ihtiyaç duyulmaması ve üretim işleminin adım adım takip edilebilmesi nedeni ile diğer metotlara göre çok daha avantajlıdır. Ayrıca bu metot n-tipi ve p-tipi katkılanmaya da izin verir (Dhawale, et al., 2007).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Nanoteknolojinin Tanımı

Nanoteknoloji tanım olarak en az bir boyutu 1–100 nm olan materyaller, cihazlar ve sistemlerle uğraşan tüm bilim dallarına yeni ufuklar getiren yeni bir çalışma alanıdır. Nanometre metrenin milyarda biri olan bir uzunluk birimi olup, basitçe bir saç teli çapının 80000 de biri kadar uzunluğu ifade eder. Bu büyüklük çıplak gözle ve en iyi optik mikroskopla görülemez. Çok küçük uzunluk olmasına rağmen atom boyutunun 5–100 katı bir büyüklüktür. Maddenin boyutu nanometre mertebesine kadar küçüldükçe bunların mekanik, elektrik, ısıl, optik ve kimyasal özellikleri ve çevresi ile ilişkileri çok değişmekte, önceden ön görülmeyen büyük hacimli aynı maddeden çok daha farklı özellik ve davranışlar göstermektedir. Bazı hallerde bu yeni özellik, büyük boyuttaki maddeden çok üstün niteliğe sahip malzemelerin ve sistemlerin geliştirmesini sağlamaktadır (Yurtçiçek, 2009).

2.1.1. Nanoyapılar ve Teknolojide Yeri

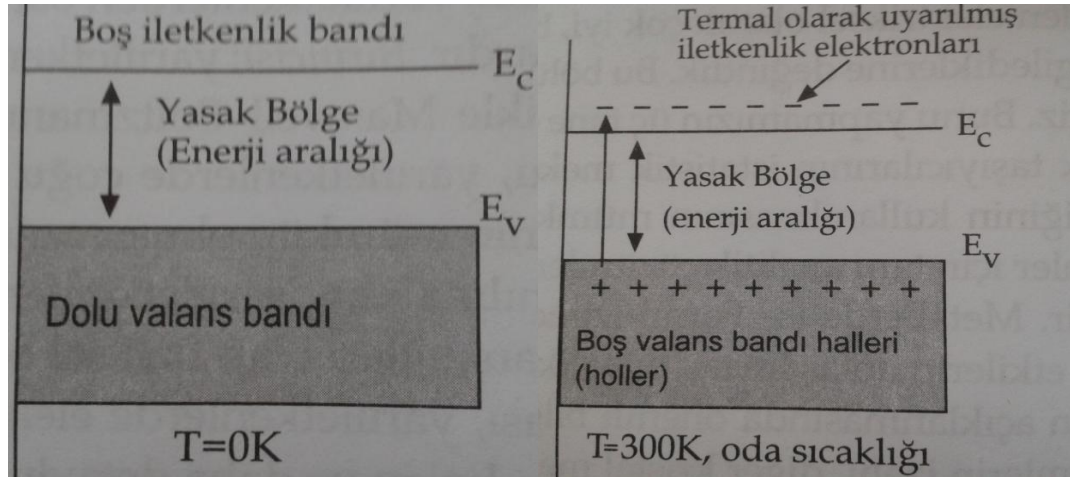
Bir katının büyüklüğü bir ya da daha fazla boyuta indirgenirse fiziksel, manyetik elektriksel ve optik özellikleri önemli derecede değişir ve nanoparçacığın temel elektronik ve titreşimsel uyarımlar kuantumlu olmaya başlarken bu kuantumluluk olayları genellikle 1-100 nm büyüklüğündeki oranlar için önemlidir (Aydoğan 2011).

Nanoyapıdaki katılar bir veya sıfır boyutludur. Karbon nanotüpler, kuantum teller ve iletken polimerler bir boyutlu nano yapılara örnek olarak verilebilir. Sıfır boyutlu sistemlere ise; yarıiletken nanokristalleri, metal nanoparçacıklardır. Nanoteknolojinin çoğu uygulamaları için gelecek vaad eden malzeme karbon nano tüplerdir. Karbon nano tüpler şaşırtıcı güce sahip ve elektriksel olarak iletken olabilirler ve buda onların bir akım taşıyabilecekleri anlamına gelir. Yumuşak bir karbon malzemesi kurşun kalemlerde ve kayganlaştırıcı olarak kullanılır (Aydoğan 2011).

2.2. İnce Filmler ve Yarıiletkenler

Genel anlamda maddeler elektriksel iletkenlik yönünden; elektriği iyi ileten iletken maddeler, elektriği hiç iletmeyen yalıtkan maddeler, belli bir kritik sıcaklık, kritik akım ve kritik manyetik alan değerinde bir kısım iletken maddelerin sıfıra yakın direnç göstermesi sonucu oluşan süper iletkenler ve iletken ile yalıtkan arasında elektrik iletkenliğine sahip yarıiletken maddelerdir (Köksal 2006).

Bir yarıiletken mutlak sıfırda tamamen dolu elektronik haller bandı, yine mutlak sıfırda dolu banddan yasak dar bir enerji aralığı ile ayrıştırılmış tamamen boş bir banda (iletkenlik bandı) sahip bir kristal malzemedir. Mutlak sıfırda yarıiletken mükemmel bir yalıtkan gibi davranır, çünkü kısmen dolu bandlar yoktur. Yani bandlar tamamen dolu ya da tamamen boştur. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda elektronların bazıları değerlik bandından yasak enerji aralığını aşabilecek kadar enerji kazanarak, boş olan iletkenlik bandına çıkarak elektriksel iletkenliğe katkıda bulunurlar (Aydoğan 2011).



Şekil 2.1. Yarıiletkende sıfır Kelvin ve oda sıcaklığında valans ve iletkenlik bandlarının şematik gösterimi (Aydoğan 2011).

Son yıllarda katıhal fiziğinin en fazla araştırma yapılan konulardan biri olan ince film teknolojisi ve bu teknolojiyle üretilen filmlerin özelliklerinin incelenmesi, günümüzde büyük önem taşımaktadır. Yarıiletkenlerin kullanımıyla büyük önem kazanan ince film teknolojisi çok fazla çalışma alanına sahip olup, çeşitliliği nedeniyle de birçok elektronik düzeneğin temelini oluşturmaktadır (Özdemir, 2006). İnce filmler, altlık olarak katı bir malzeme üzerine atomik, moleküler ya da iyonik türlerin yoğunlaştırılması sonucu oluşurlar (Turgut, 2014).

2.2.1. Yarıiletken Malzemelerin Özellikleri

Yarıiletkenlerde yük taşıyıcıların istatistik mekaniği için Maxwell-Boltzmann istatistiğinin kullanılmasıyla çoğu problemler için tam analitik çözümler elde edilir. Yarıiletkenler bu tür etkilerin anlaşılması, metalik maddelerdeki karşılıkları olan fiziksel özelliklerin açıklanmasında önemli bilgiler verir. Yarıiletkenlerde elektronik işlemlerin izahı, diğer kristal malzemelerden daha kolay ve daha detaylı olarak anlaşılabilir (Aydoğan 2011).

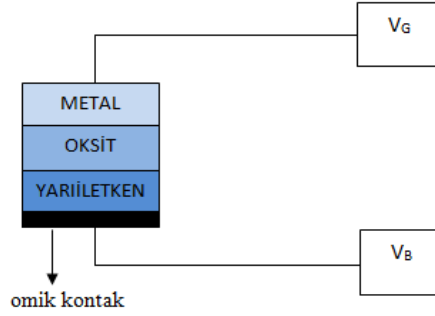
Mevcut ve ucuz hammaddelerden yüksek saflıkla elde edilebilmesi, uygun metotlarla kaliteli polikristal tabakalar halinde üretilebilir olması, diğer gruptaki yarıiletkenlere göre üstünlük sağlamaktadır (Erel, 1996).

Yarıiletkenler yıllardır teknolojiye önemli yere sahiptir. Yarıiletkenler, elektronik aygıtların tüm çeşitlerinin yapımında kullanılabilir. Örneğin; doğrultucular, transistörler, fotoseller, gerilim düzenleyiciler, parametrik yükselticiler ve anahtarlama aygıtları v.b. (Aydoğan 2011).

2.2.2. Metal oksit yarıiletken yapılar

Metal-Oksit-Yarıiletken yapısı MOS olarak adlandırılır. Klasik MOS kapasitör Metal-Oksit-Yarıiletken'den oluşan bir yapıdır. Bu yapı bir yarıiletken alt yüzey, ince bir oksit tabakası ve en üstte geçit olarak adlandırılan bir metal kontak olarak oluşmaktadır. İkinci metal tabakası yarıiletkenin diğer yüzeyine omik kontak olarak kaplanmıştır. Metal ile yarıiletken arasına oluşturulan yalıtkan bir oksit tabakası,

metali yarıiletkenle izole eder ve yapıyı Metal-Yalıtkan-Yarıiletken yapıya dönüştürür (Bozer, 2013).

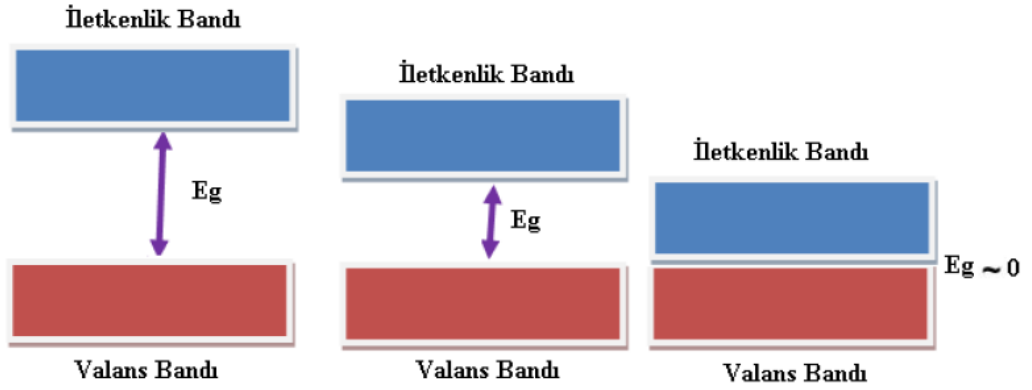


Şekil 2.2. Klasik MOS yapısı (Bozer, 2013)

Metal oksit yarıiletken yapısında bir metal elektrot, yarıiletken bir alt tabakadan bir yalıtkan malzeme tabakasıyla ayrı tutulur. En genel MOS cihazlarda alt tabaka silisyum ya da silisyum dioksittir (Yoğurtçu, 2007).

2.2.3. Yarıiletkenlerde bant aralığı

Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hale getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji miktarı yarıiletkenler için valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji farkıdır. Herhangi bir atomun valans bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için, bu iki bant arasındaki enerjiden fazla enerjiye sahip olması gerekir. Buda çeşitli şekillerde elektronun uyarılması sonucu enerjiyi kazanmasıyla gerçekleşir. İletken maddelerde ise valans bandı iletkenlik bandı ile çakışık olduğundan yasak enerji aralığı yoktur. Yalıtkan maddelerde ise yasak enerji aralığı oldukça büyüktür (Morkoç Karadeniz, 2011).



Şekil 2.3. Yasak enerji band aralığı (Morkoç Karadeniz, 2011)

2.2.4. n ve p tipi yarıiletken yapılar ve p-n eklemi

Son yörüngesinde 4 elektron bulunan Si elementine 5. Grup elementlerinden katkılanması ile 4 kovalent bağ meydana gelir ve bir elektron kendine yer bulamayacağından rastgele olarak yarıiletken içerisinde hareket edecektir. Bu yarıiletkene bir elektrik akımı uygulanırsa, bu elektron elektrik iletkenliğine katkıda bulunacaktır. Bu tip katkılanmaya n-tipi katkılanma denir (Köksal 2006).

p-tipi katkılanmada ise silisyuma son yörüngesinde üç elektron bulunan 3. Grup elementlerinden katkılanır ve 4 bağdan biri boş kalır. Atomlar arasında komşu bağların kırılması ile negatif yüklenen iyonun bir elektron yakalaması söz konusu olur. Buda hol denilen pozitif yüklü boşluğun hareketi şeklinde düşünülebilir. Oluşan holler sisteme bir enerji verilmesi durumunda elektrik akımına katkıda bulunur. Bu tip katkılanmaya p-tipi katkılanma denir. n tipi yarıiletkenlerde hollerde taşıyıcıdır ve azınlık taşıyıcısı olarak bilinir elektronlar ise çoğunluk taşıyıcısıdır, p tipinde ise tam tersidir (Köksal 2006).

n tipi yarıiletkenler için donör seviyesi iletkenlik bandının altındadır, Fermi enerjisi sıfır Kelvinde iletkenlik bant kenarı ile donör seviyesinin arasındadır, tipik olarak 20-30 meV kadar iletkenlik bandının altındadır. p tipi yarıiletkenlerde donör seviyesi

valans bandının üzerindedir. Fermi seviyesi sıfır Kelvinde iletkenlik bant kenarı ile akseptör seviyesi arasındadır (Yoğurtçu 2007).

Bir pn eklemi p-tipi bir yarıiletken ile n-tipi yarıiletkenin kontak haline getirilmesi ile meydana gelir. n-tipi ve p-tipi bölgeler aynı tip yarıiletkenden meydana gelirse (yani n-tipi silisyum ve p-tipi silisyum gibi) bu eklem bir “aynı eklem” (homojunction) olarak adlandırılır. Şayet yarıiletken malzemeler farklı iseler (n-tipi silisyum p-tipi germanyum gibi) eklem bir “farklı eklem” (heterojunction) olarak adlandırılır (Aydoğan, 2011). Devrelerde doğrultucu olarak kullanılan diyotlar p-n ekleminde oluşur.

2.3. CdO Filmler

CdO, 1907’ de ilk bulunan SiO’ lerden biri olmasına rağmen, belki de üzerinde en az çalışma yapılan malzemelerdendir. Son on yılda kimyasal püskürtme, kimyasal banyo, kadmiyum oksidasyonu gibi tekniklerle hazırlanan CdO filmlerinin elektriksel özellikleri çalışma konusu olmuştur. Bu yüzden, bu malzemenin çalışılması ve özellikle ucuz ve kütle üretimine uygun tekniklerle (kimyasal banyo yöntemi ve kimyasal püskürtme gibi) üretilmesi önemlidir (Akyüz, 2005).

CdO filmleri dar optik bant aralıkları nedeni ile, fazla ilgi görmemiş SiO’ lerdendir. Bununla birlikte, şuan ki saydam iletken oksitlerden 5-10 kat daha fazla elektron mobilitesine sahip olmaları bu filmler için önemli bir avantajdır (Li et al., 2001).

Bütün SiO’ ler arasında CdO belki de en az ilgi gören malzemedir. Bunun sebepleri; Cd elementinin zehirli olması ve CdO’ nun dar bant aralığıdır. CdO n-tipi bir yarıiletkendir ve bant aralığı 2.28 eV civarındadır. Bu değer en çok kullanılan SiO’ lerden olan SnO₂ (3.6 eV) ve ITO (3.6 eV) filmlerinkinden daha düşüktür. CdO filmleri kübik bir yapıya sahiptir. 250 °C’ nin altındaki sıcaklıklarda bu malzeme zayıf kristalleşir ve taneler cam taban üzerinde rasgele yönelirler. 300 °C ve üzerinde ise CdO filmleri iyi bir kristalleşme seviyesine sahip olurlar ve genelde [200] doğrultusunda bir tercihli yönelime sahip olurlar. Bu filmler katkısız halde bile

oldukça yüksek bir taşıyıcı yoğunluğuna sahiptirler. Taşıyıcı yoğunluğu sıcaklığa duyarlıdır (Akyüz, 2005).

Yüksek elektriksel iletkenliğe ve optiksel geçirgenliğe sahip malzemeler gelecekteki düz ekranlar, güneş pilleri, organik LED (ışık yayan diyot) ve diğer optoelektronik teknolojilerde önemli yer tutacaklardır (Asahi et al., 2002).

CdO' nun elektriksel özellikleri çöktürme şartları ile kontrol edilebilir. CdO filmleri sputtering, kimyasal buhar depolama, aktif reaktif buharlaştırma, çözelti büyütme, ısıl oksitlenme, sol-gel ve kimyasal püskürtme gibi tekniklerle üretilir (Akyüz, 2005).

CdO uygun elektriksel iletkenlik ve optiksel geçirgenlik özellikleri ile görünür bölgeden kızıl ötesine yayılan bir dalgaboyu aralığında kullanım potansiyeli olan bir malzemedir. Bu malzemenin yakın gelecekte opto-elektronik alanında ZnO tabanlı heteroyapıların üretiminde aktif tabaka olarak kullanımı dikkat çekecektir. Bunun nedeni; iki malzeme arasındaki 1 eV' luk enerji farkının eksiton düzenlenmesi için geniş bir bölge olmasıdır (Ashrafi et al., 2002).

2.3.1. CdO 'nun Özellikleri ve Yapısı

Kadmiyum, periyodik cetvelde II B grubunda bulunur. Atom numarası 48 ve atom ağırlığı 112,40'tır. Bileşiklerinde (2+) değerlikli haldedir ve elektronları oldukça elektropozitiftir. Kadmiyum 321°C'de erir, 767°C'de kaynar. Gizli buharlaşma ısısı ise yaklaşık 286,4 cal/gr'dır. Yoğunluğu 8,65 g/cm³tür. Heksagonal kristal yapısına sahip yumuşak, bir metaldir. Birçok bakımdan çinkoya benzerlik gösterir. Nemli havada yavaş yavaş oksitlenir, oksidi kararlı olup, metali kaplar. Kadmiyum nemli havada yavaş olarak oksitlendiği halde, havada yanarak kadmiyum oksit (CdO) meydana getirir (Kırmızıgül, 2008).

CdO, yüksek elektriksel iletkenliğe sahip n-tipi, dejenere bir yarıiletkenidir. Yüksek elektriksel iletkenlik; elektron mobilitesine, yüksek taşıyıcı konsantrasyonuna ve doğasında var olan stokiometrik olmama nedeniyle oluşmuş sığ donörlere bağlıdır.

CdO, en basit Cd tabanlı oksittir. Sodyum klorür yapısında kristalleşir. Genelde katkılanmamış filmler de donör olarak davranan fazla Cd atomları veya oksijen boşluklarının varlığında n-tipi iletkenlik gösterir (Ferro and Rodriguez, 1999). Renksiz amorf form ve kahverengi ya da kırmızı kristal formda bulunur.



Şekil 2.4. Kadmiyum oksit

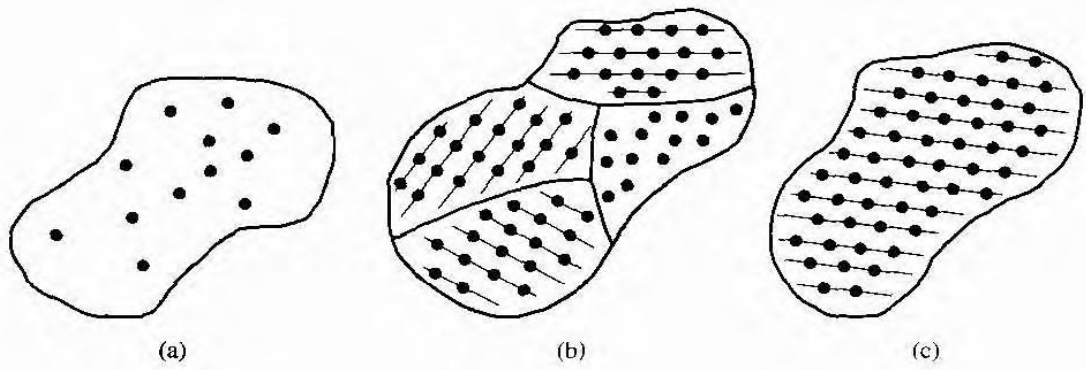
2.3.2. CdO Amorf Yapı

Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak, malzemelerin şekilleri ve mikro yapıları değişmektedir. Atomların diziliş şekillerine göre yapıları amorf, moleküler ve kristal yapı olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz. Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse bu şekilde bir yapıya amorf yapı (düzensiz yapı) adı verilir. Gazlar, sıvılar ve katı maddelerden cam amorf yapıli maddelerdir. Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirlerine zayıf bağlanarak bulunuyorsa bu tür yapılara da moleküler yapı denilir. Moleküler yapıli malzemelerde, molekül içinde düzenli bir diziliş söz konusu iken moleküller arası rastgele bir dizilişe sahiptirler. Su (H_2O), karbondioksit (CO_2), O_2 , N_2 ve çoğu polimer malzemeler moleküler yapıya sahiptirler. Amorf katılar, homojen ve izotropiktirler. Cam gibi amorf malzemeler belirli bir erime sıcaklığına sahip değildirler. Çünkü bu tür malzemelerde uzun mesafe düzeni bulunmadığından moleküller arasındaki bağlar kuvvetçe değişmektedir. Katıya ısı verilince önce zayıf bağlardan başlayarak kopmalar başlar ve katı yavaş yavaş yumuşamaya başlar. (Çoban, 2011).

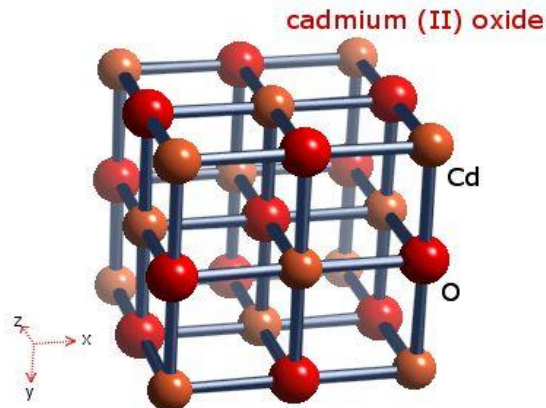
2.3.3. CdO Kristal Yapı

Katıların sınıflandırılması, atomik düzene, bağlanma enerjisine, fiziksel ve kimyasal özelliklere veya kristal yapının özelliklerine dayandırılabilir (Çoban, 2011).

Katı cisimler ya amorf ya kristal ya da polikristal yapıda bulunur. Kristal yapı birbirinin aynı atomik ya da moleküler yapı taşlarının uzayda periyodik ve muntazam tekrarlanması ile elde edilen yapılardır (Düzgün 2009).



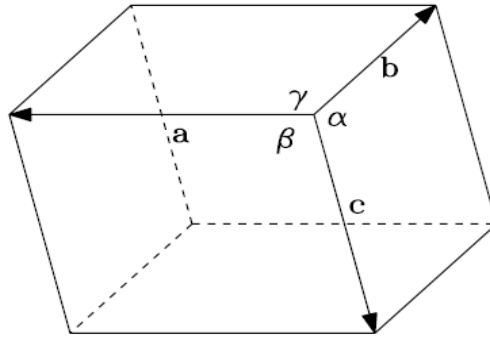
Şekil 2.5. Katı Madde Tipleri a) Amorf b) Polikristal c) Kristal (Neamen 2003)



Şekil 2.6. CdO kristal yapısı

CdO kristal yapısı kenar uzunlukları ve birleşim açıları eşit olan kübik yapıdır. Örgü (latis, şebeke) ise aynı yönelimde aynı görünüme sahip noktalar topluluğuna denir. Her örgü noktasında bulunan atom grubuna ise baz denir (Düzgün 2009).

Örgü noktalarında atom veya molekülleri barındırmayan kristalin periyodik yapısını en küçük bireyi birim hücredir. Birim hücrelerin tekrarı ile kristal oluşur.



Şekil 2.7. Birim hücre (Shmueli 2007)

Yedi çeşit kristal yapısı vardır. Bunlar; triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, trigonal, hekzagonal, kübik yapılardır (Düzgün 2009).

Kristal Birim Hücre	$a=b=c; \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	F,I,P
Rombohedral (trigonal)	$a=b=c; 90^\circ \neq \alpha=\beta=\gamma < 120^\circ$	P
Tetragonal	$a=b \neq c; \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	P,I
Hegzagonal	$a=b \neq c; \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$	P
Ortorombik	$a \neq b \neq c; \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	C,F,I,P
Monoklinik	$a \neq b \neq c; \alpha=\gamma=90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	C,P
Triklinik	$a \neq b \neq c; \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	P

Tablo 2.1. Yedi kristal örgüsü yapısı ve Bravais hücreleri (Morkoç, Karadeniz, 2011)

2.3.4. CdO Nanotellerin Kullanım Alanları

Kadmiyum oksit nanoteller; düşük boyutlu temel rollerinin yanı sıra, nano aygıt olarak dikkat çekmiştir. Üretim aşamasında kadmiyum oksit nanotellerin, yüzey alanının çapında büyümeler gözlenmektedir. CdO suda çözünmez. Hava (CO_2) tarafından kadmiyumun (Cd^{2+}) yakılması sonucu oluşur. Dolayısı ile üstün elektriksel iletkenlik ve iletim sağlarlar. Düşük band aralığına sahiptirler. Band aralığının düşük olması nedeniyle fotodiyotlarda da kullanılır. Optoelektronik alanda umut verici nanotellerdir (Dhawale et al., 2007).

Ayrıca fototransistörler, fotovoltaiik, saydam elektronlar, sıvı kristal ekranlar, IR dedektörler, nükleer reaktörlerde, ara tabakalar olarak diyotlarda, güneş pillerinde ve anti-yansıtıcı kaplamalarda da kullanılır (Dhawale et al., 2007).

Kadmiyum oksit nanoteller gaz sensörlerinde, mikro silikon fabrikalarında yüksek hassasiyeti, düşük maliyeti ve imalat kolaylığı nedeniyle birkaç yılda büyük dikkat çekmiştir. Gaz sensörleri olarak SnO_2 , TiO_2 , WO_3 , In_2O_3 , Ga_2O_3 , ZnO ve CdO , gibi çeşitli yarı iletkenler kullanılmaktadır (Kamble et al., 2010).

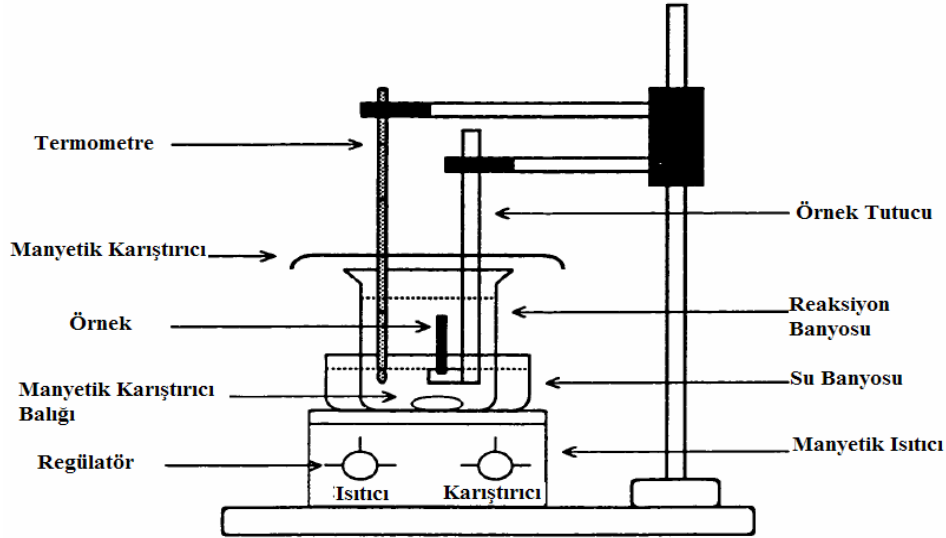
CdO , güneş spektrumunun görünür bölgesinde yüksek elektriksel iletkenlik ve optiksel geçirgenlik özellikleri ile güneş pili uygulamalarında kullanılır ve CdTe ve CIS (kadmiyum indiyum sülfür) hetero-elemleri için de pencere tabakası olarak kullanım için aday bir malzemedir (Akyüz, 2005).

CdO ince filmler ise; özellikle son yıllarda optoelektronik cihazları ve kimyasal sensörlerin potansiyel uygulamalarında oldukça fazla kullanılmaktadır. CdO ve onun bileşikleri yüksek toksit madde olmasına rağmen pil üretiminde, renk pigmentlerinde, çelikte korozyon korumasında ve nükleer fisyon işleminde nötronları kontrol eden bir bariyer olarak kullanılan temel maddelerden biridir (Chandiramouli et al., 2013).

Bunlarla birlikte CdO nano parçaçıklar bazı bakterilerin üzerinde anti bakteriyel etkiyi incelemek için nanobiyo teknolojiye kullanılmaktadır (Salehi et al., 2014) .

2.4. Kimyasal Banyo Tekniği (CBD)

Kimyasal banyo yöntemi (CBD) metal, hidroksit, sülfür ya da selenit iyonlarının kaynağını içeren sulu zltiler içerisine temizlenmiş alt tabanların belirli bir zaman daldırılarak yarıiletken ince filmlerin bu alt tabanlar üzerine depolanması ile elde edilen bir yöntemdir. zltideki filmi oluşturacak iyonların reaksiyonunun yavaşlatılması esasına dayanmaktadır (Göde, 2007).



şekil 2.8. Kimyasal banyo depolama metodunun blok diyagramı (Canci, 2009)

Bir maddenin bir zcnn belli bir miktarında, sabit basınc ve sıcaklıkta znebilen en fazla miktarına o maddenin znrlğ denir. Her maddenin belli bir zcde znebileceği madde miktarı yani, denge noktası farklıdır. Denge, dinamik bir olaydır. Yani bu noktada znme durmaz, devam eder. Ancak bunun karşıtı yani zltiden znenin ayrılarak katı üzerinde toplanması olayı da aynı miktarda ve aynı zamanda olur. Böyle bir zltiye znenin kristali katılırsa kristalin büyüklüğünün değişmediği ancak şeklinin değiştiği görülür (Göde, 2007).

Kimyasal Banyo tekniği (CBD) yönteminin ilk yapılışı 1884 yılında J.E. Reynolds tarafından PbS'nin depolanması ile olmuştur (Bozdoğar, 2009).

Belirli sıcaklıklarda filmi oluşturacak çözeltiler iyonlarının alt taban üzerinde yavaş bir şekilde oluşmasına dayanan bir yöntemdir. Seçilen uygun geniş tabanlar hazırlanan çözeltiler içine daldırılır ve kimyasal olarak yüzeyce filmler oluşturulur. Çözeltilere uygun bir taban sıcaklığı uygulanması sonucunda iyonlara belli bir kinetik enerji kazandırılmaktadır. Bu sayede iyonların difüzyon hızları arttığı için taban malzeme yüzeyine tutunmaları daha kolay olmakta ve düşük daldırma sayılarıyla kaliteli ince filmler elde edilmektedir. Taban sıcaklığının fazla olması durumunda iyonların aşırı difüzyonu sonucunda taban yüzeyinde bir anda birikme olacağından dolayı film taban yüzeyinde tortulu bir şekilde birikecektir. Bu nedenle uygun taban sıcaklığının seçimi son derece önemlidir. Çözeltinin sıcaklık ve pH değerleri büyütülecek filmin kalınlığını etkiler (Bozdoğar, 2009).

CBD metodunda çözeltiler bir sıcaklık kontrol ünitesinin üzerinde yer almaktadır. Bu sayede taban sıcaklığı istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir. Kimyasal banyo biriktirme yöntemi ile geniş yüzeylere kaliteli ince filmler üretmek mümkündür (Bozdoğar, 2009).

Kaliteli filmler üretmek için seçilen tabanın yüzeyinin çok temiz ve pürüzsüz olması gerekmektedir. En önemlisi de hazırlanan çözeltinin ideal katkı oranlarında ve uygun oluşum şartlarında olması gerekir. Aynı zamanda çözeltideki madde miktarının çözünürlük çarpanlarının belirlenmesi ile üretilen filmlerin yapısı ayarlanabilir (Bozdoğar, 2009).

CBD yöntemi ile geniş bölgede ucuz maliyetle filmler elde edilir. Çözünürlüğe etki eden faktörleri; çözünen maddenin türü, çözücünün türü, sıcaklık, basınç, ortak iyon etkisi, ortamın pH' ı, yabancı iyonlar ve kompleks oluşumu olarak sıralayabiliriz. Genel olarak, bileşiği oluşturan iyonların yarıçapları ne kadar küçük ve iyon yükü ne kadar büyükse bileşik o kadar zor çözünür (Göde, 2007).

2.5. Sputterin (Saçtırma) Yöntemi

Sputter Depozisyon fiziksel saçtırma işlemi ile yüzeyden (hedef) parçacık buharlaştırma depozisyonu işlemidir ve Sputter depozisyon iyon tabancası ya da düşük basınç plazma (<5 mTorr) kullanılarak vakumda katı yüzeyin (sputtering hedef) enerjik iyon bombardımanı ile yapılabilmektedir (Mattox, 2010).

Sputterin aynı zamanda çok yüksek miktarda plazma basıncı (5–30 mTorr) meydana getirir ve saçılma kaynağı bir element, alaşım, karışım ya da bileşik olabilir ve materyal hedefin bulk kompozisyonları ile buharlaştırılabilir (Mattox, 2010).

Sputtering depozisyon yöntemi yarıiletken maddelerde ince film metalizasyonlarında, kaplama ve mimari camlarda ve kompakt disk üzerine yansımali kaplamalarda vb. alanlarda sıkça kullanılabilmektedir (Mattox, 2010).

2.6. Kimyasal Buhar Depolama(CVD)

Kimyasal Buhar Depolama (CVD) sentezi, gazlı bir karbon molekülüne enerji vermek için sıcak dirençli bir bobin veya plazma gibi bir enerji kaynağı kullanılarak gaz fazında bir karbon kaynağına yerleştirilerek gerçekleştirilir. Enerji kaynağı, reaktif atomik karbon içerisinde ‘crack’ yani çatlak molekül kullanılır. Karbon, bağlanacağı yerde bir katalizör ile kaplanır ve ısıtılır (genellikle 1. sıradaki geçiş metallere Ni, Fe, Co) gibi katalizör olarak kullanılır. CVD sentezi, nano tüpün gerçek sentezini takip eden katalizör hazırlama aşamasını içeren iki aşamalı bir işlemdir. Katalizör, genellikle taban üzerine bir geçiş metali püskürtme yolu ile hazırlanır. Sonrasında çekirdeklenen katalizör parçasını indüklemek için termal tavlama veya kimyasal aşındırma kullanılır. Termal tavlama, büyüyecek olan nano tüplerden taban üzerinde bir küme oluşturmasıyla sonuçlanır. Amonyak, aşındırıcı olarak kullanılabilir. CVD yolu ile nano tüplerin sentezi için sıcaklık genellikle 650-900°C arasındadır ve istenilen sıcaklığa çıkarması belirli sıcaklıklara kadar mümkün olmaktadır (M. A. J. Veld).

Son yıllarda, termal-ısıtma ile CVD, plazma çoğaltma ile CVD, katalitik alkol CVD, buhar faz büyütme, aero-jel destekli CVD ve lazer yardımcı termal CVD yöntemleri geliştirilmiştir (Erik, 2010).

2.7. Kimyasal Püskürtme Yöntemi

Kimyasal püskürtme tekniği, elde edilecek malzemenin elementlerini içeren tuzlarından belirli konsantrasyonlarda ve hacimlerde hazırlanan sulu çözeltisinin önceden ısıtılmış cam, metalik veya seramik tabanlar üzerine belirli bir akış hızında belirli bir süre taşıyıcı gaz olarak azot gazı veya hava kullanılarak püskürtülmesine dayanan bir tekniktir. Katı filmler kimyasal reaksiyon sonucunda tabanlar üzerinde oluştuğu için, bu teknik kimyasal bir teknik olarak bilinir (Akyüz, 2005).

Kimyasal püskürtme tekniğinde püskürtme çözeltisinin konsantrasyonu ve miktarı, taban sıcaklığı, püskürtme başlığı ve taban arasındaki uzaklık, kullanılan katkı elementinin cinsi ve miktarı, püskürtme hızı ve zamanı, taşıyıcı gaz ve taban cinsi gibi deneysel parametreler elde edilen yarıiletken malzemenin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu deneysel parametrelerin değiştirilmesiyle yarıiletken malzemenin kalınlığı ve yasak enerji aralığı gibi fiziksel özellikleri değiştirilebilir (Engin, 2006).

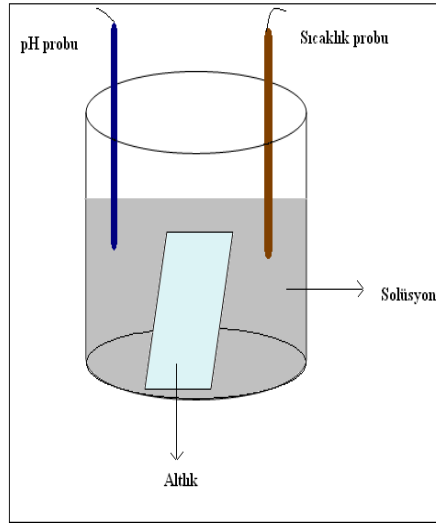
2.8. Sol-Jel Yöntemi

Sol-Jel kaplama tekniği malzeme biliminde kullanılan kolay ve ucuz tekniklerden bir tanesidir. Burada kollodial bir sıvı (sol) oluşturulması ve daha sonrasında bunun çöktürülerek (jel) katı ve sıvı faz arasında bir ara faz meydana gelmesi sağlanır. Daha sonra jelin kurutulması ile istenilen malzeme elde edilmiş olur. Çoğu zaman sol hazırlamada 4 önemli bileşen vardır. Bunlar uygun alkosit, çözücü, su (hidroliz) ve reaksiyon oranını kontrol etmek için bir asit veya katalizördür. Sol-jel kimyasını değiştirerek mikro yapının kolay kontrolü ve son ürünün yüksek homojenliği elde edilir ve istenilen özelliklerde ürünler üretilmesine imkan sağlar (Işık, 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kimyasal Banyo Tekniği (CBD)

Kimyasal banyo tekniği ince film büyütmede kullanılan oldukça basit ve kullanışlı solüsyon tabanlı kimyasal bir tekniktir. Bu teknikte temel amaç belli sıcaklık ve pH değerinde hazırlanan kolloid solüsyon içerisinde altlık malzeme üzerine belirli sürelerde büyütme işlemini gerçekleştirmektir.



Şekil 3.1. CBD yöntemi

3.1.1. Altık Temizleme

İndiyum kalay oksit kaplamalı olan ITO camlar, Lam camlara nazaran yüksek optik geçirgenlik ve düşük elektriksel direnç özelliği nedeniyle mükemmel bir iletken özelliği göstermektedir. Şeffaf olduklarından kaplama, biriktirme işlemlerinde çok tercih edilen camlardır.

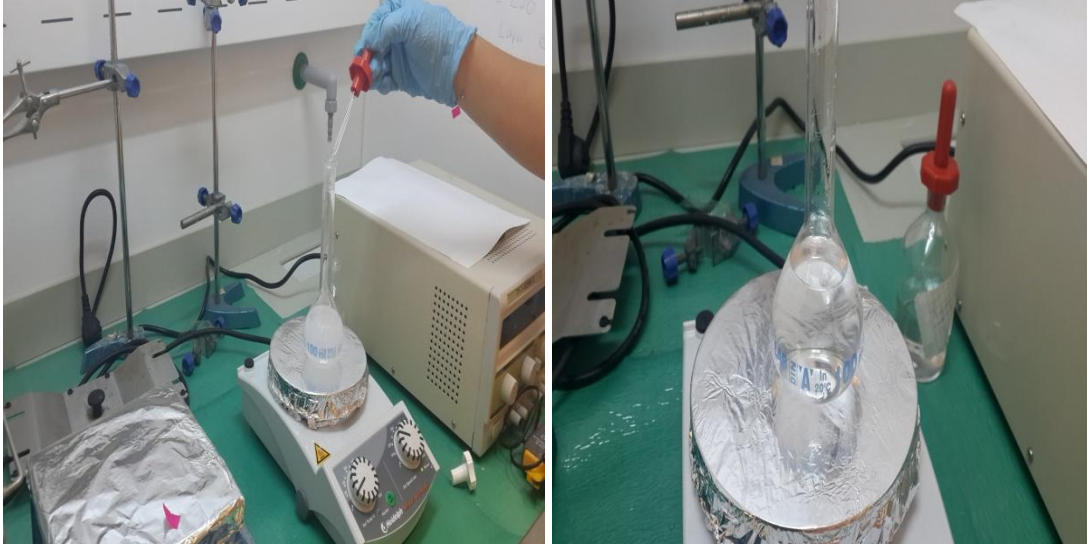


Şekil 3.2. Ultrasonik temizleyici

Bu çalışmada, ilk önce altlık malzemeler ITO ve Lam camlar sırasıyla aseton ve etanol içerisinde on dakika kadar ultrasonik temizleyicide temizlenmişlerdir. Daha sonra deiyonize su ile 10 dakika ultrasonik temizleyicide yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Altlıklar etüvde kurutularak büyütme işlemine hazır hale getirilmiştir.

3.1.2. Solüsyon Hazırlama

CdO nanoyapıların oluşması için gerekli olan solüsyonun kaynağı olarak CdCl_2 kullanılmıştır. İlk önce CdCl_2 saf suda çözülerek 0,03 M'lık çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra %30' luk amonyum hidroksit, sürekli karıştırılan solüsyona damla damla eklenerek, solüsyonun pH dengesi 9-10 civarlarında sağlanmıştır. Solüsyona amonyum hidroksit eklenmesi ile önce solüsyon bulanıklaşıp daha sonra berrak hale gelmektedir. Böylece solüsyon büyütme işlemi için hazır duruma gelmiştir.



Şekil 3.3. Kadmiyum klörür içerisinde amonyum hidroksidin eklenmesi

3.1.3. Depozisyon İşlemi

Bu çalışmada, CdO film büyütme işlemi için temizlenen altlıklar hazırlanan solüsyon içerisinde sırası ile 3 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C de kurutulmuştur.

Bu çalışmada, depozisyon işlemi için oluşturulan solüsyonda, ilk önce CdCl₂ solüsyonuna amonyum hidroksit eklenmesi sonucu kadmiyum klorürün ayrışması ile Cd⁺² iyonları amonyum hidroksitin (NH₄OH) ayrışmasıyla da OH⁻ iyonları oluşmaktadır. Dolayısı ile solüsyon içerisindeki atlık üzerine ilk aşamada Cd(OH)₂ yapısı büyümektedir.





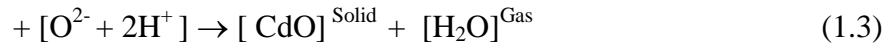
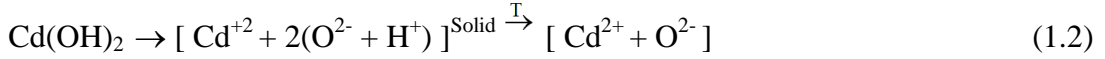
Şekil 3.4. Üç gün süreyle büyütülmüş Cd(OH)₂ yapısı

İlk önce oda sıcaklığında solüsyon içerisinde bir ve iki gün bekletme ile gerçekleştirilen büyütme denemeleri yapılması ile iyi sonuçlar elde edilmemiştir. Bununla birlikte her iki altlık içinde üç gün bekleme ile yapılan büyütme için oldukça keskin nanokristal piklerine sahip CdO yapılar elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Cam ve ITO altlık üzerine oluşturulmuş kadmiyum oksit filmler

Daha sonra altlık malzemeler 400 °C‘ de 2 saat tavlama işlemine maruz bırakılmaktadır. Tavlama öncesi ve sonrası renk değişimleri ITO ve Cam için resmedilmiştir. Burada aşağıda belirtilen reaksiyon gerçekleşip altlık üzerinde CdO yapısı oluşmaktadır.



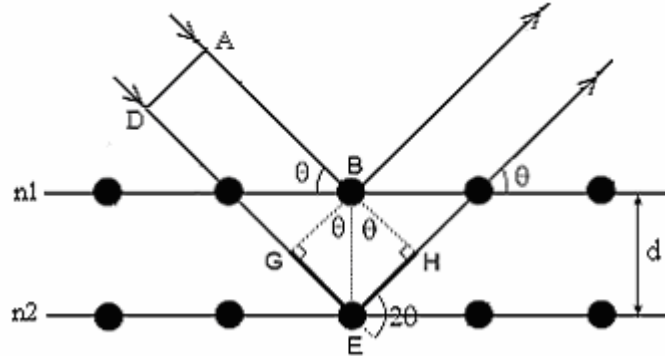
Burada tavlama esnasında su buharlaşarak yapıyı terk etmektedir. Tavlama öncesi beyaz renkte olan film tavlama sonrası CdO yapı rengi olan kahverengiye dönüşmektedir.

3.2. Analiz Teknikleri

3.2.1. X-Işını Kırınımı (XRD)

X-Işını kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir (Yıldırım, 2013).

Üretilen filmlerin kristal yapılarını belirlemek için X-Işınları kırınımı (XRD) analizleri yapılmaktadır (Türkmen, 2006).



Şekil 3.6. X-ışınlarının kristal tarafından kırınımına uğratılması (Göde, 2007).

Bir kristalden kırınım olayının açıklanması W.L. Bragg tarafından yapılmıştır. Kırınım olayı kristaldeki atomların oluşturduğu farklı düzlem tabakalarından yansıyan dalgaların girişimleri sonucu oluşur. Yansıma düzlemleri kristalin yüzeyini oluşturan düzlemlerden tamamen farklı olabilir. Kristalin paralel düzlemlerine açı yaparak gelen tek dalga boylu X-ışınlarının kırılmadığı kabul edilirse, kristale giren X-ışınları düzlemlerden açı yaparak yansıyacaktır. Bu ışınlar yol farkından dolayı birbirlerini yapıcı veya yıkıcı yönde etkilerler. Girişim yapıcı ise A ve D nolu ışınlar arasındaki yol farkı, dalga boylarının tam katlarına eşit olmalıdır. Bu eşitlik Bragg yasası olarak bilinir (Göde, 2007).

Tablo 5.1' de Bragg yasası kullanılarak, Bragg açısı θ 'nın ölçülmesiyle kristal içindeki paralel düzlemler arası mesafe 'd' bulunmuştur.

Bragg yasası;

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (n=1) \quad (1.4)$$

n; tam sayı

d; kristal düzlemleri arasındaki mesafe

λ ; gelen ışının dalga boyu

2θ ; Difraksiyon açısı

θ ; kristal düzlemleri üzerine düşen ışınların düzlemlerle yaptıkları açıdır.

Bu alışmada, Erzincan niversitesi laboratuvarlarında bulunan Panalytical Empyrean marka/model X- ışını kırınım cihazı kullanılarak CdO filmlerin kristal yapıları karakterize edilmiştir.



şekil 3.7. Erzincan niversitesi laboratuvarlarında bulunan Panalytical Empyrean marka/model XRD cihazı

3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Üretilen numunelerin yüzey yapısını belirlemek için; taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları yaygın olarak yapılmaktadır. Yüzeyden alınan SEM görüntüleri bize nano yapıların yapısal oluşumları hakkında bilgiler vermektedir (Türkmen, 2009). Özellikle nano ölçeklerde alınan SEM görüntüleri elektriksel iletkenliğe etki eden parçacık boyutlarının nanotellerin yapı içinde nasıl şekillendiğini bize göstermektedir (Türkmen, 2009).

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazında mikroanaliz numune üzerine odaklanan elektron demetinin yarattığı x-ışınları sinyallerinin şiddet dağılımı ve enerjilerinin ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Enerji dağılım spektrometresinin (EDS) eklenmesi ile malzemelerin elementel bileşimleri hakkında bilgi edinilebilir (Akyüz, 2005).

Özellikle sulu çözeltilerden üretilen yarıiletkenlerin içinde çözeltiden gelen katkılar olup olmadığını belirlemek için EDS analizleri yapmak gerekmektedir. Optik özellikleri belirlemek için gelen ışığın dalga boyuna karşılık geçirgenlik veya absorptans ölçümleri yapılmaktadır. Yapılan ölçümlerden yarıiletkenin optik band aralığı hesaplanmaktadır. Optik ölçümler aynı zamanda yapısal oluşumlar hakkında da bilgiler edinmemizi sağlamaktadır (Türkmen, 2006).

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir (Yıldırım, 2013).

Bu çalışmada, numunelerin yüzey özelliklerini karakterize etmek için Erzurum Atatürk Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan FEI Inspect 550 marka SEM cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Atatürk Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan FEI Inspect 550 marka SEM cihazı

3.2.3. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektrometre

Bir atomun iç yörünge elektronlarının uyarılması sonucu oluşan boşluğun, üst kabuklardan gelen elektronlar tarafından doldurulması sonucu, karakteristik x-ışını yayınlanmaktadır (Yurtcan 2011). Yayınlanan x-ışınlarının enerjilerinin ölçümleri sayesinde, numune içerisindeki elementlerin tespitini yapmak için Enerji Dağılımlı X-ışını Spektrometresi (EDS) ölçümleri yapılmaktadır (Morkoç Karadeniz, 2011).

Numunelerin EDS spektrumları Erzurum Atatürk Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan FEI Inspect 550 marka SEM cihazı kullanılarak alınmıştır.

3.2.4. Ultraviole Spektrofotometre (UV)

Ultraviyole spektroskopi ölçümleri (UV), enerji seviyeleri arasındaki elektron geçişlerini kullanarak atomların bağlanma düzenleri hakkında bilgi verir. Bu yolla malzemenin optiksel özellikleri hakkında bilgi edinilir. İki ışınlı, iki ışık kesici ve oran kayıtlı monokromator içeren UV-vis spektrometreler, vardır. UV-vis spektrometre ultraviyole ve görünür ışık absorpsiyon dalga boyu ve yoğunluğunu ölçer (Yeter, 2012).



Şekil 3.9. Erzincan Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Perkin Elmer marka/model UV spektrofotometre cihazı

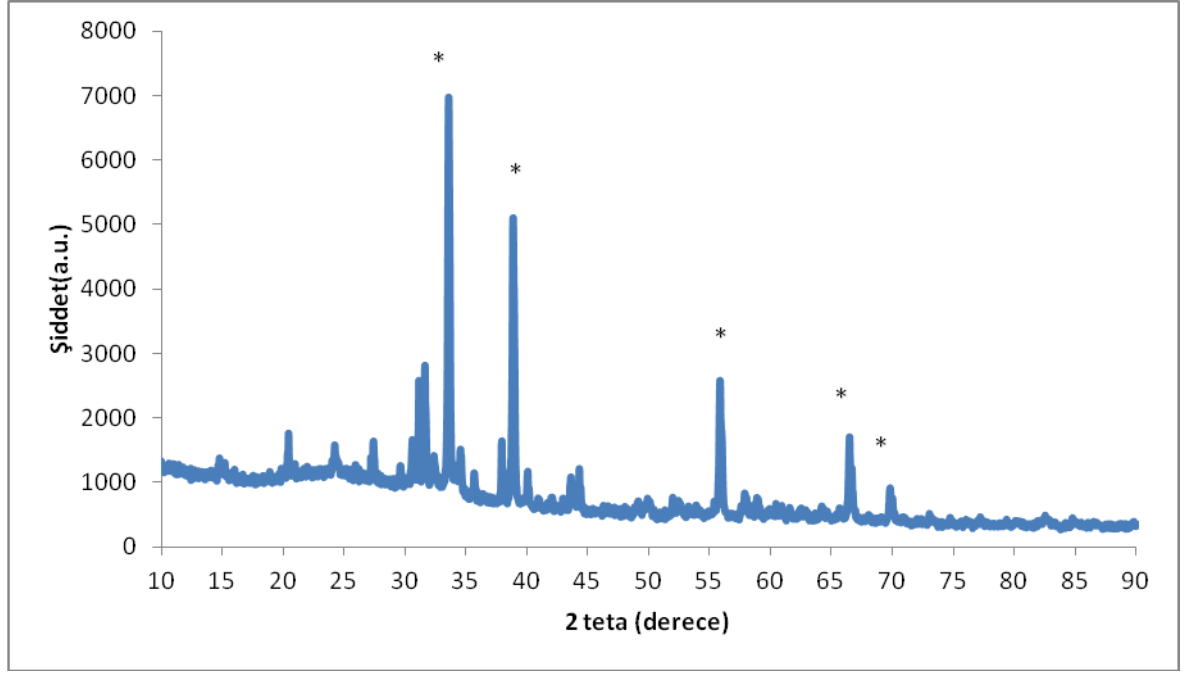
Bu çalışmada Erzincan Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Perkin Elmer marka/model UV spektrofotometre cihazı kullanılarak CdO filmlerin geçirgenlik-soğurma oranlarındaki değişimler tespit edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

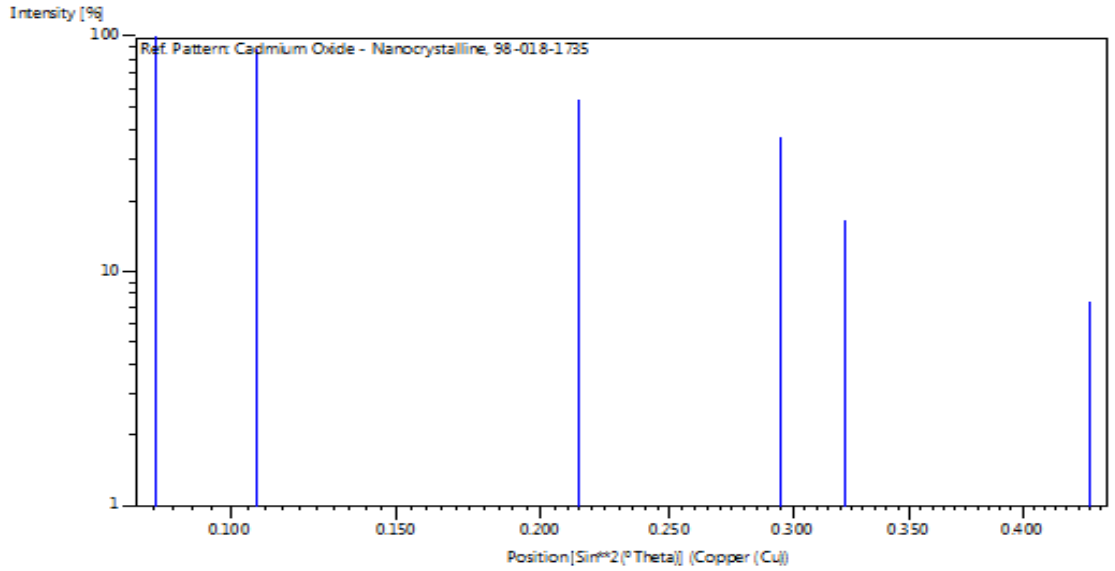
CdO yapıların yüzey yapısı SEM, EDS , kristal yapısı XRD ve optik özellikleri UV ölçümleri ile elde edilmiştir.

4.1.1. Cam Altlık Üzerine CdO Büyütme

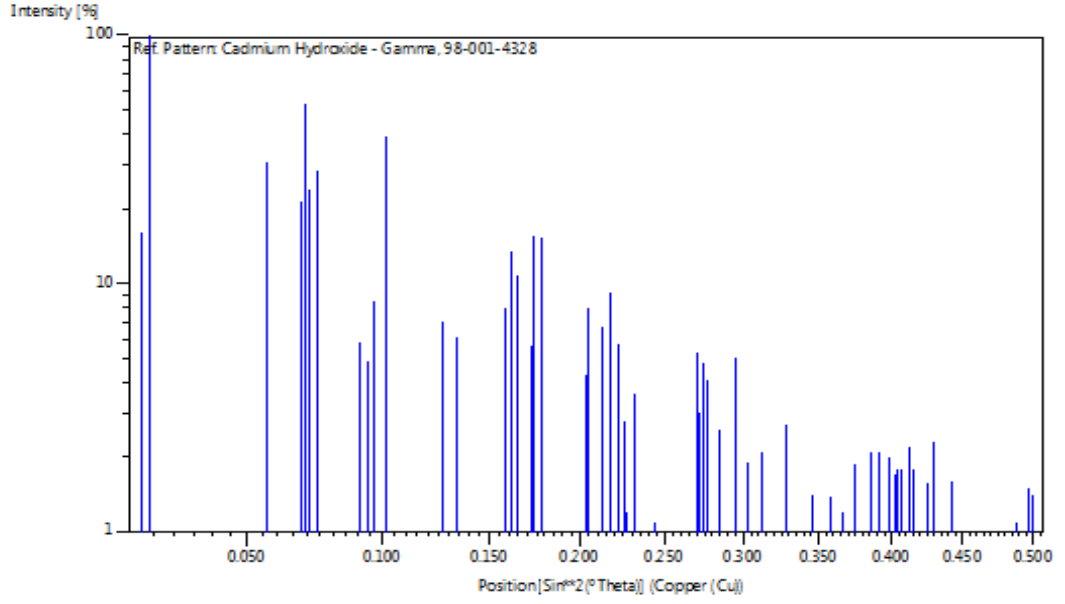
Şekil 4.1.' de solüsyon içerisinde cam altlık üzerine oda sıcaklığında sırasıyla 3 gün bekletilerek büyütülen CdO filmlerin XRD spektrumları görülmektedir. 3 günlük bekleme için kübik CdO pikleri ile birlikte, başka piklerde çıkmıştır. Bu da yapının birden fazla kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Spektrumda yıldızla gösterilen yapılar nanokristal kübik yapı piklerine uyan, CdO pikleridir. En şiddetli pik (111) düzleminden gelmektedir, bu durum yapılan çalışmalar ile uyumludur (Meikap, 1988). Diğer pikler monoklinik yapıdaki kadmiyum hidroksit pikleri ile uyum gösterdiği gibi, hexagonal yapıdaki CdO pikleri ile de uyum göstermektedir. Bu açıdan yapının bir çok kristal yapısı gösterdiği, buna rağmen kübik CdO yapısının baskın olduğu sonucuna varılabilir (Kuo and Lu, 2008; Wolff, 1967). Bunun yanısıra kübik yapı pikleri için tanecik boyutları, piklerin elde edildiği kristal düzlemleri ve d değerleri Tablo 5.1.' de verilmektedir.



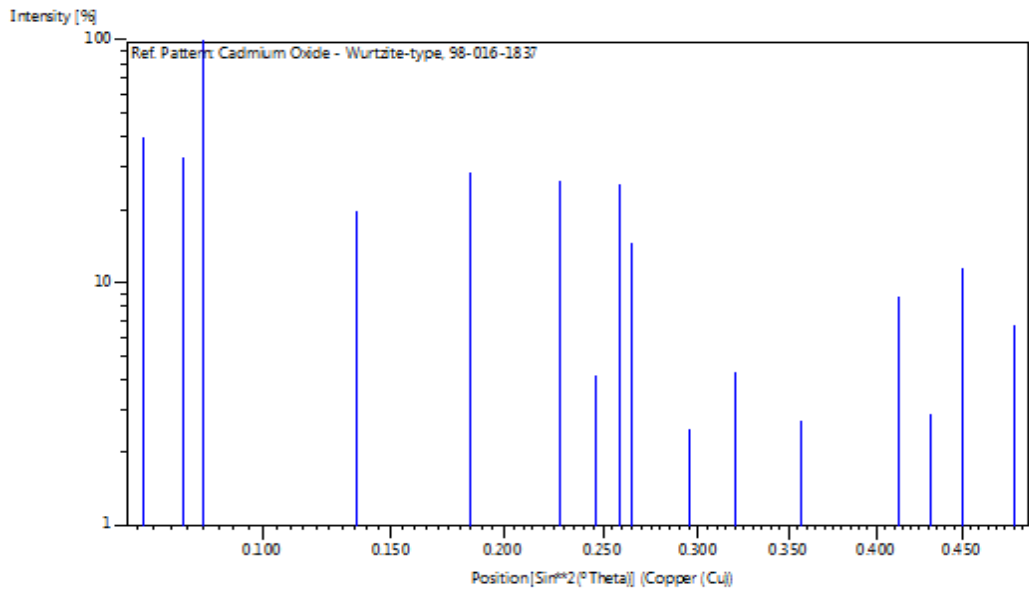
Şekil 4.1. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin XRD spektrumu .



Şekil 4.2. Kübik CdO yapısının XRD spektrumu (Mass et al., 2011).

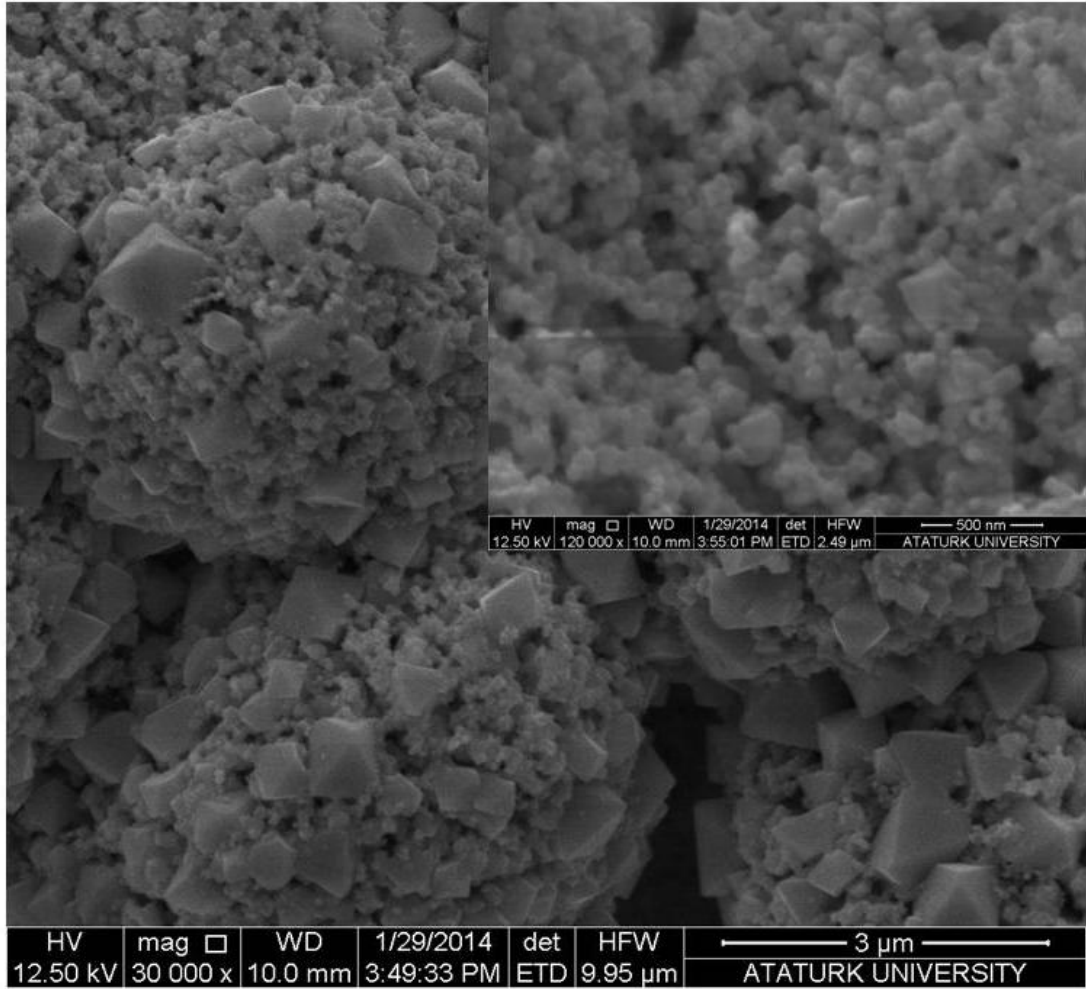


Şekil 4.3. Monoklinik Cd(OH)₂ yapısının XRD spektrumu (Wolff, 1967).

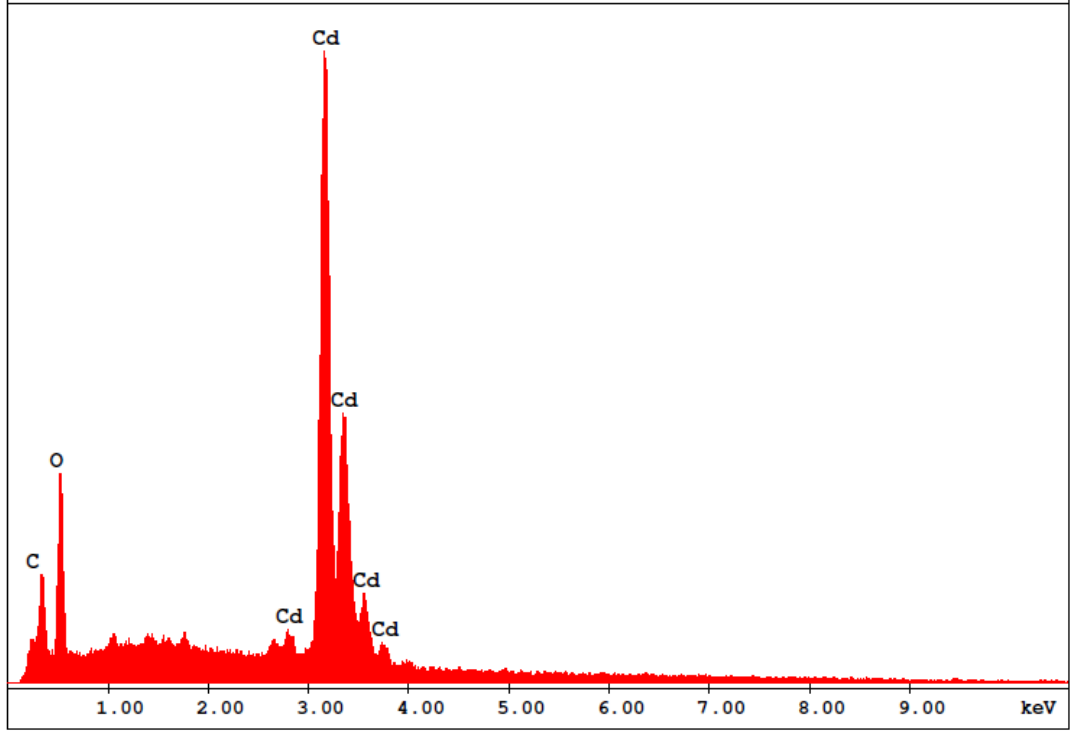


Şekil 4.4. Hekzagonal CdO yapısının XRD spektrumu (Kuo and Lu, 2008).

Şekil 4.5.' de solüsyon içerisinde cam altlık üzerine oda sıcaklığında sırasıyla üç gün bekletilerek büyütülen CdO filmlerin SEM görüntüsü görülmektedir. Üç gün bekletme ile cam üzerine rastgele büyüyen nanoyapılar ara ara piramit benzeri şekillerle var olmaktadır. Bu yapı tüm yüzey boyunca görülmektedir. SEM resimleri 30.000 ve 120.000 büyütmede alınmıştır. Aynı yapılar için elde edilen EDS sonuçları Şekil 4.6.' de görülmektedir. EDS sonuçlarında Cd ve O pikleri elde edilmiştir. Cd:O atomik oranı 0,86 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekletme ile büyütülen ve 400 °C' de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin SEM görüntüsü.

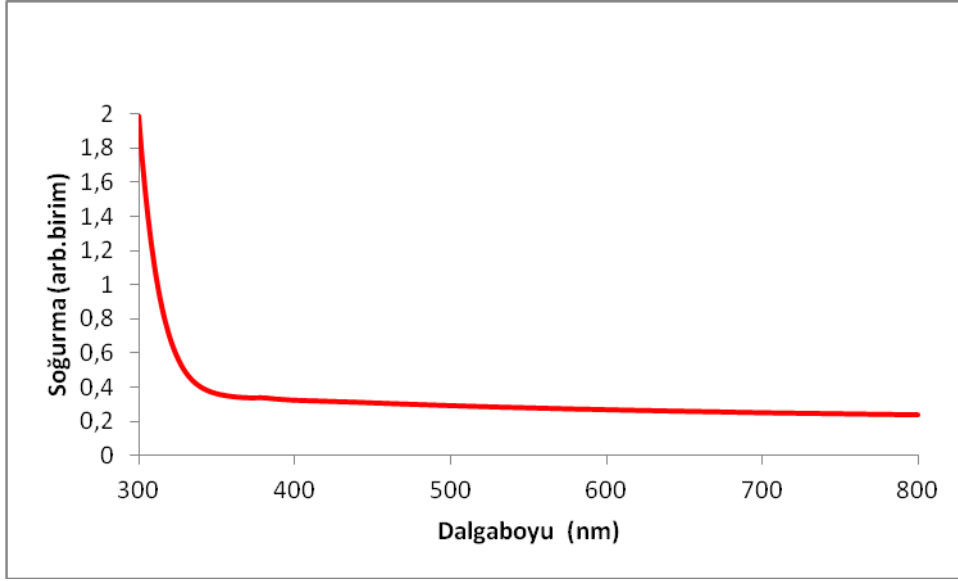


Şekil 4.6. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin EDS spektrumu.

Şekil 4.7.' de cam altlık üzerine büyütülen yapının UV spektrumu görülmektedir. Dalga boyuna göre soğurma grafiğinde görüldüğü gibi minimum soğurma noktasına karşılık gelen maksimum geçirgenlik;

$$A = 2 - \text{Log}_{10} \% T \quad (1.6)$$

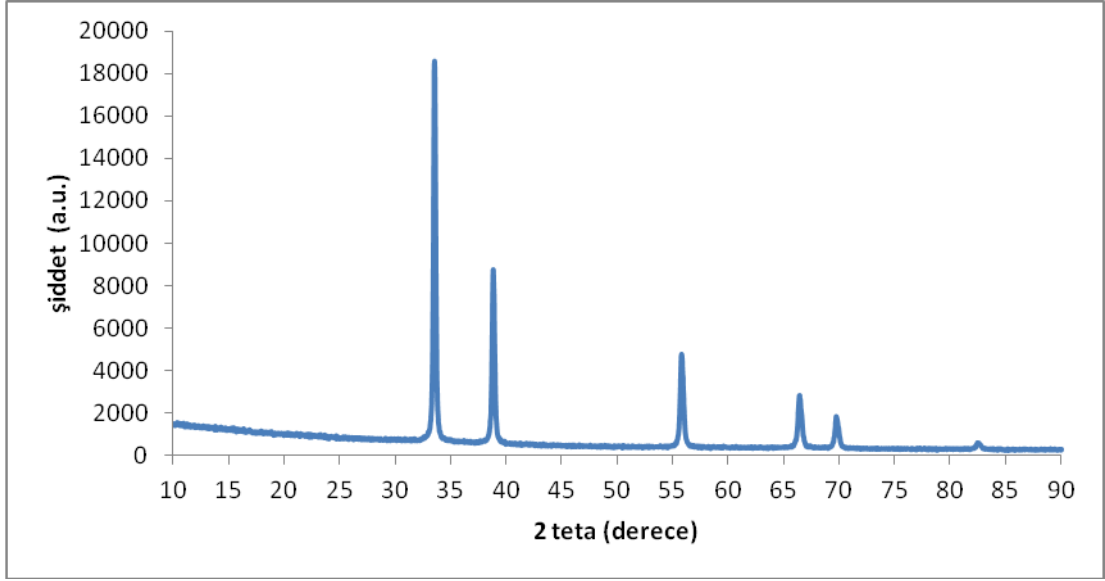
eşitliğinden hesaplanabilmektedir. Bu ifadeye göre maksimum geçirgenlik yaklaşık olarak % 45 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C' de tavlanan cam altlık üzerindeki CdO ince filmin UV spektrumu.

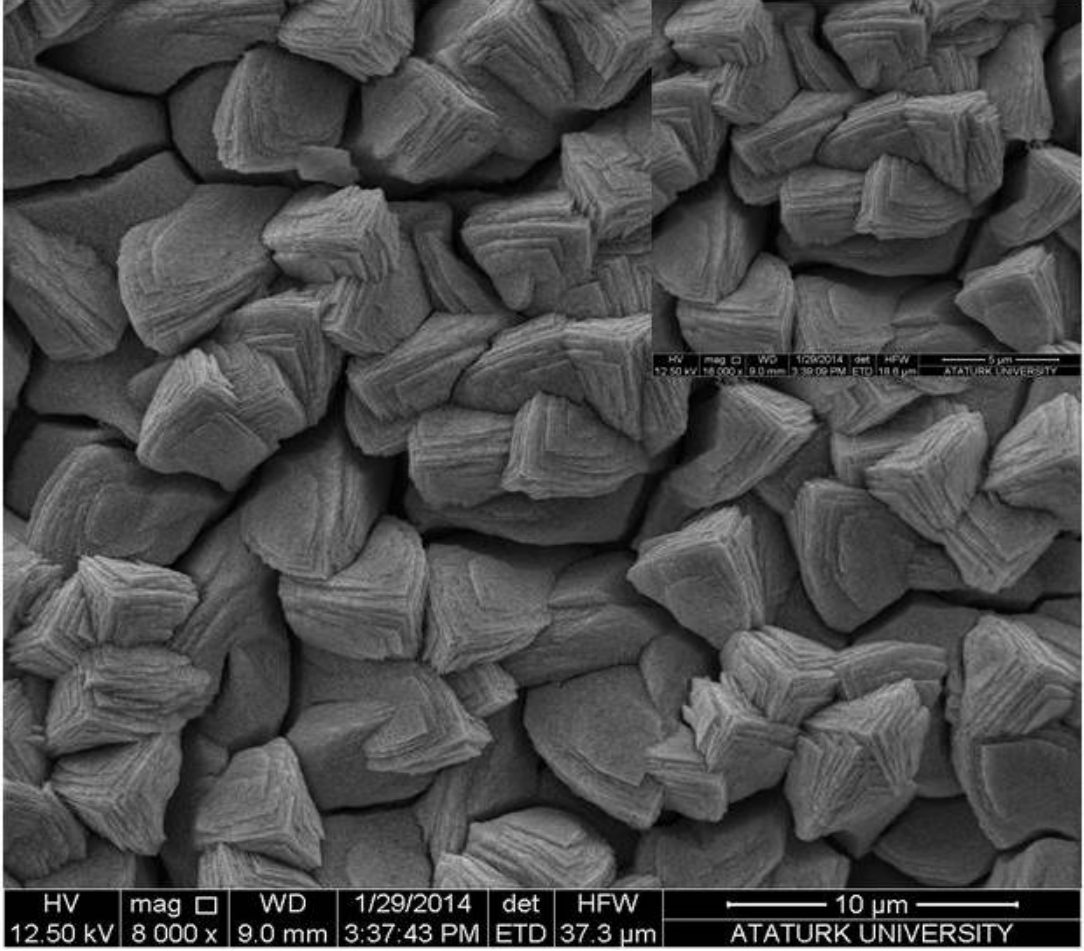
4.1.2. ITO Altlık Üzerindeki CdO Büyütme

Şekil 4.8.' de solüsyon içerisinde ITO altlık üzerine oda sıcaklığında sırasıyla üç gün bekletilerek büyütülen CdO filmlerin XRD spektrumları görülmektedir. Üç gün bekletilme sonucu ITO üzerine büyüyen CdO yapıların pikleri cama göre daha şiddetli bir şekilde ortaya çıkmış ve camda olduğu gibi diğer pikler yoktur. Bunun yanısıra tanecik boyutları, piklerin elde edildiği kristal düzlemleri ve d değerleri Tablo 5.2.' de verilmektedir.

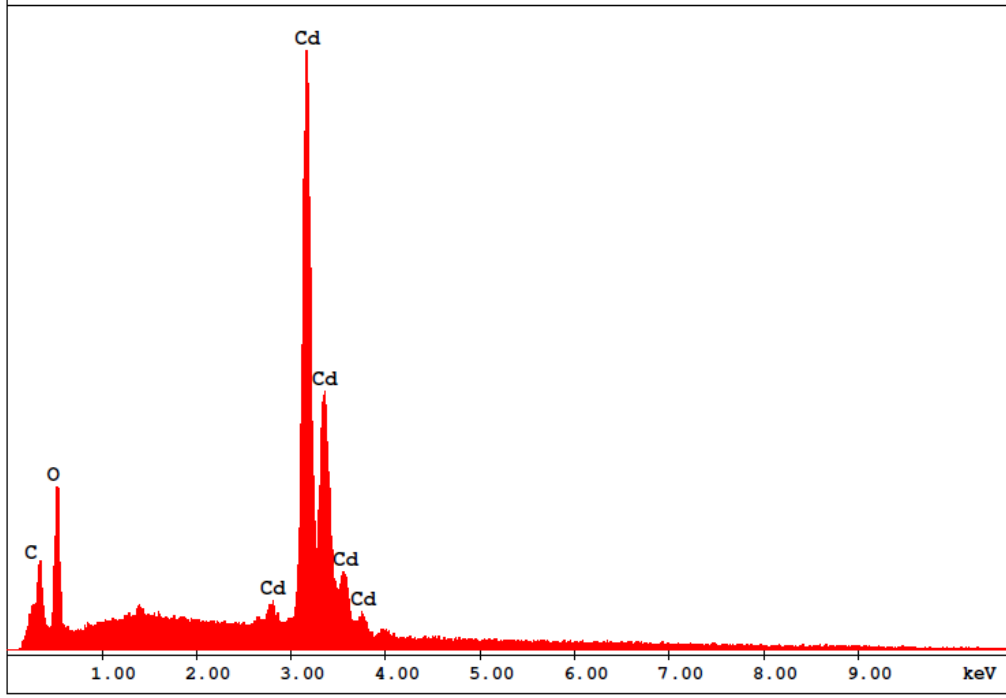


Şekil 4.8. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekletme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin XRD spektrumu.

Şekil 4.9.' da ITO altlık üzerine oda sıcaklığında sırasıyla üç gün bekletilerek büyütülen CdO filmlerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları görülmektedir. ITO altlık üzerine büyütülen CdO yapı için SEM görüntüleri 8.000 ve 16.000 büyütmede elde edilmiştir. Üç gün bekletme sonucu altlık üzerinde plate (sheet) benzeri tabaka yapılar oluştuğu gözlenmiştir. Tabakalı yapıların şekil 4.9.' da görüldüğü nanotabaka yapılar olduğu ve oldukça yoğun bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Bu tür büyüyen yapılar ITO’ nun kristal yapısından dolayı düzgün ve homojen bir dağılım göstermektedir. Her iki yapıda da tavlama sonucu beyaz yapı kahverengiye dönüşürken, ITO üzerine oluşan yapı cama göre oldukça koyudur. Şekil 4.10.' da bu yapının EDS spektrumu görülmektedir. Yapıda Cd:O atomik oranı 0,96' dır. Bu değer 1 değerine oldukça yakındır bu da ITO üzerine oluşturulan filmin kübik * yapıda çok iyi kristalleştiğinin bir başka kanıtıdır.

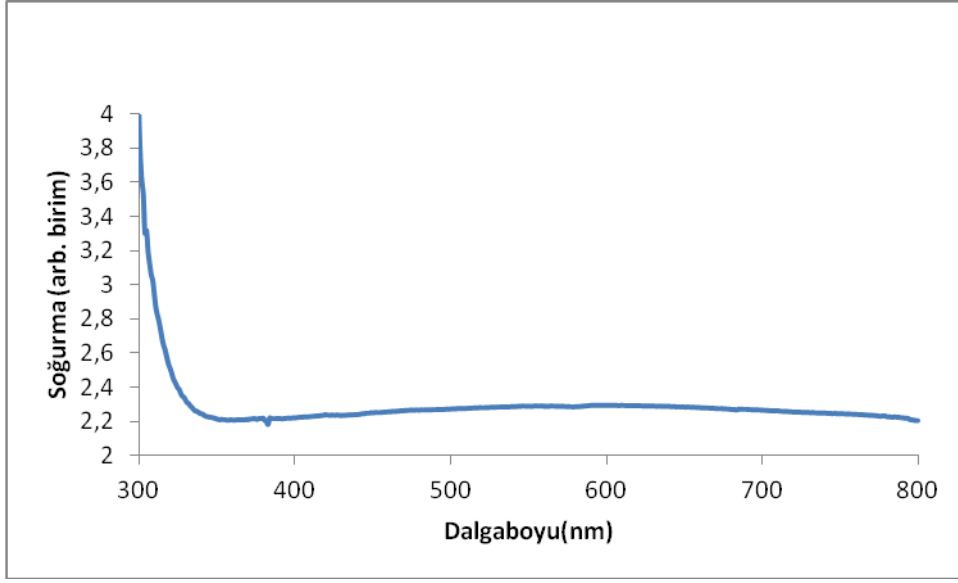


Şekil 4.9. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin SEM görüntüsü.



Şekil 4.10. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin EDS spektrumu.

Şekil 4.11.’ de ITO altlık üzerine oluşturulan CdO yapının UV spektrumu gösterilmektedir. Bu yapı oldukça yüksek soğurma göstermektedir. Camda olduğundan farklı olarak % geçirgenlik miktarı oldukça düşük olup maksimum değeri yaklaşık % 1 civarındadır. Bu da yapının cama göre daha yüksek kalınlıkta olduğunu ve geçirgen olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.11. Kimyasal banyo depolama yöntemi ile solüsyon kullanılarak 3 gün bekleme ile büyütülen ve 400 °C’ de tavlanan ITO altlık üzerindeki CdO ince filmin UV spektrumu.

5. SONUÇ

Bu çalışmada cam ve ITO altlık üzerine aynı şartlarda kimyasal banyo tekniği ile büyütülen kadmiyum oksit yapıların yapısal ve optik özellikleri değerlendirilmiştir. Cam üzerine oluşturulan yapı karışık (mixed) bir yapı olması ile birlikte aynı şartlarda ITO üzerine oluşturulan yapı için XRD spektrumlarına baktığımızda bulk yapıda oldukça iyi kristalleşmiş CdO piklerinin varlığı görülmektedir. Bu yapı, yapılan diğer çalışmalarda (Mass et al., 2011; Meikap et al., 1988) belirtilen CdO nanokristal kübik yapının pikleri ile birebir uyumludur. Maksimum pik kübik yapıya uygun olarak (111) düzleminde elde edilmiştir.

Tablo 5.2.' de bu yapıyla ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca yine bu tablodan görüldüğü gibi tanecik boyutu 34 nm ile 135 nm aralığında değişmektedir. Ortalama tanecik boyutu ise 60-65 nm civarındadır. Bu yapının SEM görüntülerine baktığımızda ITO üzerine oluşturulan yapının oldukça düzgün bir şekilde yüzeyde tabaka tabaka büyüdüğü görülmektedir. Bu tabakalı yapıların kalınlıkları oldukça düşük olduğundan nanotabaka olarak değerlendirilir, stokiometrik 0,96 nm atomik oranla bu yapının ITO altlık üzerine oldukça iyi bir kristalleşme gösterdiğinin bir başka kanıtıdır. Bu yapının UV sonuçları değerlendirildiğinde geçirgenliği oldukça düşük, soğurması yüksektir.

Tablo 5.1.' de tanecik boylarını, pik genişliğini bulmak için;

$$B(2\theta) = K\lambda / L \cos\theta \quad (1.7)$$

Kristalit boyutu genişletilmesi formülüyle hesaplanmaktadır.

Tepe genişliği $B(2\theta)$ kristal büyüklüğünün (L) ile ters orantılı olarak değişir. L kristal kalınlığının hacim ortalamasıdır. Kristalin genişliği belirleninceye kadar Scherrer sabiti $K=1$ kabul edilir (Langford and Wilson, 1978).

$$B(2\theta) = \lambda / L \cos\theta \quad (1.8)$$

Bu yöntemler tepe genişliği yarı maksimumdaki tam genişlik (FWHM) tanımlamak için kullanılır (Scherrer, 1918). FWHM hesaplaması sonrası tanecik boyutu hesaplanabilmektedir. Hesaplanan tanecik boyutları Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmektedir

Tablo 5.1. Cam altlık üzerine büyütülen CdO nanoyapıların XRD sonuçlarının referans sonuçları ile karşılaştırılması (Mass et al., 2011).

<i>Referans Piki Açtı değeri (2 θ)</i>	<i>CdO/Cam Numune Açtı değeri (2 θ)</i>	<i>Referans Piki d değeri (Å)</i>	<i>CdO/Cam Numune d değeri (Å)</i>	<i>CdO/Cam Numune Tanecik büyüklüğü (nm)</i>	<i>CdO/Cam Numune referansa göre (h k l) değerleri</i>
33.099	33.25	2.70431	2.69	84.1	(111)
38.405	38.54	2.34200	2.33	48.7	(002)
55.439	55.52	1.65604	1.653	121.25	(022)
66.108	66.135	1.41228	1.411	134.9	(113)
69.456	69.502	1.351	1.348	1838.9	(222)
82.267	82.32	1.17100	1.17	12.74	(004)

Tablo 5.2. ITO altlık üzerine büyütülen CdO nanoyapıların XRD sonuçlarının referans sonuçları ile karşılaştırılması (Mass et al., 2011).

<i>Referans Piki Açı değeri (2 θ)</i>	<i>CdO/ITO Numune Açığı değeri (2 θ)</i>	<i>Referans Piki d değeri (Å)</i>	<i>CdO/ITO Numune d değeri (Å)</i>	<i>CdO/ITO Numune Tanecik büyüklüğü (nm)</i>	<i>CdO/ITO Numune referansa göre (h k l) değerleri</i>
33.099	33.529	2.70431	2.672	55.86	(111)
38.405	38.799	2.34200	2.320	48.80	(002)
55.439	55.764	1.65604	1.648	34.57	(022)
66.108	66.375	1.41228	1.407	136.1	(113)
69.456	69.698	1.35215	1.348	41.2	(222)
82.267	82.438	1.17100	1.169	100.4	(004)

CdO ince filmlerinin UV spektrumundan yasak enerji aralığını bulmak için aşağıdaki temel eşitlik göz önüne alınır;

$$\alpha h\nu = K (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1.9)$$

burada α soğurma katsayısı, K sabit bir sayı, $h\nu$ foton enerjisi, E_g yarıiletkenin enerji bant aralığıdır (Kırmızıgül, 2008).

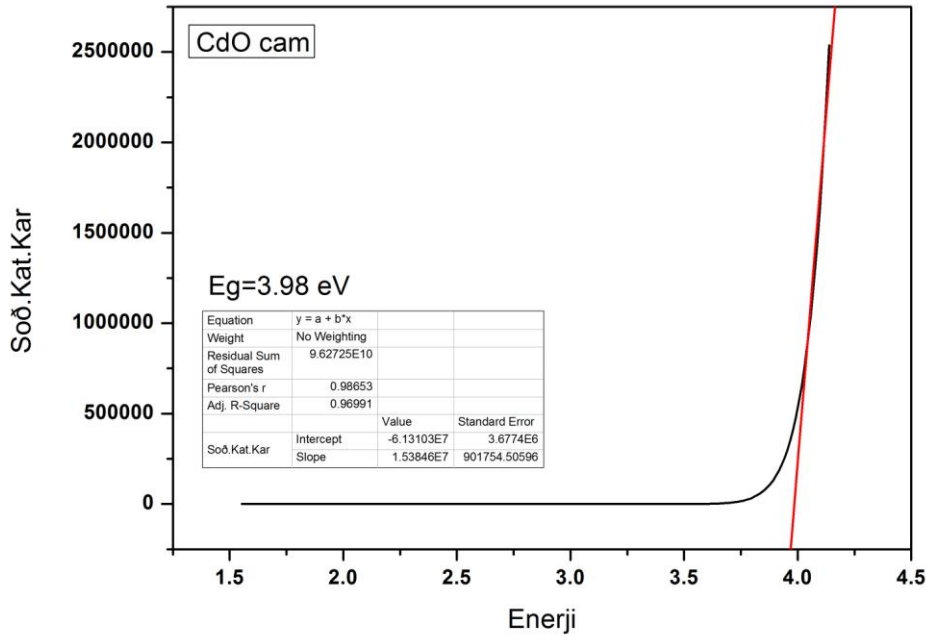
Filmlerin soğurma katsayısı değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\alpha = -1/t \ln(T/T_0) \quad (1.10)$$

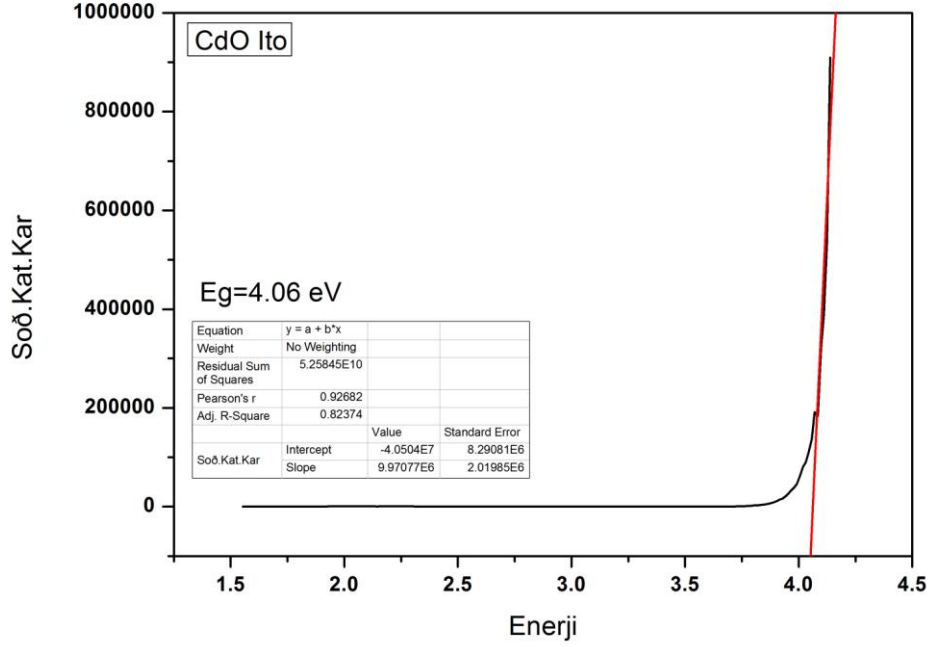
Burada t filmin kalınlığını, T_0 gelen ışığın şiddetini ve T geçen ışığın şiddetini göstermektedir (Kırmızıgül, 2008).

UV- spektrumlarından yararlanarak ITO ve cam altlık için büyütülen CdO filmlerin enerji bant diyagramları şekil 5.1. ve 5.2.' de verilmiştir. Kübik nanoyapıdaki CdO filmlerin enerji bant aralıklarındaki değişim literatürde bildirilmiştir (Dong and Zhu, 2003; Ghosh, 2004; Manickathai et al., 2008). Bulk yapıdaki CdO' nun enerji bant aralığı 2,3 eV civarında olmakla birlikte nano yapıdaki CdO' nun enerji bant aralığı 3 ve 3,5 eV' un üzerinde hesaplanmıştır (Dong and Zhu, 2003; Ghosh, 2004; Manickathai et al., 2008).

Bizim yaptığımız çalışmada cam altlık için bant aralığı 3,9 eV, ITO altlık için 4,05 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. CdO cam altlık için enerji bant diyagramı



Şekil 5.2. CdO ITO atlık için enerji band diyagramı

Bu çalışmada tüm sonuçlar değerlendirildiğinde; başarılı bir şekilde kübik yapıda CdO filmlerin büyütüldüğü ve ITO altlık üzerine büyüyen yapıların daha iyi kristal yüzey yapısına sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Soğurma katsayısı yüksek olan bu yapının UV sonuçları özellikle nanobiyo teknolojide bazı bakterilerin antibakteriyel etkisini incelemek için kullanılan CdO nanoparçacıklar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Salehi et al., 2014). Bununla birlikte bulk yapıya göre daha yüksek enerji bant aralığına sahip yapılar elde edilmiştir. Ayrıca ITO üzerine büyütülen CdO ince filmlerin yüzey morfolojisi incelendiğinde prizma benzeri nanotabakalı yapıların elde edildiği görülmüştür. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, kübik kristal yapısına sahip bu tür yüzey morfolojisi elde edilen yüksek kalitede CdO nanoyapıların, LPG gaz sensörlerde kullanıldığı görülmektedir (Bulakhe at al., 2014). Bu çalışmada elde edilen CdO nanoyapılar da LPG gaz sensörleri için uygun yapılardır.

KAYNAKLAR

Aksoy, B., “Germanyum nanotelerin buhar transferi yöntemi ile sentezi ve şeffaf, esnek fotoalgılayıcı üretimi”. Yüksek Lisans Tezi. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara , (2012).

Akyüz, İ., “CdO filmlerin bazı fiziksel özellikleri üzerine AI katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri”. Doktora Tezi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2005).

Asahi, R., Wang, A., Babcock, J. R., Edleman, N. L., Metz, A.W., Lane, M.A., Dravid, V. P., Kannewurf, C. R., Freeman, A. J. and Marks, T. J., 2002, “First-principles calculations for understanding high conductivity and optical transparency in InxCd1-xO films, Thin Solid Films”, 411, 101-105.

Ashrafi, A.B.M.A., Kumano, H., Suemune, I., Ok, Y. W. and Seong, T.Y., “CdO epitaxial layers grown on (001) GaAs surfaces by metalorganic molecular-beam epitaxy, Journal of Crystal Growth”, 237-239, 518-522 (2002).

Aydoğan, Ş., Katıhal Fiziği, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 221-225, 503-507 (2011).

Bayındır, M., "Nanoteknoloji hayatımızda bilim ve ütopya", *Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi*, Ankara, (2005).

Bozdoğan, Ö., “Kimyasal depolama yöntemi ile MoSe₂ ince filmlerin alınması ve fiziksel özelliklerinin araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kars, (2009).

Bozer, A., “Nanokristalli MOS (Metal Oksit Yarıiletken) kapasitörlerde zamana bağlı kapasitans ölçümleri”. Yüksek Lisans Tezi. *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, (2013).

Bulakhe R.N., Lokhande C.D., “ Chemically deposited cubic structured CdO thin films: Use in liquefied petroleum gas sensor”, *Sensors and Actuators B* 200 245–250, (2014).

Canci, U., “CBD yöntemiyle hazırlanmış katkılı ve katkısız CdS ince filmlerin elektriksel ve optiksel özelliklerinin belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi”. *Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2009).

Cihandiramouli, R., Jeyaprakash, B. G. Review of “CdO thim films”. *Solid State Sciences*, 2013.

Çoban, M.B., “Kimyasal püskürtme tekniği ile üretilen CdO bileşiklerinin yapısal ve optik özellikleri”.Yüksek Lisans Tezi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2011).

Dhawale, D.S., More, A.M., Latthe, S.S. Rajpure, K.Y., Lokhande, C.D., “Room temperature synthesis and characterization of CdO nanowires by chemical bath deposition (CBD) method”. *Applied Surface Science*, 254 (2008) 3269–3273 (2007).

De Wolff, P.M., *Acta Crystallographica* (1, 1948-23,1967), 22, 441-441, (1967).

Dong, W., Zhu, C., “Optical properties of surface- modified CdO nanoparticles”. *Optical Materials*, 227-233, 22(2003).

Düzgün, B., *Krisolografı*, (2009).

Engin, M., “CuO:Zn filmlerinin ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile üretilmesi ve bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2006).

Erel, S., “He-Cd lazer kaynağı kullanarak II-IV bileşenlerinden bulk ve koloidal haldeki bazı yarıiletken malzemelerin farklı sıcaklıklardaki fotolüminesans yayılımının incelenmesi”. Doktora Tezi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (1996).

Erik,M., “Nano tüplerin kimyasal buhar depolama yöntemi ile sentezlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2010).

Ferro, R. and Rodriguez, J.A., 1999, “Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis”, *Thin Solid Films*, 347, 295-298.

Ghosh, M., “Solvothelmal synthesis of CdO and CuO nanocrystals. C. N. R. rao. chemical physics letters”. 493-497 393(2004).

Göde, F., “Kimyasal depolama yöntemi ile ZnS yarıiletken filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi”. Doktora Tezi. *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2007).

Gurumurugan, K., Mangalaraj, D., Narayandass, Sa.N., Nakanishi, Y. and Hatanaka, Y.,1997, Composition studies on CdO thin films formed by pyrolysis and sputtering, *Applied Surface Science*, 1137114, 422-425.

Işık , D., “Sol-gel derived tungsten oxide based electrochromic coatings”. Doktora Tezi. (2009).

Kamblea, A.S., Pawara, R.C., Patil, J.Y., Suryavanshi, S.S., Patil, P.S., “From nanowires to cubes of CdO: ethanol gas response”. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (2011) 1035–1039, (2010).

Kırmızıgül, F., “CdO ince filmlerin püskürtme yöntemi ile hazırlanması”. Yüksek Lisans Tezi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2008).
Köksal, F., Katıhal Fiziği, (2006).

Korkmaz, E., “ZnO ve CdO ikili yarıiletken bileşiklerin sılar ve sol-jel teknikler ile büyütülmesi ve yapısal analizleri”. Yüksek Lisans Tezi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2011).

Langford, J. I. and Wilson, A.J.C., Scherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size, *J. Appl. Cryst.* 11 (1978) pp 102-113.

Li, X., Gessert, T., Dehart, C., Barnes, T., Moutinho, H., Yan, Y., Young, D., Young, M., Perkins, J. and Coutts, T, 2001, A comparison of composite transparent conducting oxides based on the binary compounds CdO and SnO₂, Conference paper, To be presented at the NCPV Program Review Meeting Lakewood, Colorado 14-17 October (2001).

Lu, Y. M.; Kuo Jerlai; Shen, Z.-X.; Sun, H.-D.; Fan, X.-F., *Journal of Physics: Condensed Matter*, 20, 0, (2008).

Mass, J.; Gonzalez, D.; Ben, T.; Lozano, J. G.; Fath, R.; Dieguez, E.; Olvera, J.; De Dios, S.; Plaza, J. L.; Jimenez, J.; Hortelano, V.; Martinez, O., *Journal of Alloys Compd.* 509, 5400-5407, (2011).

Manickathai, K., Kasi, Viswanathan, S., Alagar, M. Synthesis and Characterization of CdO and CdS Nanoparticles. *Indian Journal of Pure, applied Physics*, 626 123, 600 036, (2008).

Meikap, A.K.; Pradhan, S.K.; Sinha, M.; Chakraborty, G.; Ghatak, S., *Physica B: Condensed Matter*. Amsterdam, (152,1988), 406, 3261-3266, (2011).

Morkoç Karadeniz, S., “Nanoyapıda tungesten oksit ince filmlerin büyütülmesi ve yapısal, elektriksel, optiksel özelliklerinin incelenmesi”. Doktora Tezi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2011).

M. Daenen (N), R. D. de Fouw (ST), B. Hamers (ST, Treasurer), P. G. A. Janssen (ST), K. Schouteden (N), M. A. J. Veld (ST, Project Manager) *The Wondrous World of Carbon Nanotubes*, Eindhoven University of Technology.

Mattox Donald, M., *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing* (2010).

Özdemir, M.D., "Atmalı plazma katodik ark yöntemi ile elde edilen zno ince filmlerin optik ve yapısal özellikleri". Yüksek Lisans Tezi. **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, (2006).

Salehi, B., Mehrabian, S., Ahmadi, M., "Investigation of antibacterial effect of cadmium oxide nanoparticles on staphylococcus aureus bacteria, journal of nanobiotechnology", (2014).

Scherrer, P., Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 26 (1918) pp 98-100.

Tepe, A., "Nano teknolojide nano ölçekteki yapıların yerel olmayan elastivite çerçevesinde incelenmesi". Doktora Tezi. **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2007).

Turgut, G., "Spray pyrolysis yöntemi ile elde edilen farklı antimon katkılı SnO₂ ve SnO₂: Sb(ATO) ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması". Doktora Tezi. **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, (2014).

Türkmen, C., "Kimyasal biriktirme yöntemi ile CdS, ZnS ve PbS yarıiletken nano yapıların üretilmesi ve karakterizasyonu". Doktora Tezi. **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, (2006).

Yeter, H. İ., "Farklı yüzeyler üzerine spray-pyrolysis yöntemi ile TiO₂ ince filmlerinin büyütülmesi". Yüksek Lisans Tezi. **Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzincan, (2012).

Yıldırım, E., "ZnSe yarıiletken ince filmlerinin karakterizasyonu". Yüksek Lisans Tezi. **Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Mersin, (2013).

Yurtcan, M. T., "YBCO ince filmlerin darbeli lazer yığma tekniğiyle hazırlanması". Doktora Tezi. **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, (2011).

Yurtçiçek, M. Ş., "Kimyasal depolama yöntemiyle büyütülen PbS ince filminin fiziksel özelliklerinin araştırılması". Yüksek Lisans Tezi. **Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kars, (2009).

Zhumatayeva,U., "Nano çubuk sentezi ve elektro-katalitik aktivitesinin belirlenmesi". Yüksek Lisans Tezi. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara ,(2012).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzincan ilinde doğdu. İlköğrenimi Akşemseddin ve Vali Recep Yazıcıoğlu İlköğretim okullarında 1995-2002 ve ortaöğrenimi Sabahat Hanım lisesinde 2002–2005 yılları arasında tamamladı.

Lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde 2006–2010 yılları arasında tamamladı.

Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında 2010 yılında başladığı Yüksek lisans eğitimini 2014 yılında tamamladı.