ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Filinta KIRMIZIGÜL

CdO İNCE FİLMLERİN PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CdO İNCE FİLMLERİN PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI

Filinta KIRMIZIGÜL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman:Yrd. Doç. Dr. Cebrail GÜMÜŞ

Yıl: 2008, Sayfa: 97

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Cebrail GÜMÜŞ

: Yrd. Doç. Dr. Süleyman ÇABUK

: Yrd. Doç. Dr. Ramazan BİLGİN

Bu çalışmada, püskürtme yöntemi kullanılarak 200–350 ^{o}C de cam alttabanlar üzerine CdO ince filmleri elde edildi. Bu filmlerin yapısal (X-ray,morfoloji), optiksel (%T, α, Eg, t) ve elektriksel (ρ) özellikleri bulundu.

Anahtar Kelimeler: Püskürtme yöntemi, CdO, İnce film.

ABSTRACT

MSc THESIS

CdO THIN FILMS PREPARATION BY SPRAY PYROLYSIS METHOD

Filinta KIRMIZIGÜL

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Assis. Prof. Dr. Cebrail GÜMÜŞ

Year: 2008, Pages: 97

Jury : Assis. Prof. Dr. Cebrail GÜMÜŞ

: Assis. Prof. Dr. Süleyman ÇABUK

: Assis. Prof. Dr. Ramazan BİLGİN

.

In this study, CdO thin films deposition on glass substrate using spray pyrolysis method at 200–350 ^{o}C. Structural (X-ray, morphology), optical (%T, α, Eg, t) and electrical (ρ) properties of this films are obtained.

Key Words: Spray pyrolysis method, CdO, Thin film.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın gerçekleşmesinde bana her anlamda destek veren, kendisi ile çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cebrail GÜMÜŞ' e, gösterdiği ilgi, hoşgörü ve yardımları için teşekkür ederim. Tezime deneysel ölçümler konusunda yardım eden Sütçü İmam Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Araştırma Görevlisi Dr. Fatma GÖDE' ye, tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Görevlisi Emine GÜNERİ' ye teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans için beni yüreklendiren değerli arkadaşım İbrahim ÇÖMEZ' e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca beni destekleyen, oğulları olmaktan büyük gurur duyduğum sevgili babam Hasan KIRMIZIGÜL' e ve annem Necla KIRMIZIGÜL' e; manevi desteklerinden dolayı kardeşim Evin BEŞİR' e, biricik oğlum Ajdar Civan' a ve sevgili eşim İlkay KIRMIZIGÜL' e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ.....I

ABSTRACT.....II

TEŞEKKÜR.....III

İÇİNDEKİLER.....IV

SİMGELER VE KISALTMALAR.....VI

ÇİZELGELER DİZİNİ.....VIII

ŞEKİLLER DİZİNİ.....IX

1.GİRİŞ.....1

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....4

3.MATERYAL VE METOD.....22

3.1. Kristal Yapısı ve Birim Hücreler.....22

3.2. Miller İndisleri.....27

3.3. X-Işınları.....32

3.3.1. X-Işını Kırınım (XRD) Yöntemleri.....36

3.3.1.1. Laue Yöntemi.....38

3.3.1.2. Döner Kristal Yöntemi.....39

3.3.1.3. Toz Yöntemi.....40

3.3.2. Bragg Yasası.....41

3.4. Ohm Yasası ve Elektriksel İletkenlik.....43

3.5. Enerji Bantlarının Oluşumu.....45

3.6. Katı Cisimlerin Özdirence Göre Sınıflandırılması.....47

3.7. Yarıiletkenler.....50

3.7.1. Saf Yarıiletkenler.....53

3.7.2. Katkılı Yarıiletkenler.....55

3.8. Işığın Yarıiletkenlerle Etkileşmesi.....58

3.9. Işığın Soğrulması.....60

3.9.1. Doğrudan Bant Aralıklı Yarıiletkenler.....60

3.9.2. Dolaylı Bant Aralıklı Yarıiletkenler.....61

3.10. Soğurma Katsayısının Hesaplanması……..……63
3.11. Yarıiletken İnce Filmler…….....67
3.11.1. İnce Film Büyütme İşlemi……...68
3.11.2. İnce Film Elde Etme Yöntemleri…….71
3.11.3. CdO İnce Filmlerinin Püskürtme Yöntemi ile Hazırlanması……...71
3.11.4. Cam Alttabanların Hazırlanması…….....74
3.13. Kimyasal Çözeltinin Hazırlanması ve Deneysel Koşulları…….....74
4. BULGULAR VE TARTIŞMA……...75
4.1. CdO İnce Filmlerinin X-Işını Çalışmaları…….....75
4.2. CdO' nun Örgü Parametrelerinin Hesaplanması…..……....80
4.3. Filmlerin Tanecik Büyüklüklerinin Bulunması…….81
4.4. CdO İnce Filmlerin Oda Sıcaklığındaki Optik Özellikleri……..……..82
4.4.1. CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik (%T) Değerlerinin Belirlenmesi…..82
4.4.2. CdO' nun Enerji Bant Aralığının (E_g) Bulunması……...83
4.4.3. CdO İnce Filmlerin Kalınlık Hesabı.....……..……...84
4.5. CdO Filmlerinin Elektriksel Ölçümleri…….……85
4.6. CdO İnce Filminin Yüzey İncelemesi……86
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER…...……88
5.1. CdO İnce Filmlerinin Yapısal Sonuçları……..…… 88
5.2. CdO İnce Filmlerinin Optik Sonuçları……..…….....88
5.3. CdO İnce Filmlerinin Elektriksel Sonuçları…….……89
5.4. Öneriler……..89
KAYNAKLAR……...90
ÖZGEÇMİŞ……97

SİMGELER VE KISALTMALAR

ρ: Özdirenç

σ: Elektriksel iletkenlik

a: Kristalografik örgü parametresi

d: Kristal düzlemleri arası uzaklık

E_g: Yasak enerji aralığı

E_c: İletim bandı enerji seviyesi

E_v: Valans bandı enerji seviyesi

E_a: Katkılı yarıiletkende akseptör enerji seviyesi

E_F: Fermi enerji seviyesi

Ta: Tavlama sıcaklığı

η: Enerji dönüşüm verimi

μ: Elektronların mobilitesi

θ: Bragg açısı

2θ: Kırınım açısı

(hkl): Miller indisleri

UV: Ultraviolet (Ultraviyole)

VIS: Visible (görünür)

OL: Optiksel limit

FPT: Dört uç tekniği

TCO: Saydam iletken oksitler

AFM: Atomik güç mikroskobu

AES: Auger elektron spektroskopisi

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

EDAX: X-ışınları enerji dağılımı

XRD: X-ışını kırınımı

RBS: Rutherford geri saçılma spektrometresi

LED: Light emitting diode

JCPDS: Joint Committee on Powder Diffraction Standarts

VE: Vakumlu buharlaştırma yöntemi

CVD: Kimyasal buharlaştırma yöntemi

FTO: Flor katkılı kalay oksit

TEM: Geçirgen elektron mikroskobu

TED: Geçirgen elektron kırınımı

TEP: Termoelektrik güç ölçümü

SPT: Püskürtme tekniği

TOPO: tri-n-octylphosphine oxide

MOCVD: Metal organik kimyasal buharlaştırma yöntemi

TGA: Thermo gravimetric analysis

DTA: Differential termal analysis

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Kristal sistemleri ve bravais örgüler……...24
Çizelge 3.2. Ge, Si, GaAs ve CdS yarıiletkenlerinin bazı özellikleri…….51
Çizelge 3.3. Elektronikte yararlanılan yarıiletkenler ve kullanılma yerleri……57
Çizelge 4.1. 300 ºC' de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO
ince filminin bazı yapısal özellikleri……...76
Çizelge 4.2. 400 ºC' de 1 saat tavlanmış CdO
ince filminin bazı yapısal özellikleri 77
Çizelge 4.3. 200 ^{o}C' de 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO
ince filminin bazı yapısal özellikleri….....79
Çizelge 4.4. 300 ºC' de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO
ince filminin tanecik büyüklükleri....……..81

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. (a) Basit örgü ve (b) onun birim hücresi……..……..23
Şekil 3.2. (a) Basit, (b) taban merkezli, (c) hacim merkezli ve (d) yüzey merkezli örgüler ……..……..25
Şekil 3.3. Bravais örgüleri……..27
Şekil 3.4. Düğümlerin indisleri..……27
Şekil 3.5. S düzleminin xyz koordinat sisteminde gösterimi……..…….....28
Şekil 3.6. Kristal düzlemler……30
Şekil 3.7. Çeşitli kristal doğrultuları…….…….…….32
Şekil 3.8. Frenleme ışımasının oluşumu ……33
Şekil 3.9. X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri …….…….35
Şekil 3.10. Bir X-ışını tüpü …….……...37
Şekil.3.11. Laue yöntemi için deneysel düzenek ……..……..39
Şekil 3.12. Döner kristal yöntemi için deneysel düzenek…….....39
Şekil 3.13. Toz yöntemi…….……41
Şekil.3.14. (a) Bir kristal düzleminde X-ışını kırınımının meydana gelişi ve (b) kırınım olayında X-ışınlarının aldığı yolların uzunlukları arasındaki farkların ayrıntılı bir şekilde gösterimi……..…...43
Şekil.3.15. Katı cisimlerin bant teorisine göre elektriksel iletkenliklerinin değerlendirilmesi.....47
Şekil.3.16. (a) Metalin (Fe) ve (b) yarıiletkenin (Si) özdirencinin sıcaklıkla değişimi……49
Şekil. 3.17. (a) Saf yarıiletkenin enerji bantlarının ve (b) enerji bant diyagramının şematik gösterimi…….……....52
Şekil 3.18. Elmas tipi kristal örgü……..…….54
Şekil 3.19. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağların gösterimi: a) T=0, b) T>0....55
Şekil 3.20. Silisyumdaki (a) donor (b) akseptor tipli katkı atomunun şematik görünümü…….…….56
Şekil 3.21. (a) Donor ve (b) akseptor tipli yarıiletkenlerin bant diyagramları……...56
Şekil 3.22. Bir yarıiletken üzerine gelen tek renkli bir ışınım…….....58

Şekil 3.23. Doğrudan bant aralıklı bir yarıiletkende bir fotonun soğurulması…....61
Şekil 3.24. Dolaylı bant aralıklı bir yarıiletkende fonon yayınlama veya soğurma yoluyla fotonun soğurulması…….62
Şekil 3.25. İnce bir tabakadaki soğurma…….64
Şekil 3.26. İnce bir filmde çok yansımalı ışık geçirimi …….65
Şekil 3.27. Temel büyütme işlemleri (a) adacık (island) tipi, (b) tabaka (layer) tipi ve (c) karışık (Stranski-Krastanov) tip…….70
Şekil 3.28. Damlacık boyutuna bağlı çeşitli depozisyon yöntemleri……..72
Şekil 4.1. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1,λ=1.5405 Å)…….76
Şekil 4.2. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen ve 400 ^{o}C' de 1 saat tavlanmış CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405Å)…....77
Şekil 4.3. 250 ^{o}C' de 25 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405Å)…….....78
Şekil 4.4. 200 ^{o}C' de 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405Å)……...…...……79
Şekil 4.5. 200 ^{o}C' de 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen ve 400 ^{o}C' de 1 saat tavlanmış CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405Å)…....80
Şekil 4.6. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmlerinin optik geçirgenliklerinin oda sıcaklığında dalga boyuna bağlı değişimi……..…….……82
Şekil 4.7. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için α^2- hν değişimi……84
Şekil 4.8. Kontak oluşturulan CdO-Au yapıların üstten görünüşü……..……..85
Şekil 4.9. CdO ince filminin akım-voltaj grafiği……...…….86
Şekil 4.10. 300 ^{o}C' de elde edilmiş CdO ince filminin SEM görüntüsü……87

1. GİRİŞ

Katılar, birçok özelliklerinden dolayı günlük yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Özellikle iyi iletken olmaları, kolay şekil alabilmeleri ve fiziksel dayanıklılıklarıyla bilinen metallerin kullanımı uygarlık tarihi kadar eskidir. Katıların en ilginç ve önemli sınıfını oluşturan yarıiletkenler ise ancak 1940'lı yıllarda yarıiletken transistörün ortaya çıkmasıyla önem kazanmıştır. Yarıiletken transistörler elektronik endüstrisinde devrim niteliğinde değişikliklere neden olmuştur.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini hala yarıiletken teknolojisi oluşturmaktadır. Artık yarıiletkenlerden oluşmuş elektronik malzemeler, insanlığın kullandığı kişisel bilgisayar ve donanımlardan, haberleşme sistemlerine kadar çoğu elektronik aracın içinde bulunmaktadır. Farklı amaçlara hizmet eden (güneş pili, lazer ışık kaynağı, farklı dalga boyu bölgelerinde çalışan algılayıcılar ve elektronik devrelerde kullanılan entegre devreler gibi) yarıiletken malzemeler her geçen gün gelişmektedir.

Günlük yaşantımızda hemen her alanda kullandığımız yarıiletken aygıtlar içerisinde ince filmler çok önemli bir yere sahiptir. Yarıiletken filmler, farklı üretim yöntemleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan yarıiletken malzemelerdir.

Gelişen teknolojiye paralel olarak, ince filmlerin kullanım alanları çeşitlenmektedir. İnce filmler, elektronik ve optoelektronik endüstrisinin ana unsurlarındandır. Bu alanlarda kullanılan diyotlar ve diğer birçok cihaz yarıiletkenlerin ya da elektroluminesans özelliği gösteren maddelerin ince tabakalarından oluşturulmuştur. Bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar günlük hayatımızda sıkça kullandığımız cihazların yapımında ince filmler önemli bir yere sahiptirler. İnce filmler, medikal, askeri ve daha birçok amaç için kullanılan sensörlerin de temelidir.

Yarıiletken ince filmler üç temel yöntemle elde edilmektedirler. Bunlar tek katlı epitaksiyel (homoepitaksiyel) filmler, çok katlı epitaksiyel (heteroepitaksiyel) filmler ve polikristal filmlerdir. Homoepitaksiyel ve heteroepitaksiyel filmler ileri

teknolojinin kullanımı ile elde edilen maliyeti yüksek filmlerdir. Bilimsel çalışmalarda; bu yüzden daha düşük maliyetle ve pratik olarak elde edilen polikristal filmler tercih edilmektedir. Polikristal filmler büyük yüzeyli metal, cam, seramik, grafit gibi tabanlar üzerine büyütülebilen; elektrik ve optik özelliklerinden dolayı güneş pili, yarıiletken foto-detektörler gibi birçok uygulama alanı olan; basit ve değişik yöntemlerle elde edilebilen yarıiletken malzemelerdir. Yapılan çalışmalarda kalınlığı 1.5 μm' den küçük olan filmler ince film, büyük olanlar ise kalın film olarak adlandırılmaktadır.

Son yıllarda, gelişmiş elektro-optik özellikleri nedeni ile (saydam iletken oksit filmler) TCO' lar da teknolojik kullanımı yaygınlaşan yarıiletken filmler arasına girmişlerdir. TCO' lar opto-elektronik aygıtların fabrikasyonundaki önemleri nedeni ile yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. CdO, 1907' de ilk bulunan TCO' lardandır. CdO' nun dar bant aralığı ve Cd' nin zehirli olması nedeni ile yeterince ilgi görmemiştir. CdO, teknolojik ve endüstriyel uygulamaları açısından önemli bir bileşiktir. Bu bileşik ince film transistörlerde, gösterim cihazlarında, güneş pillerinde, fotodirençlerde, dedektörlerde, ledlerde, gaz sensörlerinde v.s. gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Teknolojik olarak kullanımı bu kadar yaygın olan ve çok önemli bir yere sahip olan saydam iletken oksit film çalışmalarına, CdO ince filmleri yaparak katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

CdO filmleri birçok yöntemle elde edilmektedir. Bu yöntemler arasında püskürtme, kimyasal buhar depolama, iyon ekme, sol-jel, atomik tabaka büyütme ve kimyasal depolama yöntemleri sayılabilir. Yapmış olduğumuz çalışmada, CdO ince filmleri püskürtme yöntemi ile üretilmiştir. Püskürtme (spray pyrolysis) yöntemi ince film elde etme metotları arasında en kolay ve en ucuz olan metottur. Püskürtme yönteminin, oldukça basit yapıda olması, gerekli tertibat yönünden daha ekonomik olması, üretim işleminde müdahale için elverişli yapıda olması, ince film 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 katkılamaya da izin verir.

CdO ince filmleri cam alttabanlar üzerine kadmimum asetat, metil alkol, etil alkol ve saf su dan oluşan çözeltilerden uygun miktarlarda alınarak manyetik

karıştırıcı ile homojen olana kadar karıştırıldıktan sonra temizlenmiş 76 mm x 26 mm x 1mm boyutlarındaki cam alttabanlar üzerine uygun sıcaklıkta püskürtülerek elde edilmiştir. Elde edilen CdO filmlerinin X-ışını analizi Anadolu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan Rigaku Rint 2000 (λ=1,5405 Å, $CuK\alpha_1$) X-ışını kırınım aleti ile yapılmıştır. Oda sıcaklığında optik geçirgenlik değerleri, laboratuvarda bulunan Lambda 2S UV/VIS spektrofotometre ile bulunmuştur. Filmlerin özdirenç değerlerini bulmak için altın (Au) buharlaştırılarak eş düzlemsel bağlantılar yapılmıştır. Filmlerin enerji bant aralıkları, soğurma katsayısı değerleri kullanılarak ve film kalınlıkları ise kütle farkından yararlanılarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, CdO ince filmleri cam alttabanlar üzerinde, farklı sıcaklık ve mesafelerde elde edilerek filmlerin elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri incelenmiştir. CdO düşük elektriksel özdirence $(1.1\text{-}3.4)\cdot 10^{-3}$ Ωcm sahip n-tipi bir yarıiletkendir. Yasak enerji aralığı Eg = 2.15 eV civarında bulunmuştur. Filmler, oda sıcaklığında ortalama % 80 oranında optik geçirgenliğe sahiptir. X-ışını analizlerinden CdO ince filmleri polikristal yapıda ve kübik fazda bulunmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Püskürtme yöntemi ile SnO_2 ve kimyasal çökeltme yöntemi ile de Cu_2O filmleri, cam alttabanlar üzerinde farklı sıcaklıklarda elde edilmiştir.Bu filmlerin elektriksel özdirenci, oda sıcaklığındaki optik geçirgenliği ve X-ışınları kırınımı incelenmiştir. Filmlerden SnO_2 / Cu_2O güneş pili yapılmıştır (S. Çabuk, 1992).

Geçirgen ve iletken kadmiyum oksit (CdO) filmler, püskürtme tekniği ile elde edilmiştir. Film kalınlıkları, Rutherford geri saçılma spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. X-ışını kırınım ölçümleri, filmlerin (111) kırınım düzlemi boyunca bir tercihli yönelime sahip polikristal olduğunu göstermiştir ve örgü parametreleri hesaplanmıştır. Gerilim ve yerdeğiştirme yoğunluğu da değerlendirilmiştir. Filmler, görünür ve yakın kızılötesi bölgede ortalama % 75 geçirgenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Kırılma indisinin, 500-1500 nm dalgaboyu aralığında 1.68 ve 2.84 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Elde edilen doğrudan ve dolaylı bant aralığı değerleri, sırasıyla 2.32 ve 1.98 eV değerinde olduğu bulunmuştur. Hall etkisi ölçümleri, 304-349 K sıcaklık aralığında yapılmıştır. Filmlerin oda sıcaklığında özdirenci, taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilitesi sırasıyla $6.6x10^{-5}$ Ωm, $1.4x10^{25}$ m^{-3} ve $0.68x10^{-2}$ $m^2V^{-1}s^{-1}$ olarak ölçülmüştür. 304-376 K sıcaklık değerinde yapılan termoelektirik güç ölçümlerinden, termoelektrik güç değerlerinin ortalama 19.7-89 μVK^{-1} olduğu bulunmuştur. 1.06 μm dalgaboyunda yapılan lazer zarar çalışmaları, filmlerin ortalama $2.37x10^4$ Jm^{-2} bozunum eşik yoğunluğuna sahip olduğunu göstermiştir (K. Gurumurugan ve ark.,1994).

ZnO ve CdO ince filmleri basit, ekonomik ve çok yönlü kimyasal püskürtme yöntemi ile hazırlanmıştır. Bu yöntem, ince filmlerin hazırlanması için materyallerin bazı tuz çözeltilerinin hazırlanmasına dayandırılmıştır. Bu yöntemle elde edilen ince filmler, birçok bilimsel çalışmaya ve teknolojik uygulamaya uygun olduğu tespit edilmiştir. ZnO ve CdO ince filmleri için optiksel özellikler incelenmiş, enerji aralıkları, örgü parametrelerinin yanı sıra soğurma sabiti, kırılma indisi, sönüm katsayısı, reel ve imajinel dielektrik sabitleri hesaplanmıştır (N. Benramdane ve ark.,1997).

Püskürtme tekniği ve DC reaktif magnetron saçılması tarafından oluşturulan kadmiyum oksit (CdO) filmler, Rutherford geri saçılma spektrometresi (RBS) ve Auger elektron spektroskopi (AES) tarafından analiz edilmiştir. Cam ve silisyum alttaban üzerine oluşturulan filmler bu çalışmada kullanılmıştır. RBS ve AES çalışmaları her iki metotla oluşturulan filmlerin aşırı kadmiyumla birlikte stiokyometrik olmadıkları açıkça görülmüştür. Püskürtme ile oluşturulan CdO filmlerin saçılmasıyla oluşturulan filmlerden, daha çok Cd ara yerleştirmeleri içermiştir (K.Gurumurugan ve ark.,1997).

Bu çalışma, ısıtılmış cam alttabanlar üzerinde uyarılmış reaktif buharlaşma yöntemiyle elde edilen kadmiyum oksit ince filmlerinin hazırlanışını tanımlamıştır. Depo edilen filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri incelenmiştir ve filmlerin farklı fiziksel özellikleri üzerinde, alttaban sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. İyi geçirgenliğe ve yüksek iletkenliğe sahip polikristal yapıdaki CdO filmler, depolama sıcaklığı kontrol edilerek hazırlanmıştır. Araştırmacılar, bu tabakaların % 7'den daha verimli CdO/CdTe güneş pillerini üretmek için uygun oldukları sonucuna varmışlardır (K.T. Ramakrishna Reddy ve ark.,1998).

Bu çalışma, oksijen ve argon atmosferde kadmiyum dc magnetron reaktif saçılma tekniği ile ilgilidir. Oksijen kısmi basıncında katot potansiyeline bağlılık, katot zehirleme etkisi dikkate alınarak açıklanmıştır. Bu süreç boyunca, oluşturulan kadmiyum oksit filmlerinin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. $1x10^{-3}$ mbar değerindeki en iyi oksijen kısmi basıncında, filmlerin doğal yapıları tek fazlı polikristaldir. Filmlerin özdirencinin $4.6x10^{-3}$ Ωcm, Hall mobilitesinin 53 cm^2 /Vs, taşıyıcı konsantrasyonunun $3.5x10^{19}$ cm^{-3}, optiksel geçirgenliğinin % 85 oranında, dalgaboyunun 600-1600 nm aralığında ve bant aralığının 2.46 eV değerinde olduğu görüldü (T.K. Subramanyam ve ark.,1998).

Saydam iletken kadmiyum oksit (CdO) ince filmler, damıtılmış su ve metanolde kadmiyum asetat çözeltisinden, kimyasal püskürtme yöntemi ile depolanmıştır. Filmler, çözeltiye NH_4F ekleyerek katkılanmıştır. Çözeltinin optimum konsantrasyonu belirlenmiştir. Depolanan filmlerin Hall mobiletisi, taşıyıcı konsantrasyonu, özdirenci ve geçirgenliği (λ = 825 nm' de) sırasıyla $25.4x10^{-4}$ m^2/Vs, $3.66x10^{26}$ m^{-3},$6.72x10^{-6}$ Ωm ve % 87.1 değerlerini göstermişlerdir.$\Phi = T^{10}/R_{sh}$

(825 nm' de $3.35x10^{-2}$ Ω^{-1}) merit sayısı, böyle ucuz bir yöntemle elde edilen katkılı ve katkısız CdO' lar için literatürde rapor edilen en yüksek değerdir (R. Ferro ve J.A. Rodriguez.,1999).

CdO ince filmler cam alttabanlar üzerine , $Cd(OOCCH_3)_2.2H_2O$, etilen glikol, gliserol ve trietilamin dayanan yeni bir öncül çözeltiden sol-jel tekniğiyle hazırlanmıştır. Filmler, 200 ^oC' de açık havada tavlanmıştır ve atomik güç mikroskobu, X-ışını kırınımı ve UV-VIS mikroskobu yöntemleri ile karakterize edilmiştir. Elde edilen CdO ince filmlerin yüksek kalitede polikristal oldukları ve hatta 600 nm dalga boyunda % 95, 700'den 1100 nm' ye kadar ise neredeyse % 100'e yükselen bir geçirgenlik gösterdikleri tespit edilmiştir. Dolaylı ve doğrudan bant aralığı enerji değerleri sırasıyla 2.06 ve 2.59 eV olarak tahmin edilmiştir. Filmlerin özdirenci, $2x10^2$ Ωcm olarak bulunmuştur (D.M. Carballeda-Galicia ve ark.,2000).

800 ^oC' deki sıcaklık deneyleri sonucunda elde edilen siyah renkli birkaç şekilde kristalleşebilen kadmiyum oksidin, bilinen sarımsı kahverengi CdO' dan bin kat daha iletken olduğu görülmüştür. 800 ^oC' de fırınlanmış CdO elektriksel iletkenliği, 88 K civarında bir minimum göstermiştir. Oluşturulan filmin termo-elektrik gücünün, 88 K civarındaki eğimininin bir değişim göstermesi, araştırmacılar tarafından son derece ilginç bulunmuştur. Elde edilen sarımsı kahverengi CdO' nun X-ışını kırınım deseni, 400 veya 800 ^oC fırınlamadan sonra çekilen desenlere göre ekstra çizgilere sahip olduğu tespit edilmiştir (U. De ve ark.,2000).

CdO ince filmleri, su ve metanol içinde kadmiyum asetat çözeltisinden cam alttabanlar üzerine, püskürtme tekniği ile depolanmıştır. Filmler, elektro-optiksel özellikleri geliştirmek için püskürtme çözeltisine, NH_4F ekleyerek florla katkılanmıştır. Katkılama seviyesi ve depolama sıcaklığına bağlı olan aşağı yukarı 800 nm' den daha yüksek dalgaboyları için geçirgenlikte azalma gözlenmiştir. Depolanan filmlerdeki elektron ilgisi ve iş fonksiyonu belirlenmiştir ve bu parametreler üzerindeki F katkılama etkisi dikkate alınmıştır (R. Ferro ve J.A. Rodriguez.,2000).

Kadmiyum oksit filmleri (CdO) püskürtme tekniği kullanılarak cam alttabanlar üzerinde hazırlanmıştır. Filmler 523 K' den 723 K' e kadar olan farklı alttaban

sıcaklıklarda depolanmıştır. Yapısal, optiksel ve elektriksel özellikler tüm örnekler için çalışılmıştır. X-ışını kırınım çalışması filmlerin fcc yapılı (111), (200), (220) düzlemleri boyunca tercihli yönelime sahip polikristal olduğunu göstermiştir. Optiksel soğurma çalışması, CdO' nun doğrudan bant aralıklı materyal olduğunu ve enerji bant aralığı, alttaban sıcaklığı artışı ile birlikte 2.37 eV' den 2.25 eV' ye düştüğü hesaplanmıştır. Elektriksel ölçümler, filmlerin özdirencinin 10^{-4} ohm-cm mertebesinde olduğunu göstermiştir (B.J. Lokhande ve M.D. Uplane.,2000).

$(ZnO)_x(CdO)_{1-x}$ oksitlerinin ince filmleri, püskürtme yöntemi ile cam alttabanlar üzerine depolanmış ve 450 ^oC' de tavlanmıştır. Büyütülen ve termal olarak tavlanan ince filmlerin, yapısal ve optiksel özellikleri bulunmuştur. Kristal yapıları X-ışını kırınımı (XRD) ile belirlenmiştir. Bu çalışmada düşük Zn konsantrasyonları için CdO' nun kübik fazda bulunduğu ve düşük Cd konsantrasyonları için kübik CdO ve hekzagonal ZnO fazlarının karışımının oluştuğu, tespit edilmiştir. Tüm örneklerin kristalliği, ısısal tavlamayla birlikte gelişmiştir. Optik bant aralığı, büyütülen ve tavlanan örnekler için optik geçirgenliğinden yararlanılarak belirlenmiştir. Beklendiği gibi bant aralığı değeri, saf CdO' nun ve ZnO' nun bant aralıkları arasında değişmiştir (G. Santana ve ark.,2000).

Kadmiyum asetat sulu çözeltisinden, püskürtme tekniği ile cam alttaban üzerine kadmiyum oksit ince filmleri hazırlanmıştır. X-ışını kırınım çalışmaları, ince filmlerin polikristal olduğunu göstermiştir. Oda sıcaklığında filmlerin özdirenci ortalama olarak 10^{-2} Ωcm düzeyindedir. Optiksel soğurma verilerinden CdO' nun enerji bant aralığının 2.5 eV olduğu bulunmuştur. Termoelektrik güç ölçümü, iletim mekanizmasını anlamak için gerçekleştirilmiştir (M.D. Uplane ve ark.,2000).

CdO' ya olan ilgi, farklı opto-elektronik aletlerde geniş kullanım alanından dolayı gittikçe ilgi çekmektedir. Florla katkılama, elektro-optiksel özellikleri etkili bir şekilde geliştirmiştir. Püskürtme tekniği ile depolanan CdO:F filmlerinin, elektriksel iletkenlik mekanizması ve bileşim analizi yapılmıştır. Flor atomları tarafından oksijen boşluk doldurması ve oksijen yer değiştirmesinin ortak etkisi, film özelliklerini etkilemiştir. Taşıyıcı saçılmaların, fotonlar ve iyonize olmuş veya nötr safsızlıklardan dolayı olduğu görülmüştür (R. Ferro ve ark.,2001).

Bu çalışmanın amacı, ucuz güneş pillerinin yapımında bir aday olarak, güneş enerjisinin SnS polikristal ince filmlere, PV dönüşümü alanındaki bilim çalışmacılarının dikkatini çekmektir. Çünkü bu çalışma, polikristal silikon gibi benzer fotoelektrik özelliklere sahiptir. Hatta basit, ekonomik ve çevreci yöntemle herhangi bir alttaban üzerinde üretilebilir. İki farklı çözeltiden, kimyasal depolama yöntemi kullanılarak üç farklı pil örneği hazırlanmıştır. Cam tabaka elektrodu dışında, temel soğurma tabakası olarak hepsinde SnS kullanmıştır. İlki CdO, ikincisi Cd_2SnO_4 ince film cam elektroda sahiptir ve her ikiside kimyasal depolama yöntemi ile hazırlanır. Üçüncü pil içinde cam elektrodu SnO_2:F olan ve püskürtme yöntemi ile hazırlanan Schottky engel piliydi. I-V, C-V ve spektral özellikler kaydedildi ve cam elektrot olarak Cd_2SnO_4' lü pillerin en iyi performansı gösterdiği sonucuna ulaşıldı (M. Ristov ve ark.,2001).

CdO filmler püskürtme tekniği ile, cam alttaban üzerine hazırlanmıştır. Isıl tavlamanın bir fonksiyonu olarak tabakanın yapısal, optiksel ve elektriksel sonuçları rapor edilmiştir. XRD verileri, tavlama zamanının bir fonksiyonu olarak örneklerin mikro yapılarındaki mükemmel gelişmeyi göstermiştir. Optik bant aralığı kare kristal boyutunun tersi ile bir bağlantı göstermiştir. 120 dakika için 450 ^oC' de tavlanan örneklerin, örgü parametreleri ve yasak enerji aralığı, CdO kristallerinin önceden tespit edilen değerleriyle bağlantılı olduğu bulunmuştur. Ek olarak, tavlama zamanı 40 dakikaya kadar yükseltildiği zaman, elektriksel özdirenç ölçümü birazcık azalma göstermiştir. Fakat uzun süreler için doyuma ulaştığı tespit edilmiştir (O. Vigil ve ark.,2001).

$Zn_xCd_{1-x}O$ ince filmleri, cam alttabanlar üzerine püskürtme yöntemi ile hazırlanmıştır. Öncül çözeltiler, iki kere damıtılmış suda $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ve $Cd(NO_3)_2.4H_2O$' nun konsantrasyonu değiştirilerek elde edilmiştir. Yapısal özellikler, X-ışını kırınım deseni kullanılarak incelenmiştir. Bütün yapılar CdO ve ZnO gibi basit bileşimler içerir. Elde edilen filmlerin, kristal yapılı fazları ve yönelimi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Öncül çözeltiye, Zn eklendiğinde CdO filmlerinin tercihli yöneliminin (200) yönünde olduğu gözlemlenmiştir. Elektriksel ölçümler, dört uç (four point probe) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı bileşimler için, 1.5-4.3 eV arasındaki değerlerde ince filmlerin geçirgenlikleri

ölçülmüştür ve optiksel aralıklar tespit edilmiştir. Değişimler, iki saf filmin aralıkları düşünülerek açıklanmıştır. Filmlerin, yapısal, elektriksel ve optiksel özelliklerinde artan Cd konsantrasyonunun etkisi, bu çalışmada araştırılmıştır (H. Tabet-Derraz ve ark., 2002).

Son derece iletken ve saydam, kalay katkılı CdO:Sn, atmosferik metalorganik kimyasal buhar depolama yöntemiyle elde edilmiştir. Dimetilkadmiyum (DMCd), tetrametiltin (TMT) ve O_2, CdO:Sn filmlerini depo etmek için kullanılmıştır. Üretilen filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özelliklerinin tavlama koşulunun, film kalınlığı, alttaban sıcaklığı, TMT ve DMCd' nin kısmi basınçlarından etkilendiği tespit edilmiştir. 14-17 Ω/□' ın tabaka özdirenci, 120-150 nm kalınlığında depo edilmiş CdO:Sn filmleri için elde edilmiştir. Filmlerin yüksek iletkenliği, esas olarak taşıyıcı konsantrasyonundan ($2\text{-}3x10^{21}/cm^3$) ve mobiliteden (12-13 cm^2/Vs) kaynaklanmıştır. Görünür bölgedeki filmlerin geçirgenliğinin, % 80-95 oranında yüksek olduğu ve Moss-Burstein (M-B) etkisinden dolayı mavi bölgeye doğru değiştiği tespit edilmiştir. Filmler, doğrudan ve dolaylı banttan banda geçişler göstermişlerdir ve bu geçişlerin enerji değerleri, söylenen sıraya göre 3.0 ve 2.5 eV olarak tahmin edilmiştir. Depo edilen CdO:Sn filmlerinin elektro-optiksel özellikleri, depolamadan sonra yapılan tavlamayla geliştirilmiştir. $1.4\text{-}1.6x10^{-4}$ Ωcm değerindeki özdirenç, He ve H_2 gaz ortamındaki tavlamadan sonra elde edilmiştir yukarıdaki bu değerler, CdO filmleri için elde edilen en düşük özdirenç değeridir (Z. Zhao ve ark.,2002).

Tavlanmış $(ZnO)_x(CdO)_{1-x}$ ince filmlerinin, yapısal özellikleri X-ışını kırınım yöntemi ile çalışılmıştır. Nominal bileşime (x), farklı değerler vererek; püskürtme yöntemi kullanarak filmler elde edilmiş ve elde edilen filmler 0' dan 120 dakikaya kadar 450 ^oC' de tavlanmıştır. Yapısal analiz, homojen bir şekilde birleştirilmiş oksit yarıiletkenin oluşumunda, önceki sonuçları doğrulamıştır. Fakat hem CdO hem ZnO için kristal yapılı ve amorf fazlar aynı anda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, tavlanmış filmler için, kristal büyütme hızını ve örgü sabitlerini dikkate alarak, amorf kübik CdO fazları ve amorf hekzagonal ZnO fazları arasında, güçlü bir bağlantı olduğu gösterilmiştir. Tavlanmış filmlerde, $x \leq 0.5$ değerleri için optiksel davranış genellikle CdO fazıyla kontrol edilmiştir. Böylece tanecik boyutu etkilerine bağlı olarak, CdO

kristal yapı boyutu arttığı zaman, materyalin etkin bant aralığında bir azalmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, x >0.5 için bant aralığı davranışı, genellikle filmdeki kristal ve amorf yapılı ZnO' nun ilgili hacimsel konsantrasyonu ve ZnO kristal yapının örgü parametrelerinin değişimi tarafından tespit edilmiştir (F. Cruz-Gandarilla ve ark.,2003).

5-10 nm dalga boyundaki yüzey-modifiye CdO nanoparçacıklar, mikroemülsiyon tekniği ile hazırlanmıştır. CdO nanoparçacıklarının doğrudan bant aralığı, yaklaşık olarak 1.3 eV' luk maviye doğru değişme göstermiştir. Bu değer bulk CdO' nın değeriyle karşılaştırılabilir. Oda sıcaklığında, parçacıkların boyutlarına bağlı olarak CdO nanoparçacıkları 400 ile 460 nm merkezli güçlü emisyon pikleri göstermiştir (W. Dong ve C. Zhu.,2003).

ZnO filmleri, erimiş gaz oksijen içeren bir dimetilsülfoksit banyo aracılığıyla elektrodepolama yöntemiyle elde edilmiştir. Depolama parametrelerindeki değişiklikler ve onların yapısal (kristal boyutu, büyüme yönü), optiksel (bant aralığı farklılıkları, fotolüminesans) ve elektriksel (iletkenlik) özellikleri üzerindeki etkileri tanımlanmıştır. Yöntem, iyi iletken olan CdO filmlerini ortaya çıkarmak için genişletilmiştir (R. Jayakrishnan ve G. Hodes.,2003).

Geçirgen elektron mikroskobu (TEM) ve geçirgen elektron kırınımı (TED) incelemesi, iki farklı ZnO/ZnS ve ZnS tampon tabakalı (001) GaAs alttabanları üzerinde büyütülen kaya-tuzu yapılı CdO tabakalarının, mikroyapısal davranışını araştırmak için yapılmıştır. CdO nano-kristallerinin düşük yoğunluğu (18-25 nm civarında), CdO/ZnS arayüzey bölgesinde oluşturulmasına rağmen, incelemeler ZnS tampon tabakasında büyüyen CdO' nun, GaAs alttabanı ile epitaksiyel ilişkisini ortaya çıkarmıştır. TEM ve TED sonuçları, ZnO/ZnS tampon tabakasında büyütülen CdO tabakasının polikristal yapıda olduğunu göstermiştir. TED sonuçları, ZnO tampon tabakasının wurtzite ve zinc-blende fazlarının karışımı bir polikristal olduğunu göstermiştir, ki bu fazların karışımı polikristal yapıdaki CdO tabakaları oluşumunu sağlar (B.J. Kim ve ark.,2003).

CdO ince filmler, püskürtme yöntemi kullanılarak depolanmıştır ve fiziksel özellikleri, farklı alttaban sıcaklıkları kullanılarak depo edilen tabakalar için incelenmiştir. Tabakaları incelemek için kullanılan yöntemler: X-ışını

difraktometresi, taramalı elektron mikroskobu, geçirme ve yansıma vs. dalga boyu hesaplarını ve Van der Pauw ölçümlerini içerir. CdO' nın tek fazlı tabakaları 175 ^{o}C' den fazla alttaban sıcaklığı için üretilmiştir, fakat özdirencin en küçük değerine sahip en geçirgen tabakalar 200 ^{o}C 'de büyütülen tabakalar için elde edilmiştir. Bu tabakaların meritinin en yüksek sayısı ($1.02x10^{2}$ Ω^{-1}), onların büyük alanlı elektronik aletlerde uygulama bulabileceğini ifade eder (K.T.R. Reddy ve ark.,2003).

$(CdO)_{1-x}$ $(PbO)_{x}$ ve $(CdS)_{1-x}$ $(PbS)_{x}$ (x = 0.25) karıştırılmış ince filmler, 300, 320 ve 340 ^{o}C değişik alttaban sıcaklıklarında püskürtme tekniği ile cam alttabanlar üzerine depolanmıştır. Yapısal ve optiksel özellikleri çalışılmıştır. XRD çalışmaları, karışık yapılı filmlerinin oluşumunu göstermiştir. 340 ^{o}C' deki alttaban sıcaklığının, karışık CdO-PbO filmlerinin oluşumu için kritik bir sıcaklık olduğu tespit edilmiştir. Alttaban sıcaklıklarının hepsinde, $(CdS)_{1-x}$ $(PbS)_{x}$ karışık filmlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Karışık $(CdO)_{1-x}$ $(PbO)_{x}$ ve $(CdS)_{1-x}$ $(PbS)_{x}$ filmlerinin, doğrudan bant aralığı değerleri, sırasıyla 2.6 ve 2.37 eV olarak bulunmuştur (V. Krishna Kumar ve ark.,2004).

Bu çalışmada kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri, 0.2 M kadmiyum asetatın sulu olmayan çözeltisi kullanılarak, püskürtme tekniği ile cam alttabanlar üzerine depolanmıştır. Düşük ayrıştırma sıcaklığından dolayı, kadmiyum asetat öncül olarak kullanılmıştır. Filmler, 6 ml.dak^{-1} püskürtme hızına sahip hava kullanılarak depolanmıştır. Filmler, ultrasonik bir biçimde temizlenmiş cam alttabanlar üzerinde, 25 K aralıklarında 573 K' ten 773 K' ne farklı alttaban sıcaklık oranlarında elde edilmiştir. X-ışını kırınım (XRD) çalışmaları, filmlerin (111) tercihli yönelim düzleminde polikristal olduğunu göstermiştir. Hatta 623 K' de elde edilen filmlerin, daha düşük veya yüksek ısıda elde edilenlerle karşılaştırıldığında daha kristallik gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Doğru akım elektriksel özdirenç ölçümü, 300-500 K sıcaklık değerleri arasında gerçekleştirilmiştir ve 623 K alttaban sıcaklıklarında elde edilen filmlerin, XRD sonuçlarını destekleyen düşük özdirenç sergilediği bulunmuştur. Filmlerin optik soğurma çalışmaları, 350-850 nm dalga boyu değerlerinde yapılmıştır. Materyalin enerji bant aralığını tespit etmek için analiz yapılmıştır. Enerji bant aralığı, 2.31 eV olarak bulunmuştur. Bu sonuçların, bu

konuda daha önce elde edilmiş çalışmalarla uyumlu olduğu bulunmuştur (B.J. Lokhande ve ark.,2004).

CdO nanokristalleri, solvotermal koşullar altında tri-n-octylphosphine oxide (TOPO)' nın varlığında cupferron kompleksinin ayrışımıyla elde edilmiştir. TOPO oranı, nanokristallerin boyutunu belirlemede önemli rol oynamıştır. Nanokristaller, X-ışını kırınımının yanısıra, flüoresans spektroskopisi, soğurma spektroskopisi ve elektron mikroskobu tarafından karakterize edilmiştir. CdO nanokristallerinin, tek kristal ve kuantum sınırlaması için kanıt oldukları anlaşılmıştır. CuO nanokristaller, solvotermal koşullar altında cupferronate ayrışımı ile de hazırlanabilmiştir ve parçacık boyutu ilk öncül konsantrasyonu tarafından kontrol edilmiştir (M. Ghosh ve C.N.R. Rao.,2004).

Kadmiyum oksit ince filmler, püskürtme tekniği kullanılarak amorf ve flor katkılı kalay oksit (FTO) cam alttabakalar üzerine depolanmıştır. Kadmiyumun öncüllerini içeren sulu çözelti, en uygun hazırlık parametrelerinde, iyi kalitede ürünler elde etmek için kullanılmıştır. Filmler, X-ışını kırınım, optiksel soğurma, elektriksel özdirenç ve termoelektrik güç ölçümleri gibi yöntemlerle karakterize edilmiştir. XRD çalışması, filmlerin kübik yapıya sahip polikristal olduğunu göstermiştir. Optiksel soğurma çalışmaları soğurma sabiti değerinin 10^4 cm^{-1} mertebesinde olduğunu ortaya çıkarmıştır, ki bu 10^4 cm^{-1} değeri 2.26 eV bant aralığı enerjili, doğrudan banttan banda geçişi gösterir. 2.26 eV enerji değeri ise kadmiyum oksidin katkısız bant aralığı enerji değerine yakındır. Elektriksel karakterizasyon, elektriksel özdirencin 10^{-3} Ωcm mertebesinde olduğunu göstermiştir ve sıcaklıktaki artışla birlikte özdirençteki bu azalma, örneklerin doğada yarıiletken olarak bulunduğunu kanıtlar. Aktivasyon enerji değeri 0.077 eV olarak bulunmuştur. TEP ölçümleri CdO filmleri için termoelektrik voltajının, sıcak uçlara doğru pozitif olduğunu göstermiştir. Sıcak uçlara doğru pozitif olma durumu, örneğin n-tipi olduğunu ispatlar. TEP değeri sıcaklıktaki artışla artmıştır. Hall etkisi ölçüm çalışması, taşıyıcı konsantrasyonunun (n), Hall sabitlerinin (R_H) ve taşıyıcı mobilitesinin (μ_H) sırasıyla 10^{23} cm^{-3}, 10^{-8} cm^3/C ve 10^{-4} cm^{-2}/Vs değerlerinde olduğunu göstermiştir (C.H. Bhosale ve ark., 2005).

Kadmiyum oksit filmleri, 160 ^{o}C alttaban sıcaklığında $1.33x10^{-2}$' den 0.133 Pa' aralığındaki kısmi oksijen basıncında (pO_2), cam alttabanlar üzerine ısısal olarak depolanmıştır. X-ışını flüoresans (EDAX)' ın enerji ayırıcı analizleri; $4.00x10^{-2}$ Pa değerinde pO_2' de depolanan CdO filmlerinin, stiyometrik olduklarını ortaya koymuştur. X-ışını kırınımı (XRD), film yapısının polikristal doğasını doğrulamıştır. Tüm filmlerin baskın faz olarak NaCl tipinin fcc yapısını göstermişlerdir. Filmler, (111) kırınım düzlemi boyunca tercihli bir yönelime sahiptirler. Farklı oksijen kısmi basınçlarındaki (pO_2) çeşitli düzlemler için hesaplanmış yapılanma sabitleri, maksimum tercihsel yöneliminin $4.00x10^{-2}$ Pa oksijen kısmi basıncında (111) düzlemi boyunca meydana geldiğini göstermiştir. Bu sonuç, oksijen kimyasal tutunma ve yüzeysel salınım işlemleri açısından yorumlanmıştır. Kırınım piklerinden belirlenen örgü parametreleri, 4.655-4.686 Å aralığında değişmiştir. Nelson-Riley fonksiyonu kullanılarak, ekstrapolasyonla bulunan ortalama örgü parametresi a_o , 4.696 Å olarak bulunmuştur. Hem örgü parametresinin hem de kristal boyutunun yükselen oksijen kısmi basıncıyla arttığı bulunmuştur. Öte yandan, oksijenin kısmi basıncı arttıkça, gerilmenin ve yerdeğiştirme yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Filmler, optimum $4.00x10^{-2}$ Pa oksijen kısmi basıncındayken, λ= 600 nm de optiksel geçirgenliğinde bir maksimum (% 80) ve elektriksel özdirencinde ($9.1x10^{-4}$ Ωcm) minimum meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar tartışılmıştır (F.C. Eze.,2005).

$Cd(C_5F_6HO_2)_2$.polieter numuneler, optiksel saydam SiO_2 alttabanlar üzerine, kadmiyum oksidin MOCVD yöntemi ile oluşturulması için kullanılmıştır. 44-74 ^{o}C de, kolayca buharlaşabilen sıvı bileşiklere neden olmuştur. XRD ölçümleri, kübik yapılanmış CdO (100) filmlerinin varlığını kanıtlamıştır. Yüzey atomik kompozisyonu, XPS analizi ile incelenmiştir. UV-vis tayfı, görünür bölgedeki depolanmış filmlerin geçirgenliğinin % 90 olduğunu göstermiştir. CdO ince filmlerinin özdirenç ölçümleri, onların son derece iletken olduklarını göstermiştir. ESR analizleri, lokalize edilmiş $5s^1$ durumlarını genelleştirmek için, Cd^{+2} bölgelerindeki oksijen eksikliğinde oluşan elektronların polaronik olarak kendi kendinelerini tuzaklamasından ortaya çıkan Cd^{+2} bölgesindeki Cd^{+} iyonlarının varlığını göstermiştir (A. Gulino ve G. Tabbi.,2005).

Nanokristal yapılı kadmiyum peroksit ince filmi, oda sıcaklığında sulu çözeltiden, indiyum katkılı kalay oksit cam alttaban üzerine, elektrodepolama yöntemi ile elde edilmiştir. Nanokristal filmin tanecik boyutu, XRD' den tahmin edilmiş ve yaklaşık 14 nm olarak bulunmuştur. Ürünler CdO oluşumuyla 228 ^{o}C'de ayrışmıştır. Elektrodepolanmış CdO_2' nin ayrıştırılmasından elde edilen nanokristal yapılı CdO filminin bant aralığı yaklaşık 2.4 eV olarak bulunmuştur (X. Han ve ark.,2005).

Basit bir öncül çözelti kullanılarak, sol-jel yöntemi ile elde edilen katkılanmamış kadmiyum oksit ince filmlerinin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde, tavlama sıcaklığının (Ta) etkisi çalışılmıştır. 200'den 450 ^{o}C' ye kadar tavlanan tüm CdO filmleri, (111) tercihsel yönelimli polikristaldirler ve 500 nm' nin üzerinde dalga boyları için % 85'in üzerinde yüksek optiksel geçirgenlik göstermişlerdir. Ta = 350 °C için elektriksel özdirenç, $6x10^{-4}$ Ωcm değerine ulaşana kadar, Ta sıcaklığındaki yükselmeyle özdirençte bir düşme gerçekleşmiştir. Daha yüksek sıcaklık değerleri için özdirenç, hafif bir artış göstermiştir. Atomik güç mikroskobu ile elde edilen görüntüler, Ta arttıkça kümelenme boyutunda (tanecik kümelerinin) açıkça belli olan artış miktarında, bir değişim göstermiştir. X-ışını ölçümlerinden hesaplanan verilerden gözlemlendiği gibi Ta arttığında, tanecik boyutu da artmıştır (J. Santoz-Cruz ve ark.,2005).

Alüminyum katkılı kadmiyum oksit (CdO:Al) ince filmler, başlangıç materyali kadmiyum asetat dihidrat kullanarak, sol-jel dip-coating tekniği ile cam alttabanlar üzerine depolanmıştır. Alüminyum nitrat, alüminyum kaynağı olarak kullanılmıştır. XRD deseni, CdO ince filmlerinin iyi kristallendiğini göstermiştir. SEM, traş edilmiş elmas yüzlü kristal yapının varlığını göstermiştir. Optiksel çalışma sonucunda, Alüminyum içeriğine bağlı olarak, 2.76-2.52 eV bant aralığında % 40-85 geçirgenlik tespit edilmiştir. Alüminyumum optimum yüzde oranı, oda sıcaklığında en yüksek $2.81x10^{3}$ $(\Omega cm)^{-1}$ iletkenliği için 5.22 olarak bulunmuştur. Hall ölçümü, Alüminyum yüzde oranı, 1.32-7.24 aralığında olduğu zaman 4.13-14.7 cm^2/Vs ve $3.4x10^{19}$-$8.11x10^{20}$ cm^{-3} aralığında mobiliteye ve taşıyıcı konsantrasyonuna sahip n-tipi materyal olduğunu göstermiştir (R. Maity ve K.K. Chattopadhyay.,2006).

Katkılanmamış ve Sn-katkılı CdO ince filmleri depolama etkisini arttıran bir prosedür izlenerek, kimyasal banyo depolama yöntemiyle hazırlanmıştır. Ortaya çıkan bütün filmler kadmiyum peroksidin (CdO_2) kübik yapıda kristallendiği belirlenmiştir ve tavlama sürecinden sonra kübik yapıyla CdO' ya dönüştüğü belirlenmiştir. Büyütülen filmler, yüksek özdirence ($>10^6$ Ωcm) sahiptir ve optiksel bant aralığı 3.6 eV civarında olduğu bulunmuştur. Katkılanmamış CdO filmlerinin optiksel bant aralığı aşağı yukarı 2.32-2.54 eV' yi göstermiştir ve elektriksel iletkenliği $8x10^{-4}$ Ωcm olduğu bulunmuştur. CdO içindeki Sn karışımının optik bant aralığında (2.55' ten 2.84 eV' a kadar) maviye doğru kayma ve elektriksel iletkenlikte bir azalma oluşturur. Burada anlatılan depolama yöntemi, yüzey morfoloji analizi tarafından gösterildiği gibi akışkan olmayan yüzey ince filmlerini vermiştir (L.R. Leon-Gutierrez ve ark.,2006).

Fotovoltaik (PV) güneş pili için yazarlar tarafından önerilen heteroyapı tasarımı: Au-Cu/p-CdTe:Sb/n-CdO:F/cam şeklinde olmuştur. %85' ten daha yüksek optiksel geçirgenlik ve $4.5x10^{-4}$ Ω.cm değerinde düşük özdirenç elde etmek amacıyla sol-jel yöntemi ile CdO:F filmleri geliştirilmiştir. Büyük boyutlu tanecik, iyi kristallenmiş yapı ve 10^6 Ω.cm civarında özdirenç değeri elde etmek için RF saçılma tekniği aracılığıyla CdTe:Sb filmleri hazırlanmıştır. Au-Cu kontaklar, ısısal olarak buharlaştırılmıştır. PV-heteroyapısının çalışması için hazırlık parametrelerinin sistematik bir değişimi gerçekleştirilmiştir. En yüksek verimi elde etmek için, pil yapımını içeren parametreler aşağıda sıralanmıştır:

a) p-CdTe:Sb filmlerinin depolanması için 2.5 m Torr' luk düşük argon basıncı ve 450 ^oC' lik yüksek alttaban sıcaklığının gerekli olduğu tespit edilmiştir. Depo edilen CdTe:Sb filimlerin kalınlığı 4.5-11 μm aralığında değişmiştir.

b) Heteroyapının aktivasyonu için:

1. Vakumdaki ısısal deneyler CdTe depolandıktan sonra 350-550 ^oC arasında değiştirilmiştir.

2. Isısal deneylerde heteroyapı argon gazı atmosferinde, $CdCl_2$ çözeltisine daldırıldıktan sonra 400-510 ^oC aralığında gerçekleştirilmiştir.

c) Uygun Cu film kalınlığı ile Cu-Au kontaklarının optimizesi sağlanmıştır. En yüksek enerji dönüşüm verimi (η) değeri % 5.48 olarak elde edilmiştir. Bu

çalışma, η' nin en iyi değerini ortaya çıkarmak için güneş pili yapımındaki parametrelerin sistematik çalışmasını rapor etmiştir (J. Santoz-Cruz ve ark.,2006)

CdO nanoçubukların etanol ve sudaki optiksel limit (OL) özellikleri, 532 nm' de saniyenin binde birindeki lazer pulsları kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, etanoldeki nanoçubuklarının süspansiyonunun, sudaki CdO nanoçubukların süspansiyonundan ve tuluendeki C_{60} çözeltisinden daha iyi OL özelliğini sergilediğini göstermiştir. CdO nanoçubuklarının, etanol çözeltisinde gözlenen optiksel limiti için baskın mekanizmanın nedeni lineer olmayan saçılmaya bağlanmıştır (Q. Chang ve ark.,2007).

Flor katkılanmış kadmiyum oksit örnekleri, ultrasonik püskürtme tekniği ile 250 ^{o}C' de elde edilmiştir. CdO:F örneklerinin X-ışını kırınım desenleri, örneklerin kübik sodyum klorür yapılı polikristal olduğunu göstermiştir. Farklı flor konsantrasyonlarında, değişik düzlemler için hesaplanan yapılanma sabitleri, örneklerin (111) ve (200) tercihli yönelimini sergilediğini göstermiştir. Her bir kırınım düzleminin kübik yapısı için örgü parametreleri hesaplanmıştır. % 4' e kadar flor katkılamada, örneklerin hemen hemen sabit olan kristal boyutu, bu konsantrasyon değeri üzerinde gözle görülür bir azalma göstermiştir. Makro gerilim ve yerdeğiştirme yoğunluğu flor konsantrasyonu ile değişiklik göstermiştir (M. Kul ve ark.,2007).

Flor katkılı kadmiyum oksit (CdO:F) örnekleri, ultrasonik püskürtme yöntemiyle 250 ^{o}C' de depolanmıştır. Kadmiyumasetatdihidrat ve amonyum florür, sırasıyla kadmiyum ve flor katkı kaynağı olarak ele alınmıştır. CdO:F örneklerinin kalınlığı, yaklaşık 1.4 μm olarak bulunmuştur. CdO:F örneklerinin X-ışını kırınım deseni, filmlerin kübik sodyum klorür yapılı polikristal olduğunu göstermiştir. Standart CdO filmine göre CdO:F örnekleri için d (düzlemler arası uzaklık) değerleri değişmiştir. Bragg eşitliği kullanılarak, kübik yapı için örgü parametreleri hesaplanmıştır. Farklı düzlemlerde farklı flor konsantrasyonlarında ölçülen örgü katsayıları örneklerin (111) ve (200) yöneliminde olduğunu göstermiştir (M. Kul ve ark.,2007).

Farklı yüzde oranlarında alüminyum katkılı, kadmiyum oksit ince filmleri, via radyo-frekanslı magnetron püskürtme tekniği aracılığıyla sentezlenmiştir. İnce

filmler, Ar + O_2 atmosferde 0.1 mbar basıncında ve 573 K alttaban sıcaklığında, alüminyumun farklı yüzde oranlarıyla, cam ve silikon alttabanlar üzerine depolanmıştır. Depo edilen filmlerin, elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri çalışılarak karakterize edilmiştir. X-ışını kırınım deseni, filmlerin (111) tercihsel yönelimli, iyi kristal özellikte olduğunu göstermiştir. CdO ince filmlerine alüminyum katkılama, X-ışını fotoelektron spektroskop çalışmalarıyla doğrulanmış ve var olan katkılama yüzde oranları ölçülmüştür. Alüminyum konsantrasyon yüzde oranının, yükselmesine bağlı olarak optiksel bant aralığının, önce düştüğü sonra yükseldiği gözlenmiştir. Elektriksel iletkenliğin, % 5'e kadar alüminyum konsantrasyonunda artışla birlikte arttığı, % 5'ten daha yüksek değerlerde ise azaldığı gözlenmiştir (B. Saha ve ark.,2007).

Saydam ve iletken, flor (F) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmler sol-jel tekniği ile cam lam üzerine depolanmıştır. Filmler, optimum konsantrasyonu belirlenmiş olan öncül çözeltiye, amonyum florürün eklenmesiyle katkılanmıştır. Filmler, 350 ^{o}C' de açık havada fırınlanmıştır ve bundan sonra aynı sıcaklıkta farklı ortamlarda (N_2, N_2/H_2 karışımı ve Ar) tavlama işlemlerine maruz bırakılmıştır. Filmler ultraviolet-visible spektroskopi, X-ışını kırınım ve taramalı elektron mikroskobu tarafından karakterize edilmiştir. Özdirenç, dört uç tekniği (four probe technique) ile belirlenmiştir ve akım-voltaj standart Van der Pauw konfigürasyonuna göre ölçülmüştür. Elde edilen CdO:F ince filmler, görünen bölgede yüksek geçirgenlik ve kaliteli polikristal yapı göstermiştir. Öncül çözeltideki flor konsantrasyonu % 0' dan 30' a arttıkça soğurma kenarının mavi bölgesine doğru değişmiştir. En düşük özdirenç değeri, % 5' e eşit veya daha yüksek F içeren örnekler ve N_2 yada 96/4 N_2/H_2 gaz karışımlarındaki tavlamalar için ulaşılmıştır. CdO:F tabakalarda ulaşılan direnç değerimiz $4.5x10^{-4}$ Ωcm (20 Ω/square) dır (J. Santoz-Cruz ve ark.,2007).

80-800 nm çapında ZnO nanoçubuklar, solvotermal koşullar altında etilendiamin, etanol ve çinko asetat' ın reaksiyonu ile kolayca sentezlenmiştir. En iyi ürünler, düşük ısı hızıyla 330 ^{o}C' de elde edilmiştir. Yüzey aktif madde olarak Triton® –X 100 eklenmesi, aynı tip (300 nm) nanoçubuklar vermiştir. Reaksiyon karışımına, küçük miktarda sıvı NH_3 eklenmesiyle, farklı spektroskopik özelliklere

sahip N-katkılı ZnO nanoçubukları elde edilmiştir. 80 nm çapındaki CdO nanoçubukları, 330°C' de etanol, etilendiamin ve kadmiyum cupferronate kullanılarak solvotermal koşullar altında hazırlanmıştır. Benzer şekilde 70 nm çapında $Zn_{1-x}Cd_xO$ nanoçubukları, etilendiamin, etanol, kadmiyum cupferronate ve çinko asetat karışımıyla, solvotermal koşullar altında elde edilmiştir (N. Varghese ve ark.,2007).

Saydam iletken kadmiyum oksit (CdO) filmler, oda sıcaklığında DC reaktif magnetron saçılma tarafından PET (polyethylene terephthalate) alttabanlar üzerine depolanmıştır. Oda sıcaklığında depolanan tüm filmler, kaya-tuzu yapıda polikristallerdir. CdO filmlerinin fiziksel özelliklerinin, oksijen kısmi basıncına bağlılığı sistematik olarak çalışılmıştır. Düşük oksijen akış hızında depolanan filmler, (200) doğrultusunda yönelirken 20 scmm' den daha büyük oksijen akış hızında depo edilen filmler (111) doğrultusunda yönelmiştir. XRD ve SEM tarafından belirlendiği gibi CdO filmlerin ortalama tanecik büyüklüğü oksijen akış hızı arttıkça azalmıştır. Hall etkisi ölçümleri, CdO filmlerin yüksek konsantrasyon, düşük direnç ve yüksek mobiliteye sahip olduklarını göstermiştir. Hem mobilite hem de taşıyıcı konsantrasyonu, oksijen akış hızının artmasıyla azalmıştır. Minimum tabaka direnci, 36.1 Ω/□ veya en düşük direnç $5.44x10^{-4}$ Ωcm ($6.21x10^{20}$/cm^3, μ =19.2 cm^2/Vs) 10 scmm' lik bir oksijen akış hızında depolanan filmler için elde edilmiştir (Q. Zhou ve ark.,2007).

$CdCO_3$'ün nanoparçacıkları, sonokimyasal metot kullanılarak, tetrametilamonyum hidroksit (TMAH) ve $Cd(CH_3COO)_2$'nin reaksiyonuyla sentezlenmiştir. CdO nanoparçacıkları, 400 °C'de $CdCO_3$ nanoparçacıklarının ısıtılmasıyla elde edilmiştir. $CdCO_3$ ve CdO nanoparçacıkları, elektron tarama mikroskobu (SEM), X-ışını toz kırınımı (XRD), TGA, DTA ve FT-IR spektroskopu ile karekterize edilmiştir (A. Askarinejad ve A. Morsali.,2008).

Çok az Ga-katkılı CdO ince filmlerinin (% 3, % 6 ve % 9) örnek serileri, cam alttabanlar üzerine buharlaştırma yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanmış filmler, X-ışını kırınımı (XRD), UV-VIS-NIR soğurma spektroskopisi ve dc-elektriksel ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Araştırma, Ga katkılamanın CdO' nın enerji aralığını genişlettiğini göstermiştir. Optiksel özellikler, Tauc ve arkadaşlarının

banttan banda geçişleri ve klasik Drude teorisinin kullanımıyla kolayca açıklanmıştır. Örneklerin elektriksel davranışı, onların dejenere yarıiletken olduklarını göstermiştir. % 6 Ga-katkılı CdO örneğinin mobilitesi 3.2 kat artmış, iletkenliği 1.5 kat artmış, katkısız bant aralığı artmış ve katkısız CdO filmine göre geçirgenlikte çok az bir artış tespit edilmiştir. Saydam iletken oksitler (TCO) açısından, Ga, diğer katkı malzemelerine nazaran (In, Sn, Sc ve Y vs) CdO' ya katkılama için yeterince uygun olmadığı tespit edilmiştir (A.A. Dakhel.,2008).

CdO nanoçubuklarının üretimi için, bir kimyasal sentez işlemi tanımlanmıştır. Bu çalışmada, saydam ve iletken CdO filmleri, oda sıcaklığında kimyasal banyo depolama (CBD) yöntemi kullanılarak, cam alttabanlar üzerinde oluşturulmuştur. Bu filmler, 623 K' de tavlanmıştır ve yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), optiksel ve elektiksel özdirenç aracılığıyla karakterize edilmiştir. XRD analizleri, tavlamadan sonra depolanmış amorfun, polikristal yapıya dönüşebileceğini göstermiştir. Tavlanmış CdO nanoçubukları, 60-65 nm çapında ve 2.5' tan 3 μm' ye kadar uzunlukta elde edilmiştir. Optiksel özellikler, sırasıyla 2.42 ve 2.04 eV enerjili doğrudan ve dolaylı bant aralığının varlığını açığa çıkarmıştır. Elektriksel özdirenç ölçümü, yarıiletken davranışını göstermiş ve termoemf ölçümününün sonucunda n-tipi elektriksel iletken olduğu bulunmuştur (D.S. Dhawale ve ark.,2008).

Kadmiyum oksit (CdO) ve F:CdO filmleri, Cd ve F iyonları için öncüller olarak, sırasıyla kadmiyum asetat ve amonyum florür kullanılarak püskürtme yöntemi ile elde edilmiştir. Püskürtme tekniği ile elde edilen CdO ince filmlerinin yapısal, morfolojik, optiksel ve Hall etkisi özellikleri üzerindeki flor katkılamanın ve sıcaklığın etkisi, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik güç mikroskobu (AFM), optiksel soğurma ve elektriksel ölçüm yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. TGA ve TDA çalışmaları, 250 ^{o}C' den sonra kadmiyum asetatın çözünmesi ile CdO' nun oluşumunu gösterir. XRD desenleri, örneklerin (200) tercihli yönelimini sergilemiş ve kübik yapılı polikristal olduğunu açığa çıkarmıştır. (200) pikinin genişliği düşünülerek, ilgili Bragg açısının eşzamanlı değişimi flor katkılama seviyesine göre gözlenmiştir. SEM ve AFM, dağıtılmış alttaban üzerindeki kübiksel taneciklerin heterojen dağılımını göstermiştir. Flor

katkılama, CdO filmlerinin geçirgenliğindeki artışla birlikte, optik aralığında değişimine neden olmuştur. Hall etkisi ölçümü özdirenç ve mobilitenin % 4 F katkılama düzeyine kadar azaldığını göstermiştir (R.J. Deokate ve ark.,2008).

Bu çalışmada, basit bir kimyasal metot kullanılarak, sulu alkali kadmiyum nitrat çözeltisinden oda sıcaklığında cam alttabanlar üzerine, kadmiyum hidroksit oluşumu ve kadmiyum hidroksitin ısısal tavlama işlemi ile kadmiyum okside (CdO) dönüşümü incelenmiştir. Depolanmış filmin, kadmiyum okside dönüşmesini sağlamak için 450 ^{o}C' de 2 saat boyunca oksijen atmosferinde, ısısal tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Depolanmış ve tavlanmış filmler için yapısal, morfolojik ve optiksel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler, depolanmış filmlerin CdO ve $Cd(OH)_2$ karışımından oluştuğunu gösterirken, tavlanmış filmlerin CdO kristal yapısı içerdiğini göstermiştir. Yüzey morfolojik çalışmalarından, tavlanmadan sonra kümelerin, taneciklere ayrıldığı tespit edilmiştir. Bant aralığı enerjisi, tavlama işleminden sonra 3.21 eV' den 2.58 eV' ye değiştiği bulunmuştur. Tavlanmış filmlerin, iç-kabuk nanoparçacıklarının yüzey kompozisyonu üzerinde elemental belirlenmesi, X-ışını fotoelektron spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır (T.P. Gujar ve ark.,2008).

Metal-katalizörsüz-buhar fazı yoluyla, CdO' nun çeşitli boyutta ve morfolojide toz parçacıkları, 1273 K sıcaklığında, atmosferik basınç altında basit termal buharlaştırma tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Kuvars (lam) alttaban üzerine depolanan CdO, yarı-küresel, at-nalı, silindirik ve boru şeklinde olmak üzere farklı morfolojilerde meydana gelmiştir. Aksine kuvars potanın içinde büyütülen CdO, düz yüzeylerin son derece yoğun çubuklar ve küresel cisimlerle karıştırılmış, traşlanmış kübik daha net geometrik şekillerini içermiştir. Bu yeni mikroyapılar, CdO bulk'ında gözlemlenen 111 düzlemi yerine, kübik örgüdeki 002 düzlemi boyunca kristalografik olarak tercihli büyütmeyi açığa çıkarmıştır. Bu cezbedici mikroskobik objelerin, oluşum mekanizmasını anlayabilmek için pota içinde ve kuvars (lam) alttaban üzerindeki farklı mikroyapıların evrimi karşılaştırılmış ve tartışılmıştır (A.K. Srivastava ve ark.,2008).

$[C_8H_{10}CdO_7]_n{\cdot}4H_2O$ olarak formüle edilen yeni bir koordine polimeri, başlangıç malzemesi olarak Cd^{II} tuz ve1,4-benzendikarboksilik (p-BDC) kullanılarak

hidrotermal bir işlem ile hazırlanmıştır. Yapı, tek-kristal X-ışını kırınımı ile belirlenmiş ve sonuç, kompleksin M_r = 402.62, a = 7.293(2) Å , b = 9.980(3) Å, c = 19.889(6) Å, V =1447.6(8) $Å^3$, Z = 4, D_c = 1.847g/cm^3, F(000) = 808, μ(MoKα) = 1.559 mm^{-1}, R = 0.0478, wR = 0.1150 ve GOF = 1.199 sahip Pcca, uzay gruplu ortorombik sistemde kristalize olduğunu göstermiştir. Kırınım çalışması, sınırsız zikzak zincirler ve hidrojen bağı etkileşimi ile oluşan ab düzlemi boyunca, nötr tabakalı bir yapıyı tanımlamıştır. Onun ısısal ayrışımı ve katı-hal oluşum biçimi, 30 ve 550 ^oC aralığında, sırasıyla TG eğrisi ve XRD deseniyle kaydedilmiştir. Garip bir şekilde, bir boyutlu kristal nanomateryallerin hazırlanması için etkin ve uygun bir kompleks öncül süreci önerildikten sonra yüksek sıcaklıklarda kristal materyalinin, uniform CdO nanoçubuklara dönüştüğü bulunmuştur (F. Zhang ve ark.,2008).

İnorganik maddelerin oyuk nanoyapıları için var olan sentez yöntemler, ekstra kalıplar, katalizörler, yüzey aktif maddeleri vs gerektirmektedir, ki bu şüphesiz yüksek maliyete ve daha kompleks bir prosedüre neden olur ve daha da kötüsü hem ürüne hem de çevreye daha yüksek seviyede bir kirliliğe sebeptir. Bu makale, kolayca elde edilebilen inorganik tek-kaynak öncülünden, CdO yarıiletkenin iki farklı nanoyapısının, yeni bir solvotermal sentezini rapor etmiştir. Öncül olarak, yaklaşık 5 nm boyutlu CdO_2 nanoparçaçıkları kullanılmıştır. Herhangi ekstra kalıp, katalizörler, yüzey aktif maddesi kullanmaksızın, CdO' nın küresel yarı-delik ve düzensiz bambu tipi nanoyapıları, sırasıyla etanol ve etilen glikolde, CdO_2 nanoparçacıklarının solvotermal (180 ^oC, 24sa) deneyleriyle kolayca sentezlenmiştir. Sonuç ürünler, X-ışını kırınım (XRD), geçirgen elektron mikroskobu (TEM), UV soğurma tayfı ile karakterize edilmiştir ve hatta bunların olası oluşum mekanizmaları önerilmiştir (Y.C. Zhang ve G.L. Wang.,2008).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Kristal Yapısı Ve Birim Hücreler

Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak, malzemelerin özellikleri ve mikro yapıları değişmektedir. Atomların diziliş şekilleri amorf, moleküler ve kristal yapı olmak üzere üç grupta incelenir.

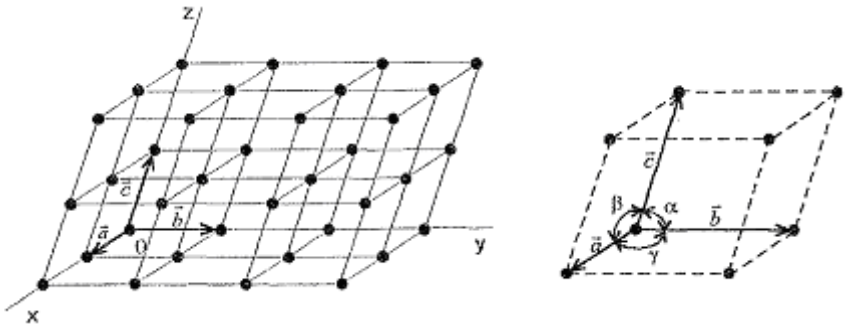
Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse böyle bir yapıya amorf yapı (düzensiz yapı) adı verilir. Gazlar, sıvılar ve katı maddelerden cam, amorf yapılı maddelerdir. Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirleri ile zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorsa bu tür yapılara da moleküler yapı denir. Moleküler yapılı malzemelerde, molekül içerisinde düzenli bir diziliş söz konusu iken moleküller arası rastgele bir dizilişe sahiptir. Su (H_2O), karbondioksit (CO_2), O_2, N_2 ve birçok polimer malzemeler moleküler yapıya sahiptirler. Atomların üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre dizilmeleri sonucu meydana gelen yapıya kristal yapı veya kristal kafesi denir. Bütün metaller, çoğu seramik malzemeler ve bazı polimerler kristal yapıya sahiptirler (Uzun ve ark., 2003).

Atomların ortaya çıkardığı düzeni bir nokta ile gösterecek olursak, üç boyutta oluşan kristal, noktalardan yapılmış bir kafes gibi düşünülebilir. Bu kafese örgü denir. Örgüde alınan bir noktadan çıkan üç boyutta $\vec{a},\vec{b},\vec{c}$ vektörlerinin kristal içerisinde belirlediği hacme birim örgü hücresi denir.

Kristalin düzenli içyapısı, kristal örgüsü adı ile tanımlanır. Kristal örgüsü uzaysal ağ gibi gösterilir ve bu ağın düğümlerinde atomlar veya iyonlar yerleşmektedirler ve

$$\vec{r} = m\vec{a} + n\vec{b} + p\vec{c} \tag{3.1}$$

vektörü ile belirlenir. Burada $\vec{a},\vec{b},\vec{c}$ temel yer değiştirme vektörleridir ve onların modülleri yer değiştirme periyotlarıdır. Burada m, n, p tam sayılardır. Herhangi bir düğümdeki atomun paralel yer değiştirme yöntemiyle oluşan örgüye yer değiştirme örgüsü veya Bravais örgüsü denir. $\vec{a},\vec{b},\vec{c}$ vektörleriyle kurulan en küçük paralel kenar prizma, kristal örgüsünün birim hücresi olarak tanımlanır.



(a) (b)

Şekil 3.1. (a) Basit örgü ve (b) onun birim hücresi (Caferov, 1998).

Birim hücreyi karakterize etmek için altı parametre gereklidir: hücrenin üç kenarının uzunluğu a, b, c ve onların arasındaki açılar α,β,γ (Şekil3.1.b). $\vec{a},\vec{b},\vec{c}$ 'nin değerleri örgü parametreleri olarak tanımlanır. Örgüyü oluşturan tüm birim hücrelerin hacmi ve biçimi aynıdır.

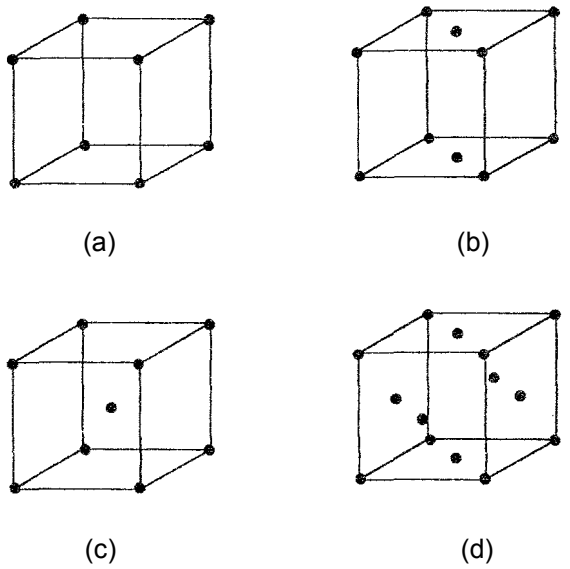
Biçimlerine göre, birim hücreleri yedi tipe veya simetri sistemine ayrılırlar: Kübik, tetragonal, hekzagonal, trigonal (veya rombohedral), rombik (veya ortorombik), monoklinik ve triklinik.

Çizelge 3.1. Kristal Sistemleri ve Bravais Örgüler (Güneri, 2003).

Sistem	Eksen uzunlukları ve açıları	Bravais örgüsü	Örgü sembolü
Kübik	Eksenlerin üçü de birbirine eşittir. Açılar 90°' ye eşittir. $a = b = c$, $\alpha=\beta = \gamma = 90°$	Basit Cisim-merkezli Yüzey-merkezli	P I F
Tetragonal	Eksenlerden ikisi birbirine eşittir. Açılar 90°' ye eşittir. $a = b \neq c$, $\alpha=\beta = \gamma = 90°$	Basit Cisim-merkezli	P I
Ortorombik	Eksenlerin üçü de birbirine eşit değildir. Açılar 90°' ye eşittir. $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta = \gamma = 90°$	Basit Cisim-merkezli Taban-merkezli Yüzey- merkezli	P I C F
Rombohedral	Eksenlerin hepsi birbirine eşittir. Açıların hepsi birbirine eşittir. $a = b = c$, $\alpha=\beta = \gamma \neq 90°$	Basit	R
Hekzagonal	Eksenlerin ikisi birbirine eşittir. Açılardan ikisi 90°, üçüncüsü 120°dir. $a = b \neq c$, $\alpha=\beta = 90°$, $\gamma = 120°$dir.	Basit	P
Monoklinik	Eksenlerin üçü de birbirine eşit değildir. Açılardan ikisi birbirine eşittir ve 90°dir . $a \neq b \neq c$, $\alpha= \gamma = 90° \neq \beta$	Basit Taban-Merkezli	P C
Triklinik	Eksenlerin üçü de birbirine eşit değildir. Açıların üçü de birbirine eşit değildir. $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	Basit	P

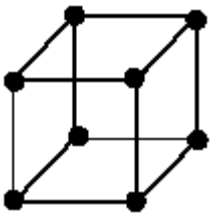
Birim hücredeki düğümlerin (veya atomların) sayısına göre örgüler basit ve bileşik olabilir. Basit örgüde birim hücrede bir atom bulunur. Bileşik hücrede ise birden fazla atom bulunabilir. Basit örgüde atomlar sadece birim hücrenin düğümlerinde yerleşebilir (Şekil 3.2.a).

Bileşik örgülerde ise, birim hücrenin düğümlerinden başka, atomlar taban yüzeyinin merkezinde (taban merkezli örgü), uzay köşegenlerinin kesişmesinde (hacim merkezli örgü) ve tüm yüzeylerin merkezinde (yüzey merkezli örgü) yerleşebilir (Şekil 3.2.b, c, d). Böylece, taban merkezli, hacim merkezli ve yüzey merkezli örgünün birim hücresinde sırasıyla iki, iki ve dört atom yerleşebilir.

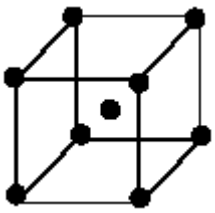


Şekil 3.2. (a) Basit, (b) taban merkezli, (c) hacim merkezli ve (d) yüzey merkezli örgüler (Caferov, 1998).

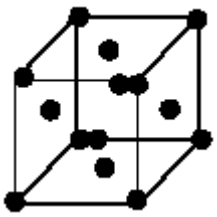
Katıların kristal örgüsünün yapısı, yani $\vec{a},\vec{b},\vec{c}$ örgü parametrelerinin ve açılarının belirlenmesi, X-ışınları, elektron ışınları ve nötron ışınları kırınımı yöntemleriyle araştırılmaktadır (Caferov, 1998).



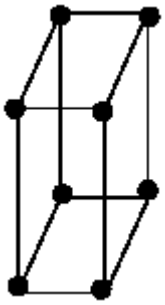
Kübik (P)



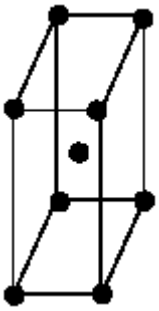
Kübik (I)



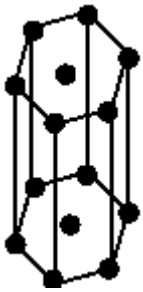
Kübik (F)



Tetragonal (P)



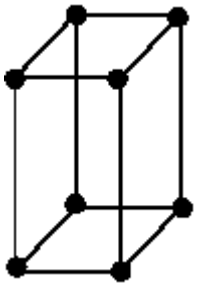
Tetragonal (I)



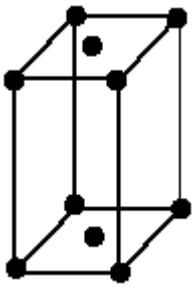
Hekzagonal (P)



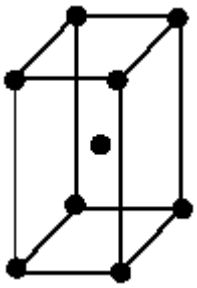
Rombohedral (P)



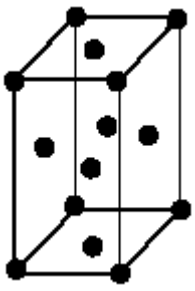
Ortorombik (P)



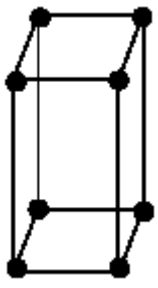
Ortorombik (C)



Ortorombik (I)



Ortorombik (F)



Monoklinik (P)

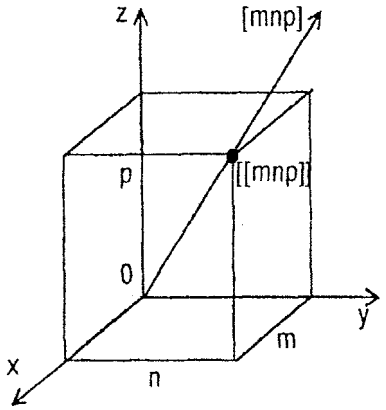


Monoklinik (C) Triklinik (P)

Şekil 3.3. Bravais örgüleri (Özçelik, 2005).

3.2. Miller İndisleri

Kristal örgüdeki düğümleri, düzlemleri ve doğrultuları işaretleme yöntemlerini göz önüne alalım. Basit örgüdeki herhangi bir düğümün yeri üç koordinatla (x,y,z) belirlenir.



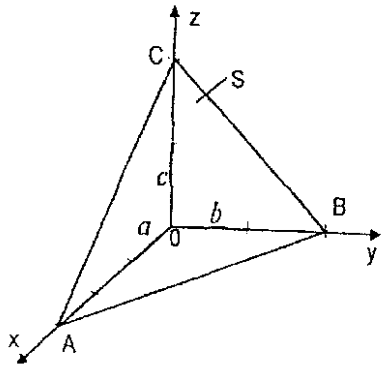
Şekil 3.4. Düğümlerin indisleri (Caferov, 1998).

$$x = ma \ , \ y = nb \ , \ z = pc \tag{3.2}$$

Burada a, b, c örgü parametreleridir ve m, n, p tam sayılardır. Örgü parametrelerini birim uzunlukta kabul ettiğimizde m, n, p düğüm koordinatları olmaktadır. Bu sayılar düğüm indisleri olarak tanımlanır ve şöyle işaretlenir [mnp].

Kristal doğrultusu, koordinat merkezinden ilk geçen doğru çizgi ile ifade edilmektedir. Bu doğrunun yönü, onun birinci geçtiği düğümün indisleri ile belirlenir. Bu nedenle böyle indisler aynı zamanda doğrultunun da indisleridir ve [mnp] olarak işaretlenmektedir (Şekil 3.4.).

Düzlemlerin kristaldeki yeri, miller indisleri ile belirlenir, xyz koordinat sistemini göz önüne alalım (Şekil 3.5.). Bu koordinat sisteminin merkezi örgüsünün herhangi bir düğümüne yerleşmektedir ve x,y,z eksenlerin ölçüleri a,b,c örgü parametrelerine karşılıklarıdır. Herhangi bir düzlemin uzaydaki yeri üç nokta ile belirlenir. Düzlemin koordinat eksenleriyle kesişme noktası böyle koordinatlardır.



Şekil 3.5. S düzleminin xyz koordinat sisteminde gösterimi (Caferov, 1998).

Şekil 3.5' te gösterilen ABC (S) düzlemiyle x,y,z eksenlerinde kesilen parçalar $m = \frac{OA}{a}$, $n = \frac{OB}{b}$, $p = \frac{OC}{c}$ dır. Bu durumda düzlem denklemi

$$\frac{x}{m} + \frac{y}{n} + \frac{z}{p} = 1 \qquad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemin tüm terimleri ortak paydaya (bölene) (D) getirilirse ve sonra payda atılırsa, (3.3) eşitliği aşağıdaki şekli alır:

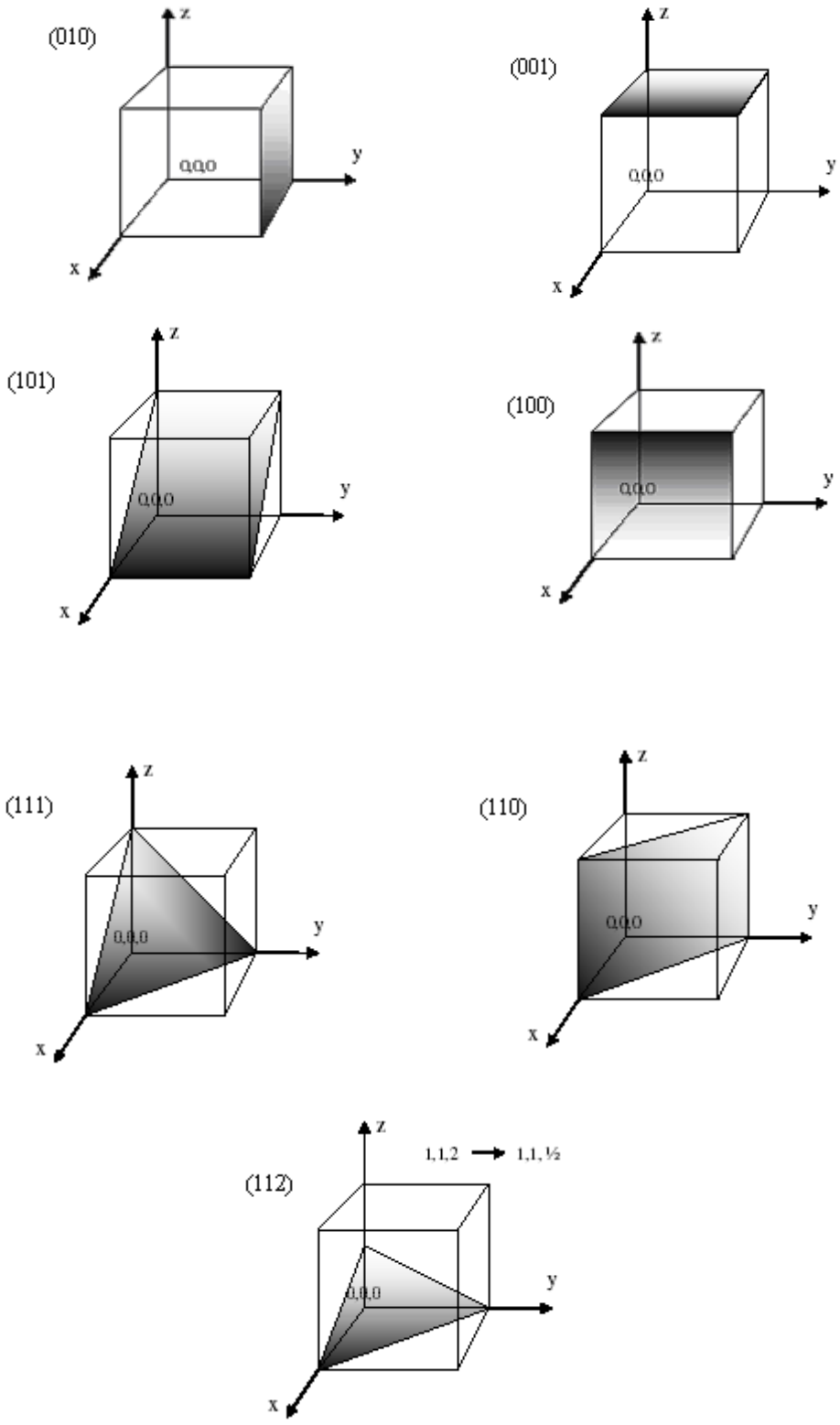
$$hx + ky + lz = D \qquad (3.4)$$

Burada h, k, l tam sayılardır ve miller indisleri olarak tanımlanır. Bu indislerle belirlenen düzlem (hkl) olarak işaretlenir. Şekil 3.5' te gösterilen (S) düzlemi x, y, z eksenlerinde m=3, n=2, p=2 boyutlu parçaları kesmektedir. (3.3) eşitliğini kullanarak S düzlemi için x/3+y/2+z/2=1 buluruz . Bu denklemin terimlerini ortak paydaya getirirsek, 2x+3y+3z = 6 olur, yani h=2, k=3, 1=3. Böylece şekil 3.5' te gösterilen S düzleminin indisleri (233) olur.

Kristal düzlemlerinin miller indislerini bulmak için aşağıdaki kural uygulanmaktadır; düzlemle x,y,z eksenlerinin kesişen parçalarının ters değerleri (l/m:1/n:l/p), ortak paydaya getirildikten sonra payda atılır ve kalan üç değer miller indisleri olarak kabul edilir.

l/m:1/n:l/p = 1/3:1/2:1/2=2/6:3/6:3/6=2:3:3

Böylece S düzleminin miller indisleri h=2, k=3, 1=3 değerleri ile ifade edilir. Miller indisleri parantez içinde gösterilmektedir (233). Birbirine paralel olan düzlemler örnek (233), (466), (699) vb. aynı miller indisleriyle (233) şeklinde işaretlenir. Böylece, miller indisleri tek bir düzlemi değil, birbirine paralel olan düzlemleri gösterir. Bu kristalografik eşdeğerli düzlemler (düzlemler takımı) [hkl] olarak işaretlenmektedir. Eğer düzlemle eksende kesişen parçanın değeri negatifse, buna karşılık gelen miller indislerinin de işareti negatiftir. Negatif işareti indisin önünde değil, üstünde bulunmalıdır. Örneğin, h= –1, k=2, 1=0 için, düzlemin miller indisleri ($\bar{1}$20) ile gösterilmektedir. Genellikle, düzlemler arası mesafe (veya düzlem mesafesi) d, düzlem takımının indisleri ve örgü parametreleri ile belirlenir.



Şekil 3.6. Kristal düzlemler.

Herhangi bir (hkl) düzlem takımı içinde, komşu iki düzlem arasındaki mesafe (d) aşağıdaki denklemlerden belirlenebilir:

Kübik $$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

Tetragonal $$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Hegzagonal $$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2}\right) + \frac{l^2}{c^2}$$

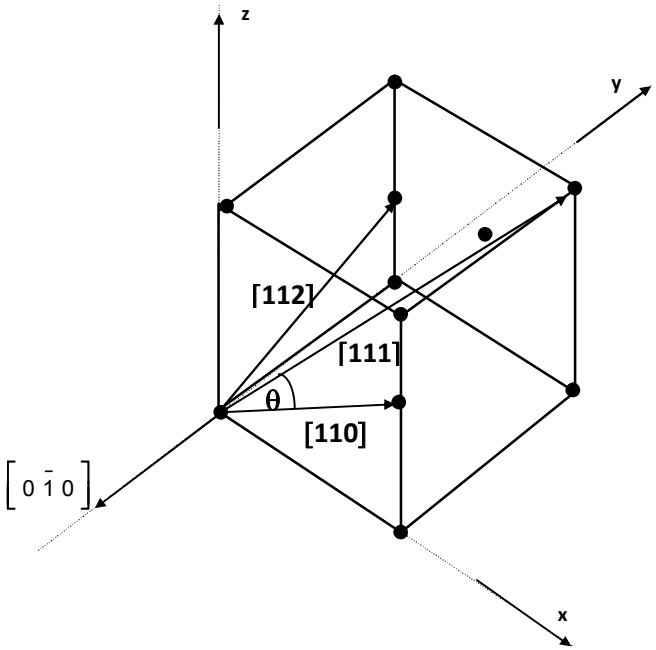
Birim hücrelerin hacmi ise aşağıdaki eşitliklerden bulunur,

Kübik $V = a^3$

Tetragonal $V = a^2c$

Hegzagonal $V = 0.866a^2c$

Kristalin birçok özellikleri kristalografik doğrultulara bağlı olarak değişmektedir. Doğrultuları belirlemek için miller indisleri kullanılmaktadır. Kristal doğrultuları karşılıklı indisli düzlemlere diktirler. Kristal örgüsünde herhangi bir doğrultuya paralel olarak, sonsuz sayıda doğrultular vardır. Bu tür fiziksel eşdeğer doğrultular [hkl] işaretiyle gösterilmektedir. Doğrultu vektörü [hkl] , karşılıklı (hkl) düzlemine diktir.



Şekil 3.7. Çeşitli kristal doğrultuları.

İki ($h_1k_1l_1$) ve ($h_2k_2l_2$) doğruları veya ($h_1k_1l_1$) ve ($h_2k_2l_2$) düzlemleri arasındaki θ açısı kübik kristal için

$$\cos\theta = \frac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)^{1/2}} \tag{3.5}$$

olarak bulunur (Caferov, 1998).

3.3. X-Işınları

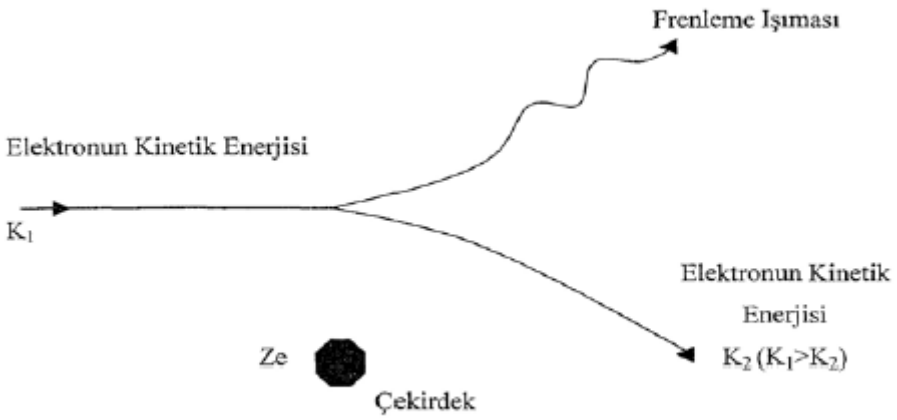
X ışınları, Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 8 Kasım 1895'te keşfedilmiştir. Bu tarihte Würzburg'da fizik profesörü olan W.C. Röntgen (1845-1923) tümüyle havası boşaltılmış vakum tüp kullanarak gazlarda elektriğin iletilmesi konusunda deneyler yaparken raslantı sonucu; baryum platin siyanür kaplı bir kağıt yaprağının, yakınında duran tamamen siyah karton kaplı bir katot ışını tüpünü açtığında ışıldamaya başladığını farketti. Katot ışını tüpünde elektronlar vakumda, bir elektrik alanı ile hızlandırılırlar. Bu elektronların tüpün cam ucuna vurmaları,

tuzun parlamasına yol açan girici "X-ışınları"nı oluşturmuştu. Bu ışığın tabiatı tam olarak bilinmediği için X-ışını adı verilen bu ışınlar, günümüzde de Röntgen'in adına ithafen aynen kullanılmaktadır.

X-ışınlarının doğru çizgiler üzerinde yol aldıkları, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmedikleri, saydam olmayan malzemeden kolaylıkla geçtikleri, fosfor gibi ışıldayan maddelerin ışıldamasına neden oldukları ve fotoğraf filmlerinde iz bıraktıkları bulundu. Başlangıçtaki elektronlar ne kadar hızlıysa, oluşan X-ışınları da o kadar girici ve X-ışını hüzmesinin şiddeti de o kadar fazla oluyordu.

Saydam olmayan cisimlerin iç yapısını tetkik etmek isteyen fizikçiler ve mühendisler tarafından X-ışınları kullanılmaya başlandı. Cismin bir tarafına bir X-ışını kaynağı ve diğer tarafına da fotoğraf filmi koyarak, cismin daha az yoğun kısımları daha yoğun kısımlarına nazaran daha çok X-ışınları geçmesine müsaade ettiğinden bir gölge fotoğraf veya radyoğraf elde edilebildi. Bu sayede kırılan bir kemikteki kırık veya metal dökümündeki çatlağın yeri tespit edilebildi.

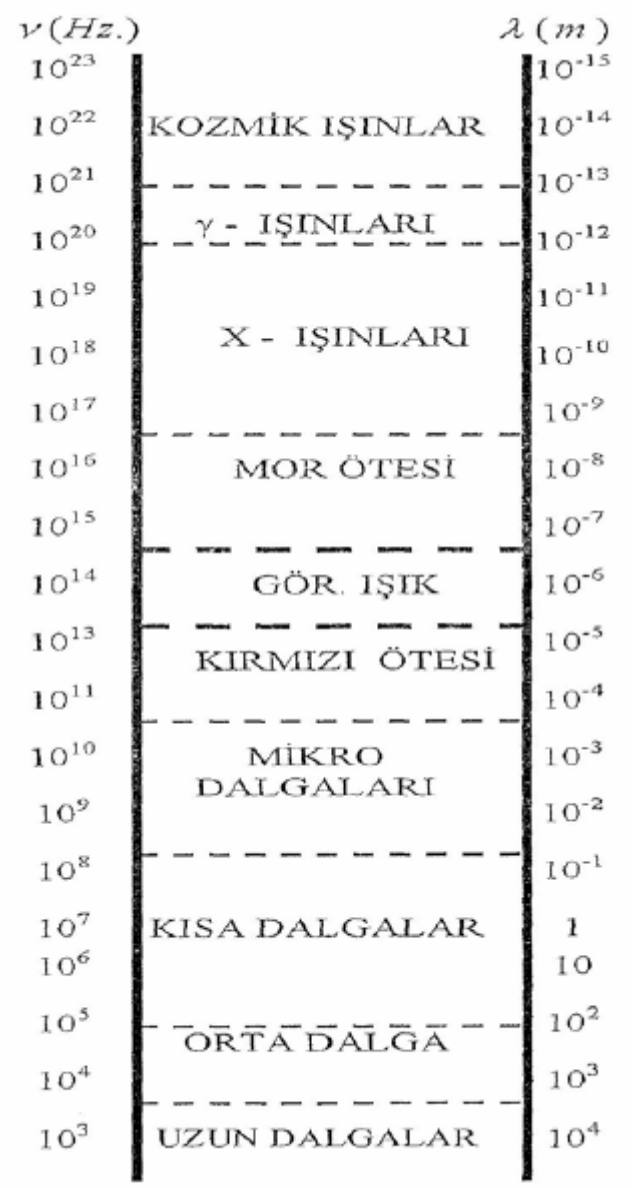
Bu keşiften kısa bir süre sonra X-ışınlarının elektromanyetik dalgalar olduğu açıklığa kavuştu. Elektromanyetik kuram, ivmeli bir elektrik yükünün elektromanyetik dalgalar yayımlanmasını öngördüğünden aniden durdurulan hızlı bir elektron tabii ki ivmelenir. Bu şartlarda oluşturulan ışınımlara Almanca'daki ismi ile bremsstrahlung (frenleme ışınımı) adı verilir.



Şekil 3.8. Frenleme ışımasının oluşumu (Özyetiş, 2005).

1912'ye kadar X-ışınlarının gerçek tabiatı belirlenmiş değildi. 1912'de X-ışınlarının dalga boylarını ölçmek için bir metot geliştirildi. Bu amaç için bir difraksiyon deneyinin ideal olacağı düşünülüyordu; ancak difraksiyon ağının gelen X-ışını demetini difraksiyona uğratabilmesi için dalga boyu ile difraksiyon ağındaki çizgiler arası mesafenin mukayese edilebilir mertebede olması gerekir ve X-ışınlarının gerektirdiği darlıkta aralıklarla bir difraksiyon ağını yapmak o tarihte mümkün değildi. Bu zorluğu aşmak için Max Von Laue, X-ışınları için öngörülen dalga boylarının kristallerdeki iki komşu atom arasındaki uzaklıkla kıyaslanabileceğini gördü ve örgüleri üç boyutlu difraksiyon ağı gibi davranacak olan kristallerin X-ışınlarını difraksiyona uğratmak için kullanılmalarını önerdi. Ertesi yıl yapılan deneylerde, X-ışınlarının 0.0013 ile 0.048 nm arasında dalga boylarına sahip olduğu bulundu. Bunlar görünür ışığın dalga boylarının 10^{-4} 'ü kadar olduğundan X-ışını fotonları görünür ışıktan 10^{4} kat kadar daha enerjiktir.

Dalga boyları 0.01 ile 10 nm civarına kadar olan elektromanyetik ışınımlar, X-ışınları kategorisine girer. Bu kategorinin sınırları keskin değildir: Kısa dalga boyu ucu gama ışınlarıyla, uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışıkla karışır.



Şekil 3.9. X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri (Özyetiş, 2005).

X-ışınlarının kristallerden difraksiyonunun keşfedilmesiyle birlikte hem X-ışınlarının dalga tabiatında olduğu bulundu hem de maddenin ince yapısını tetkik için yeni bir metot elde edilmiş oldu. Difraksiyon yönteminin üstünlüğü; büyüklüğü 10^{-8} cm mertebesinde olan iç yapının detaylarını dolaylı olarak ortaya çıkarabilmesidir. Difraksiyon yöntemi başta fizik, kimya gibi temel bilimlerin yanı sıra metalürjide ve pek çok mühendislik alanlarında kullanılmaktadır (Özyetiş, 2005).

3.3.1. X-Işını Kırınım (XRD) Yöntemleri

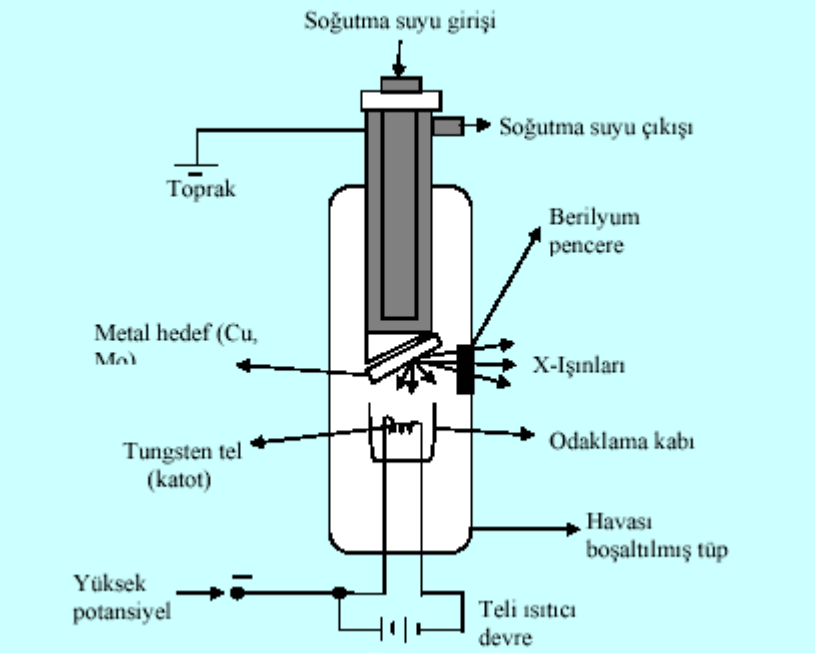
Kristallerin atomlarının geometrik düzeni ve aralarındaki mesafe hakkındaki çoğu bilgi bu yöntemle elde edilmektedir. Bundan dolayı X-ışınları kırınımı (XRD) kristalin bileşiklerin kalitatif olarak tanınmasında pratik ve uygun bir yöntemdir. X-ışını kırınımı, aşırı miktarlardaki X-ışını verilerini işleyebilen çok yüksek hıza sahip bilgisayarların kullanımıyla büyük ölçüde gelişmiştir. XRD yöntemi, bir kristal düzleminin birim hücre boyutlarıyla birlikte kristalin atom düzlemleri arasındaki uzaklığı belirleyebilen bir yöntemdir. X-ışınının içinden geçtiği madde elektronları arasındaki etkileşme neticesinde saçılma oluşur. Eğer X-ışınları bir kristaldeki düzenli ortam tarafından saçılırsa, saçılmayı yapan merkezler arasındaki uzaklık X-ışınının dalga boyu ile aynı mertebeden olduğu için saçılan ışınlar olumlu ya da olumsuz girişim yaparlar. Bu durumda kırınım meydana gelir.

XRD çalışmalarında, dalga boyu sabit X-ışınları kullanılır. X-ışınları kaynağı olarak X-ışını tüpleri kullanılmaktadır. Dalga boyu sabit X-ışınları elde etmek için, ısıtılan bir tungsten filamandan ısı tahriki ile yayınlanan elektronlar elektromanyetik bir alan içinde hızlandırılır (Şekil 3.10).

Hızlandırılarak yüksek enerji kazandırılan bu elektron demeti bir anota (bakır gibi) çarptığında, elektronlar anotun elektron kabuklarına girerler. Yüksek enerjili elektron demeti çekirdeğe yakın kabuktaki bir elektrona çarparak onu yerinden çıkartırsa, elektron kaybından dolayı atom kararsız hale geçer ve boş kalan elektronun yeri daha yüksek enerjili kabuktaki bir elektron tarafından doldurulur. Bu elektron geçişinden kaynaklanan enerji farkı, karakteristik X-ışını fotonu olarak yayınlanır. Yayınlanan enerji,

$$E = \frac{hc}{\lambda} \tag{3.6}$$

bağıntısıyla belirlenir.Burada; h: Planck sabiti (6.62×10^{-34} J.s), c:ışık hızı (3×10^{8} m/s), λ ise X-ışınının dalga boyudur.



Şekil 3.10. Bir X-ışını tüpü (Şişman, 2006).

Bir yarıktan geçirildikten sonra paralel hale getirilen X-ışınları, daha sonra döner bir masa üzerine yerleştirilmiş kristal düzlemine gelir. X-ışını kırınımı, basit bir ifadeyle bir kristal düzlemine gönderilen X-ışınlarının kristalin atom düzlemlerine çarparak yansıması olayıdır. Ancak buradaki yansıma ışığın bir ayna düzleminden yansıması olayından çok farklıdır. Kırınım olayında, gelen X-ışınları kristal yüzeyinin altındaki atom düzlemlerine ulaşır, yani kırınım yüzeysel bir olay değildir. Düzensiz yapıda (amorf) bir kristal düzlemine gelen X-ışını demeti, kristal düzlemlerine herhangi bir açıyla çarparsa, kırınım gerçekleşmez. Çünkü kristal düzlemlerinden yansıyan X-ışınlarının, aldıkları yolların uzunlukları farklı olduğundan, söz konusu ışınlar arasında faz farkı oluşur ve bu ışınlar birbirlerini iptal ederler. Bunun sonucu olarak herhangi bir kırınım (difraksiyon) piki gözlenmez (Şişman, 2006).

X-ışını kırınımı ile filmlerin kalınlık, kimyasal bileşim, amorfluk, tek kristal ya da polikristal durum, kristal yapı bozuklukları, kristal içerisinde

bulunabilecek katkı atomları, kristalografik yönelim, örgü parametreleri, tane boyutu ve benzeri pek çok özellik incelenebilmektedir.

Bir malzeme için yapılan basit kimyasal analiz ancak malzeme içerisinde var olan elementlerin hangileri olduğu hakkında bilgi verebilir. Halbuki X-ışını kırınımı ile malzemenin içinde bulunan kimyasal bileşenlerin cinsi ve bu bileşenlerin malzeme içinde hangi fazda bulundukları belirlenerek nitel analiz yapılabilir.

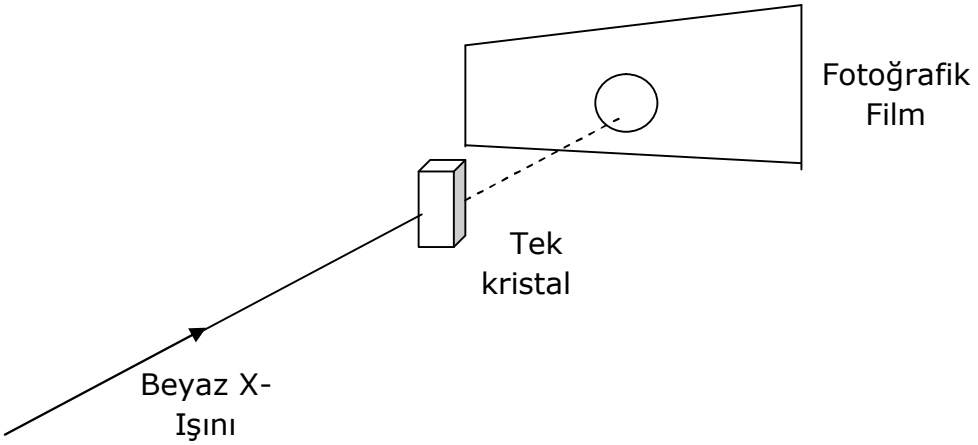
Aynı zamanda nicel analiz de mümkündür. Çünkü malzeme içinde var olan bileşenlerin sahip olduğu piklerin şiddeti, bu bileşenin malzeme içindeki oranına bağlıdır. Bu şekilde bilinmeyen bir malzeme, kırınım spektrum ve JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standarts) kartları kullanılarak tayin edilebilir. XRD ile kimyasal analizde kullanılacak bilinmeyen malzeme zarar görmez ve küçük bir parçası bu analiz için yeterlidir. Bir cismin toz deseni o cismin karakteristik bir özelliğidir.

Spektrum üzerindeki piklerin şiddetlerine, yari pik genişliklerine ve zemin (background) şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilebilir. İyi bir kristalleşme seviyesine sahip malzemenin XRD spektrumu, şiddeti minimum olan bir zemin üzerinde bulunan yüksek şiddetli ve yarı pik genişlikleri dar olan piklere sahiptir.

Eğer zemin şiddeti yüksek, yarı pik genişlikleri geniş ve pik şiddetleri düşük ise kristalleşme seviyesinin kötü olduğu söylenebilir. Spektrum üzerinde zemin şiddetinin yüksek olması düşük şiddete sahip pikleri görüntülenemeyecek hale getirir (Demirci, 2006).

3.3.1.1. Laue Yöntemi

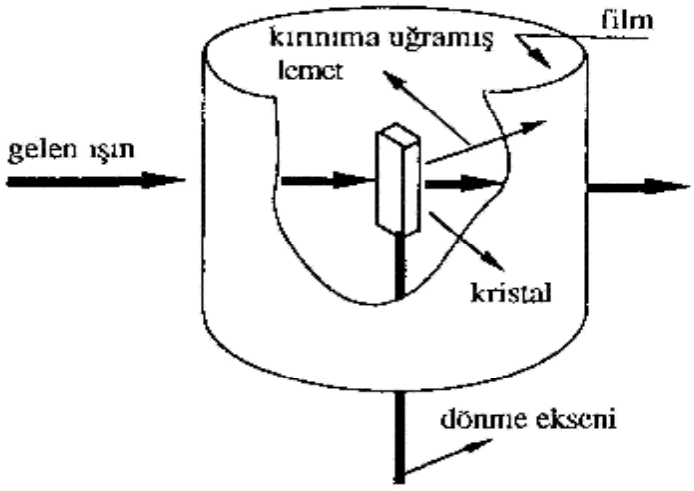
Laue yönteminde beyaz X-ışını tek kristal üzerine dik olarak düşürülür. Kristal düzlemlerinin her bir seti için bazı dalga boylarında Bragg yasası sağlanır ve kırınıma uğrayan demet fotoğrafik film üzerinde noktalar deseni oluşturur. Bu nokta deseninin simetrisi, gelen demet doğrultusunda bakıldığında kristalin simetrisini gösterir. Kristalin simetrisinin belirlenmesi Laue yönteminin başlıca kullanış amaçlarından biridir.



Şekil 3.11. Laue yöntemi için deneysel düzenek.

3.3.1.2. Döner Kristal Yöntemi

Tek kristal, tek renkli X-ışını veya nötron demetinin yolu üzerine, sabit bir eksen etrafında kolayca dönebilecek şekilde yerleştirilir. Dönme ekseni ile aynı eksenli silindirin iç yüzeyine fotoğraf filmi yerleştirilir. Gelen ışın bir süzgeçten geçirilerek veya bir kristalden yansıtılarak tek renkli (tek dalga boylu) hale getirilir. Yine, kristalin belirli düzlemlerinden birinin dönme eksenine paralel hale getirilmesine dikkat edilir.



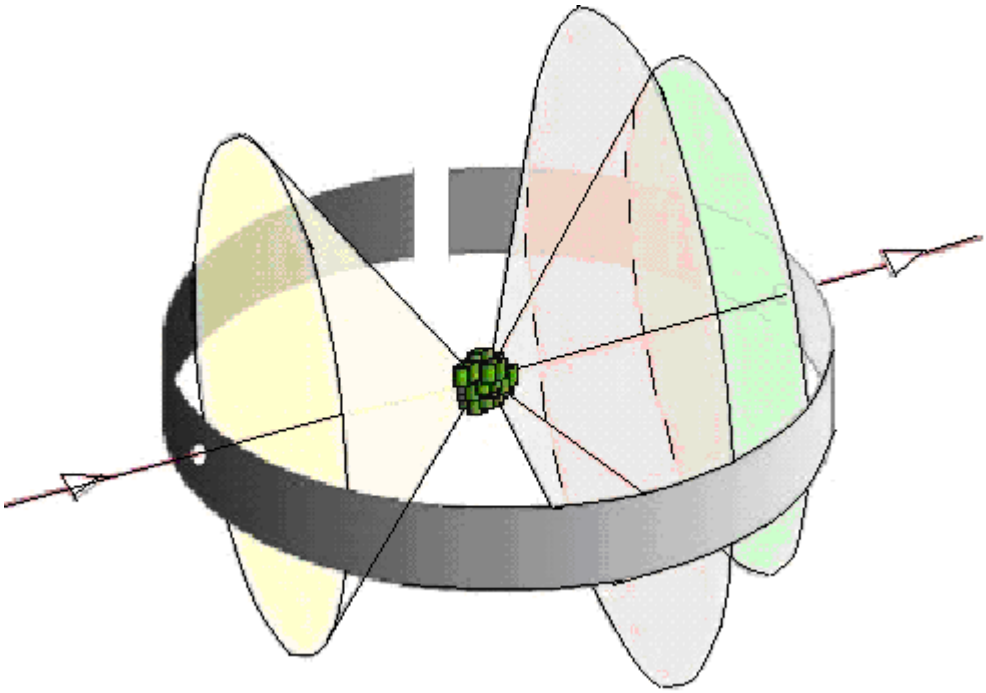
Şekil 3.12. Döner kristal yöntemi için deneysel düzenek (Dikici, 1993).

Kristal, ekseni etrafında döndürüldükçe, değişik düzlemler Bragg yansıması için uygun konumlara gelirler. Gelen demetteki ışınların dalga boyu sabit olduğundan, ışının düştüğü paralel düzlem takımı için gelme açısı θ ve düzlemler arası d uzaklığı Bragg yasasını sağladığı zaman kırınım meydana gelir. Düşey dönme eksenine paralel bütün düzlemlerden yansıyan ışınlar yatay düzlem içinde meydana gelen sıfır tabaka çizgisini oluşturacak şekilde kırınım verir. Diğer tabakalar ise yansıma verirler. Değişik kristal yönelimleri için, açılar ve şiddetler kırınım deseninden çıkarılarak birim hücredeki atomların yerleri ile birim hücrenin şekli ve büyüklüğü tayin edilir (Dikici, 1993).

3.3.1.3. Toz Yöntemi

Bu yöntemde, toz haline getirilmiş örnek kullanılır**.** Toz örnek**,** merkezinden geçen bir eksen etrafında kolayca dönebilen silindirik bir cam tüpün içine konulur. Tek renkli ışın, bu tüpün dönme eksenine dik olarak gelecek şekilde, yeteri kadar ince bir demet şeklinde olmalıdır. Kırınımın kaydedileceği film ise, tüpün dönme ekseni ile aynı eksenli silindirin iç yüzeyine yerleştirilmelidir.

Çok sayıda küçük kristal taneleri tüpte rastgele yöneldiğinden, her zaman Bragg yasasını sağlayacak şekilde yönelmiş yeterli sayıda kristal tanesi bulunur. Bundan dolayı kırınıma uğramış ışın saçılır. λ ve θ' nın her ikisi birden ölçülebildiğinden, düzlemler arası d uzaklığı hesaplanır. Tüpün içindeki örnek, tüple beraber döndürülürse, her yeni durum için, başka kristal taneleri kırınım konumuna geçer. Böylece, aynı dalga boylu ışın için, farklı her düzlem uzaklığına karşı gelen bir kırınım oluşur. Kristal yapının türü önceden bilinirse, örgü sabiti büyük bir duyarlılıkla tayin edilir (Durlu, 1992).



Şekil 3.13. Toz yöntemi (Özçelik, 2005).

3.3.2. Bragg Yasası

Kristal içerisinde X-ışınları kırınıma uğrar. Kırınım yalnızca belli gelme açılarında oluşur. Bragg Yasası, neden yalnızca belli gelme açılarında X-ışınlarının kristalden kırınıma uğradığını açıklamak amacıyla İngiliz fizikçiler W.H. Bragg ve oğlu W.L. Bragg tarafından 1913 yılında bulunmuş ve Bragglar NaCl, ZnS ve elmasın yapılarını belirledikleri çalışma ile 1915 yılında Nobel ödülünü kazanmışlardır.

X-ışını demetinin atom düzlemlerine Bragg açısı olarak bilinen belirli bir açı ile çarpması durumunda ise yansıyan ışınlar tarafından alınan yol, dalga boyunun (λ) tam katlarına eşit olacağından, ışınlar aynı faza sahip olur. Kırınıma uğrayan, yani atom düzlemlerinden yansıyan X-ışınlarının aynı fazda olması durumunda difraksiyon deseni oluşur. Difraksiyon deseni elde edebilmek için; X-ışınlarının atom düzlemlerine çarpma açısı (θ), atom düzlemleri arasındaki uzaklık (d) ve gelen X-ışınlarının dalga boyu (λ) arasında belirli bir bağıntının bulunması gerekir. Bir X-

ışını demetinin birbirine paralel atom düzlemlerine θ açısı altında çarpması durumunda kırınım meydana gelir. Yani kristal düzlemi, düzenli tek kristal yapısında ise, X-ışınları kristal düzleminden aynı fazda saçılır. Bunun sonucu olarak kırınım gözlenir. Kırınımın meydana gelişi şekil 3.14.a' da gösterilmektedir. Burada farklı kristal düzlemlerinden yansıyan ışınların dedektöre geldiğinde aynı faz içinde olması gerekir. Bunun gerçekleşebilmesi için de şekil 3.14'deki MBN yol farkının λ dalga boyuna veya λ' nın tam katlarına eşit olması gerekir. Yansıyan ışınlar, ancak bu durumda aynı fazda olurlar. Kırınım olayında X-ışınlarının aldığı yolların uzunlukları arasındaki farklar şekil 3.14.b' de ayrıntılı bir biçimde görülmektedir. Buna göre, X-ışınlarının aldıkları yolların uzunlukları arasındaki fark;

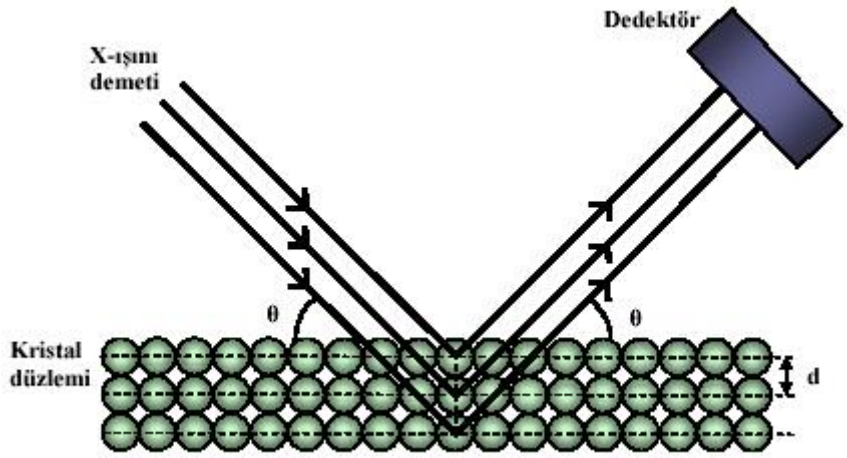
$$MBN = MB + BN \tag{3.7}$$

olarak yazılabilir. AMB ve ANB dik üçgenlerinden;

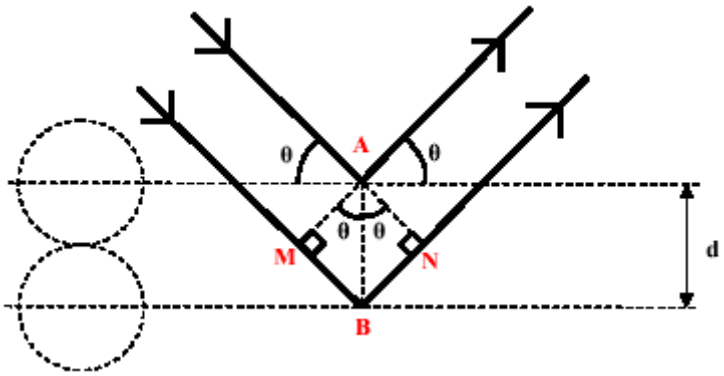
$$\sin\theta = \frac{MB}{d} = \frac{BN}{d} \tag{3.8}$$

$$MB = BN = d\sin\theta \tag{3.9}$$

şeklinde yazılır.



(a)



(b)

Şekil 3.14. (a)Bir kristal düzleminde X-ışını kırınımının meydana gelişi ve (b) kırınım olayında X-ışınlarının aldığı yolların uzunlukları arasındaki farkların ayrıntılı bir şekilde gösterimi (Şişman, 2006).

Burada X-ışınlarının aldığı yolların uzunlukları arasındaki fark,

$$MB + BN = 2d \sin\theta \qquad (3.10)$$

olarak bulunur. Kırınımın gerçekleşmesi için bu yol farkının λ veya λ 'nın tam katlarına eşit olması gerekir. Bu nedenle;

$$2d \sin\theta = n\lambda \qquad (3.11)$$

bağıntısı elde edilir. Burada; Bragg açısı (gelen ışınlarla atom düzlemlerinin yaptığı açı) ve λ (kullanılan X-ışının dalgaboyu) bilinirse, d (atom düzlemleri arasındaki uzaklık) hesaplanabilir. Bragg kanunu olarak bilinen bu bağıntı, X-ışını kırınımı için gerekli koşulu ifade eder (Şişman, 2006).

3. 4. Ohm Yasası ve Elektriksel İletkenlik

Ohm yasası basit tanımlama yapılırsa devre parametreleri olan, I=V/R cinsinden tanımlanır. Akım ve gerilim değişken, direnç ise orantı sabitidir.

Ohm yasası aynı zamanda;

$$\vec{J} = \sigma\vec{E} \qquad (3.12)$$

$\vec{J}$'nin akım yoğunluğu, σ'nın elektriksel iletkenlik ve $\vec{E}$'nin elektrik alan olduğu durumda (3.12) denklemiyle tanımlanabilir. Eğer, A materyalin kesit alanı ve l elektrotlar arası uzaklıksa iki ohm yasası arasındaki ilişki; $\vec{J} = \vec{I} / A$, E = V/I ve $\sigma = (\frac{1}{R})\frac{I}{A}$ şeklinde yazılabilir. Ohm yasası geçerli olması için σ, $\vec{J}$ veya $\vec{E}$ den bağımsız olmalıdır.

Elektriksel akım yoğunluğu ;

$$\vec{J} = nqv_d \tag{3.13}$$

ile verilir. n serbest taşıyıcıların yoğunluğu, q bunların yükü ve V_d' de elektrik alanla oluşturulan sürüklenme hızıdır. Sürüklenme hızı rastgele yönü olan $V = (2kT/m^*)^{1/2}$ termal hızından elde edilir. V_d sürüklenme hızı, elektrik alanla orantılı olduğundan genellikle bunu birim elektrik alandaki hız olan mobilite μ, cinsinden tanımlarız,

$$\left|\vec{V}_d\right| = \mu\vec{E} \tag{3.14}$$

denklemleri birleştirirsek

$$\sigma = nq\mu \tag{3.15}$$

şeklinde elde edilir. Benzer bir ifade hem elektronlar hem de deşikler için yazılırsa en genel şekliyle;

$$\sigma = q\left(n\mu_n + p\mu_p\right) \tag{3.16}$$

elde edilir. n ve p elektron ve deşiklerin yoğunlukları, μ_n ve μ_p de elektron ve deşiklerin mobiliteleridir. (3.16) denklemini düşünürsek, ohm yasasının geçerliği, hem n hem de μ' nün elektrik alanın fonksiyonu olmamasını gerektirir. Bununla beraber uygun koşullarda hem n hem de μ elektrik alanın fonksiyonu haline gelir ve ohm yasası geçerliliğini yitirir.

Artan elektrik alan n' nin değişik birçok mekanizma ile artmasına sebep olur:

a. Elektrottan taşıyıcıların enjeksiyonu termal denge taşıyıcılarını baskın hale getirir ve uzay yük nötralizasyonun olmadığı durumda uzay yük durumlarıyla sınırlandırılan akımın artmasını sağlar.

b. Bazı serbest taşıyıcılar kusurlarda bulunan taşıyıcıları aktarmak için yeterli miktarda elektrik alandan sağlar.

c. Kusurlardaki yerleşik taşıyıcılar veya değerlik bandındaki elektronlar elektrik alanları yardımıyla en yakın banda tünelleme ile alan yayınımı sağlayarak geçerler.

Mobilite aynı zamanda, mobiliteyi kontrol eden saçılma işlemleri taşıyıcı enerjisinin fonksiyonu ise elektrik alanın fonksiyonu haline gelir. Örneğin, yarıiletkende akustik örgü saçılması için saçılma durulma zamanı, artan taşıyıcı enerjisiyle azalır, çünkü artan enerjinin anlamı yüksek hız ve birim zamanda yüksek saçılma olasılığıdır (Köroğlu, 2005).

3.5. Enerji Bantlarının Oluşumu

Kuantum Mekaniği yasalarına göre, elektronlar atoma bağlı olan yapılarında spesifik ve diskre enerjilere sahiptirler. Eğer iki izole atom birbirlerine yaklaştırılırsa her atomik enerji seviyesi ikiye yarılır. Eğer 3 atom birbirine yaklaştırılırsa her enerji düzeyi üçe yarılacaktır. Bir katı cisim ele alındığında birbirine örgü sabiti mesafesinde yakın N sayıda atom bir arada bulunuyor demektir. Dolayısıyla enerji düzeyleri N' ye yarılmış olacaktır. Bu enerji seviyeleri arasındaki fark o kadar küçüktür ki bu enerji grubu sürekli bir enerji bandı olarak düşünülebilir. Başka sözlerle katıdaki her enerji seviyesine prensip olarak bir enerji bandı karşılık gelmektedir.

Atomun yapısında yer alan ve daha iç kabuklarda bulunan elektronlar, çekirdeğe yakın olmaları nedeniyle, atoma daha sıkı bağlıdırlar. Diğer taraftan bu elektronlar üzerine öteki komşu atomların etkileri de ihmal edilebilecek kadar az olur. Bu nedenle iç kabuklardaki bu seviyelerin yarılmaları çok daha küçük boyutlarda olacağından iç kabuk elektronlarının enerji değerleri, pratik olarak atomunkiler ile aynıdır.

Pauli ilkesine göre her enerji düzeyinde, spinleri farklı olmak koşulu ile, en fazla iki elektron yer alabilir. Buna göre bir bant N sayıda enerji düzeyine yarılıyorsa bu bantta en fazla 2N sayıda elektron bulunabilir. Elektronlar, enerji açısından enerji değerleri küçük olan seviyelere öncelikle yerleşirler. Böylece tüm elektronlar enerjilerine göre seviyelere yerleşir. Elektron bulunan en yüksek enerjili seviyeden sonra gelen enerji düzeyi, yerleşecek başka elektron kalmadığı için, boş kalacaktır. Elektronlar, ortamdan ısı enerjisi alarak daha yüksek enerjili düzeylere, eğer yerleşmesi mümkün ise, geçiş yapabilir. Bu nedenle bir katı içinde elektron bulunan en yüksek enerji düzeyi, katı cismin bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak değişir.

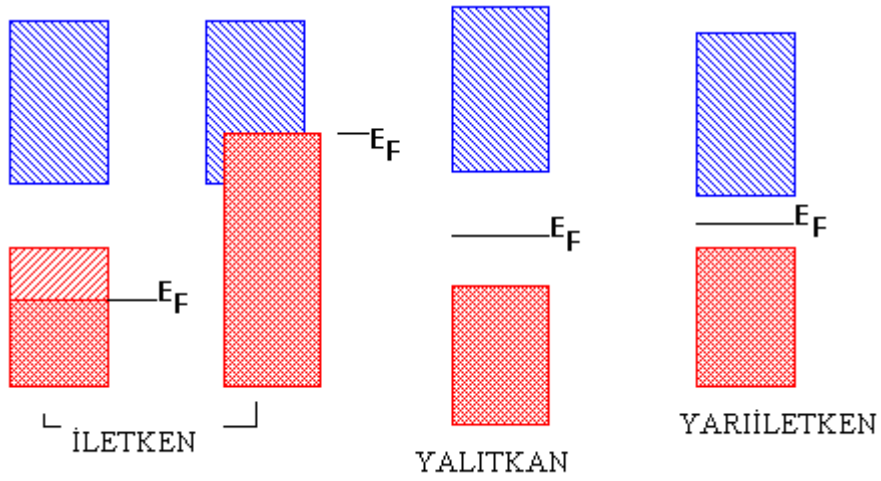
Herhangi bir sıcaklıkta elektron bulunan en yüksek enerji seviyesine valans bandı, bunu izleyen ilk boş enerji düzeyine ise iletkenlik bandı adı verilmiştir. Mutlak sıfır sıcaklığında (0 ^{o}K) elektron bulunan en yüksek enerji düzeyinin adı ise Fermi seviyesidir.

Valans bandında bulunan atoma bağlı bir elektron, herhangi bir dış etkiyle örneğin elektrik alan, optik aydınlatma, X-ışınları ile ışınlama, magnetik alan ısı enerjisi gibi, enerji kazanabiliyor ve daha yüksek enerjili boş seviyelere, başka sözlerle iletkenlik bandına geçiş yapabiliyorsa, bu elektron atomdan bağımsız hale gelir, yani serbest elektron durumuna geçer. Elektronun katı cisim içinde serbestçe dolaşması anlamına gelen bu olgu katı cismin iletken özellik taşıması demektir. Bu nedenle dolu olan en yüksek enerjili banttan sonra gelen daha yüksek enerjili seviyelere iletkenlik seviyeleri denmiştir. Örneğin metallerde en dış yörüngede bulunan valans elektronu atoma zayıf bir şekilde bağlı olup, küçük bir elektrik alan etkisi ile bağlı olduğu atomdan kurtarılabilir ve elektron serbest elektron veya iletkenlik elektronu haline gelir ve katı cisme elektriksel iletkenlik kazandırır. Bu özelliğe sahip maddeler iletkenler olarak bilinir.

Eğer valans elektronu atoma çok güçlü bağlarla bağlı ise, bir dış etki ile bu elektronlar atomdan kopartılamaz ve iletkenlik bandına geçecek elektron yaratılamaz. Dolayısıyla bu maddeler iletkenlik özelliği gösteremezler. Bunlara yalıtkan (izolatör) maddeler denir.

Bazı maddelerde ise, alçak sıcaklıklarda valans bandındaki elektronlar yeterli enerji kazanarak iletkenlik bandına çıkamamalarına rağmen, sıcaklık artınca,

örneğin oda sıcaklığında (300 ^{o}K) bile elektronların kazandığı enerji onların valans bandından iletkenlik bandına çıkmalarına neden olur ve malzeme iletken karakter kazanır. Bu özelliğe sahip malzeme yarı iletkenler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.15. Katı cisimlerin bant teorisine göre elektriksel iletkenliklerinin değerlendirilmesi (Atalay, 1994).

Şekil 3.15' den görüleceği gibi malzemenin elektriksel iletkenliğini belirleyen ana faktör, valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki genişliktir. Elektronların enerji açısından bulunmalarının mümkün olmadığı bu bölgeye yasak enerji aralığı denir. Buna göre iletken malzemede valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki genişlik sıfırdır.Yani iletkenlerde valans bandı ile iletkenlik bandı üst üste binmiştir. Yalıtkanlarda ise yasak enerji aralığı oldukça geniş olup, elektron yeterli enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına geçiş yapamaz. Şekil 3.15' ten görüleceği gibi yarı iletkenlerde yasak enerji aralığı, elektronların oda sıcaklığında bile enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına çıkmalarına izin verecek darlıktadır (Atalay, 1994).

3.6. Katı Cisimlerin Özdirence Göre Sınıflandırılması

Katı cisimler elektrik özelliklerine (özdirencine) göre üç gruba ayrılırlar: metaller (veya iletkenler), yalıtkanlar ve yarıiletkenler. Üstün iletkenler oda

sıcaklığında metal özelliği göstermektedirler ve düşük sıcaklıklarda (1-120 K) üstün iletkenliğe sahiptirler. Katı cisimlerin sınıflandırılması şöyledir:

1. Metaller: $\rho = 10^{-6}$- 10^{-4} ohm.cm,
2. Yarıiletkenler: $\rho = 10^{-4}$- 10^{10} ohm.cm,
3. Yalıtkanlar: $\rho \geq 10^{10}$ ohm.cm.

Özdirenç kriteri açık değildir. Çünkü, bir cisimden diğerine geçtiğimizde özdirenç değerleri üst üste gelmektedir. Metaller ve yarıiletkenler arasındaki fark, onların sıcaklıkla değişiminden daha açık görülmektedir. Kimyasal olarak temiz metallerde özdirenç sıcaklıkla lineer olarak artmaktadır.

$$\rho = \rho_o \alpha T \tag{3.17}$$

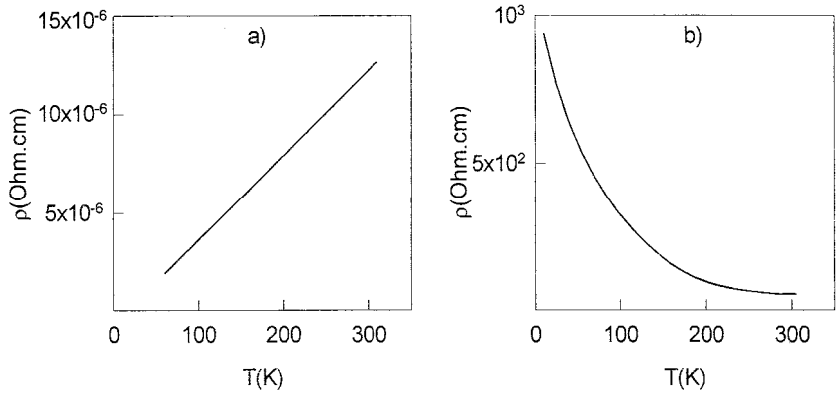
Burada ρ_o metalin 0 ^oC' de özdirenci, α =1/273 direncin termal genleşme katsayısı, T mutlak sıcaklıktır. Şekil 3.16, metalin (Fe) ve yarıiletkenin (Si) özdirencinin sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Metallerde sıcaklık arttıkça özdirenç artar (Şekil 3.l6.a).

Saf (katkısız) yarıiletkenin özdirenci, metalin aksine, sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak küçülür (Şekil 3.16.b).

$$\rho = A \exp\left[\frac{E_g}{kT}\right] \tag{3.18}$$

Burada E_g yarıiletkenin yasak bant genişliğidir, k Boltzmann sabitidir, A bir sabittir.

Metallerin ve yarıiletkenlerin özdirencinin veya iletkenliğinin (σ) şu şekilde verildiği bilinmektedir.



Şekil 3.16. (a) Metalin (Fe) ve (b) yarıiletkenin (Si) özdirencinin sıcaklıkla değişimi (Caferov,1998).

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{ne\mu} \qquad (3.19)$$

Burada n elektronların konsantrasyonu, e elektronun yükü (e = 1,6x10^{-19} C) ve μ elektronların mobilitesidir. Metallerde atomlar tam iyonlaşmış durumdadırlar. Bu nedenle elektronların konsantrasyonu metallerde çok yüksektir (n ≈ 10^{22} cm^{-3}) ve sıcaklığa bağlı değildir. Metallerde sıcaklık artıkça elektronların konsantrasyonu değişmemekte, fakat mobiliteleri bir miktar küçülmektedir. Bunların sonucunda (3.19) eşitliğine uygun olarak metallerin özdirenci sıcaklıkla artmakta veya iletkenliği küçülmektedir. Saf (katkısız) yarıiletkenlerde, metallerin aksine, elektronların konsantrasyonu sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak artmakta ve elektronların mobilitesi az miktarda küçülmektedir. Bu iki işlemin sonucunda, yarıiletkenlerin özdirenci sıcaklık arttıkça (3.19) eşitliğine uygun olarak keskin azalmaktadır.

Metallerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların özdirenç kriterine göre ayırt edilmesi her zaman geçerli değildir. Zira yarıiletkenlerin özdirenci, bazı sıcaklık aralığında metallere benzer veya bazı sıcaklıklarda da (mutlak sıfıra yaklaşıldığında) yalıtkanlar benzer davranış göstermektedirler. Metallerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların farkı daha genel ve daha tam olarak bant teorilerinin açıklanmasıyla belirlenebilir (Caferov, 1998).

3.7. Yarıiletkenler

Elektrik akımını geçiren iki tür iletken olabilir: elektronik geçişli ve iyonik geçişli iletkenler. Metallerde elektrik akımı taşıyıcıları elektronlar olduğu için metaller elektron iletkenlerdir. İyonik iletkenlerde elektrik akımı malzemenin iyonları ile taşınır ve iyonik iletkenin kompozisyonu akımın geçtiği zamanla değişmektedir. Elektrolitler iyon iletkenler grubunda olabilirler. Yarıiletken malzemeler hem elektron hem de iyon iletkenliğine sahip olabilirler. Yarıiletkenlerin çoğunluğu, silisyum Si, germanyum Ge, selenyum Se, telluryum Te ve bileşik yarıiletkenler GaAs, GaP, InSb, InP, CdS, CdSe, CdTe, ZnS, PbS, PbSe, SiC vb. elektron iletkenliğine sahiptirler. Tablo 3.2' de Ge, Si, GaAs ve CdS yarı iletkenlerinin bazı özellikleri verilmektedir.

Isı enerjisi etkisiyle yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının (elektronların ve deşiklerin) konsantrasyonu artmaktadır. Bu yöntemle meydana gelen yük taşıyıcılarına ısısal veya dengeleyici yük taşıyıcıları denir. Bundan başka, serbest yük taşıyıcıları ışık, elektrik alan, basınç, γ-ışınları, hızlı parçacıkların (elektronların, protonların, nötronların, iyonların vb bombardımanı) etkisiyle oluşabilirler. Bu yöntemlerle meydana gelen yük taşıyıcıları denkleştirilmemiş yük taşıyıcıları olarak tanımlanırlar.

Metallerde atomlar tam olarak iyonlaşmış durumdadırlar ve serbest elektronların konsantrasyonu ($n = 10^{22}$ cm^{-3}) atomların konsantrasyonuna eşittir. Bu nedenle metallerin özellikleri dış etkilerle çok az değişmektedir. Katkısız yarıiletkenlerde ise serbest elektronların konsantrasyonu ($n = 10^{13}$ -10^{15} cm^{-3}) ana atomların konsantrasyonundan (10^{22} cm^{-3}) çok azdır. Yarıiletken atomların dış etkilerle (ışık, elektrik alanı, basınç, hızlı parçacıklarla bombardıman vb) iyonlaşması ve serbest elektron konsantrasyonunu keskin değiştirmek mümkündür. Bunun neticesinde yarıiletkenin özellikleri de keskin değişebilmektedir.

Serbest yük taşıyıcılarının oluşma yöntemleri yarıiletkenin kristal yapısına, kompozisyonuna ve katkı atomlarının bulunmasıyla ilişkilidir. Çok az miktardaki (%10^{-3}-10^{-8}) katkı atomları yarıiletkenin iletkenliğini keskin (10^{8} kata kadar) değiştirebilir.

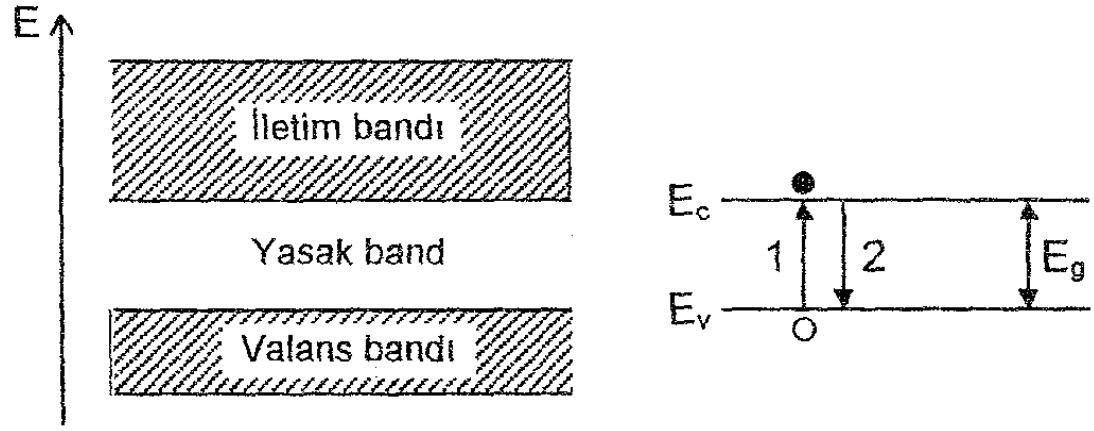
Böylece, yarıiletkenin özdirenci oda sıcaklığında $\rho=10^{-4}$-10^{10} Ωcm (veya iletkenliği $\sigma=10^{-10}$-$10^{4}\ \Omega^{-1}cm^{-1}$) aralığında olabilir. Özdirencin katkılama ile veya dış etkilerle (ısı, ışınlama, elektrik ve manyetik alanlar, basınç, γ-ışınları, hızlı parçacıklarla bombardıman vb) kuvvetli bağımlılığı yarıiletkenin esas niteliğidir.

Çizelge 3.2. Ge, Si, GaAs ve CdS yarıiletkenlerinin bazı özellikleri (Caferov, 1998).

Özellikler	Ge	Si	GaAs	CdS
Ergime noktası (^oC)	936	1420	1238	1475
Örgü parametresi (nm)	0.565	0.543	0.565	0.583
Yoğunluk (g/cm^3)	5.33	2.33	5.32	4.82
Yasak band genişliği, 300K (eV)	0.67	1.1	1.41	2.42
Elektronların mobilitesi, 300 K ($cm^2/V.s$)	3800	1350	6700	400
Deliklerin mobilitesi, 300 K ($cm^2/V.s$)	1800	480	400	15
Saf yük taşıyıcılarının konsantrasyonu 300 K (cm^{-3})	$2.4x10^{13}$	$1.5x10^{10}$	$1.5x10^{6}$	-
Dielektrik katsayısı	16	12	10.9	9
Kırınım indisi	4	3.9	3.4	2.5

Kuantum teorisine göre, izole edilmiş atomda elektronların enerjisi kesikli olarak değişebilir. Pauli ilkesine göre, atomun her enerji düzeyine en çok iki ters yönlenmiş spinlere sahip elektronlar yerleşebilir. Yarıiletken malzeme oluştuğunda, yani atomlar birbirine çok yaklaştığında (yaklaşık 10^{-8} cm), komşu atomların kuvvetli elektrik alanı etkisiyle valans elektronlarının enerji düzeyi banda ayrılır. Valans elektronlarından oluşmuş enerji bandına valans bandı denir (Şekil 3.17.a). Atomlardaki valans elektronlarının uyarılma düzeylerinden oluşan bant serbest veya iletim bandı olarak adlandırılır. İletim ve valans bantlarının arasında yasak bant bulunmaktadır. Saf yarıiletkenin enerji bant diyagramı Şekil 3.17.b'de gösterilmektedir. Burada E_c, iletim bandındaki elektronların en küçük enerjisidir. Bu

enerji düzeyine iletim bandının dibi denir. E_v, valans bandındaki elektronların en büyük enerjisidir ve bu enerji düzeyi valans bandının tavanı olarak adlandırılır. İletim bandının dip ve valans bandının tavan enerjilerinin farkı $E_c - E_v = E_g$ yarıiletkenin yasak enerji bant genişliğini karakterize eder. Kusursuz ve katkısız yarıiletkenlerde elektronların enerjisi yasak bant enerjileri içinde olamaz. Yasak bant genişliği yarıiletkenlerin kimyasal bağ türü ve atomların türü ile belirlenir. Farklı yarıiletkenlerin yasak bant genişliği 0.1 eV' dan 5 eV' a kadar değişebilir.



Şekil 3.17. (a) Saf yarıiletkenin enerji bantlarının ve (b) enerji bant diyagramının şematik gösterimi (Caferov, 1998).

Yarıiletkenlerin yasak bant genişliği sıcaklık arttıkça değişir. Bu olayın nedenleri kristaldeki atomların ısısal titreşim genliğinin ve atomlar arası uzaklığın sıcaklıkla değişmesine bağlıdır. Yarıiletkenlerin çoğunda sıcaklık arttıkça yasak bant genişliği küçülmektedir.

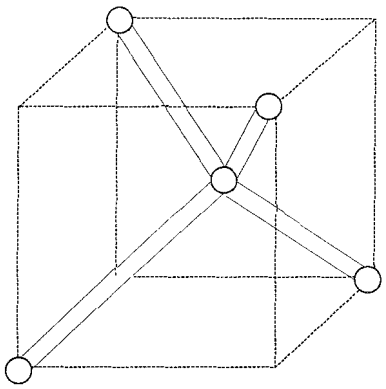
Isı enerjisinin etkisiyle kristaldeki atomlar arası bağlar kopabilir ve bu bağın elektronu serbest kalabilir. Atomlar arası bağdan kopan elektronun yerinde boşluk meydana gelir ve bu boşluğa deşik denir. Bu olay elektron-deşik çiftlerinin oluşması (veya jenerasyonu) olarak tanımlanır. Bu olayın sonucunda iletim bandında serbest elektron ve valans bandında serbest deşik meydana gelir. Aynı zamanda yarıiletkende bu olayın ters olayını da gözlemek mümkündür. Bu olaya elektron-deşik çiftlerinin birleşmesi (veya rekombinasyonu) denir. Şekil 3.17' de bu iki olay,

elektron-deşik çiftlerinin oluşması ve birleşmesi, şematik olarak 1 ve 2 geçişleriyle gösterilmektedir. Termodinamik denge durumunda yük taşıyıcılarının (elektronların ve deşiklerin) oluşma ve birleşme olayları karşılıklı denkleştirilmiştir. Bu durumda yarıiletkende, dengeleyici elektronlar (n_o konsantrasyonlu) ve deşikler (p_o konsantrasyonlu) gözlenmektedir. Isısal olmayan etkiyle de (ışık, elektrik alanı, basınç, hızlı iyonlar, protonlar ve elektronlarla bombardıman vb.) yarıiletkende yeni yük taşıyıcıları meydana getirilebilir. Bu durumda elektronların (n) ve deşiklerin (p) dengeleyici olmayan konsantrasyonu, dengeleyici konsantrasyonlarından (n_o ve p_o) daha artık dır. Yani $\Delta n = n - n_o$ ve $\Delta n = p - p_o$ dır.

3.7.1. Saf Yarıiletkenler

Saf (yani katkısız ve kusursuz) silisyum yarıiletken örneğinde saf yük taşıyıcılarının üretimini göz önüne alalım. Silisyum atomu periyodik cetvelin dördüncü grubunda bulunmaktadır ve atom kabuklarında elektronların dağılımı şöyledir: $_{14}Si$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$). Silisyum atomunun dış (veya valans) kabuğunda dört elektron ($3s^2\ 3p^2$) yerleşmektedir. Silisyum kristali oluştuğunda, her silisyum atomunun dört valans elektronları ($3s^2\ 3p^2$) durumundan (sp^3) durumuna geçmektedirler. Silisyum örgüsünde her atom tetraedrin merkezinde yerleşmektedir ve etrafında dört komşu atom bulunmaktadır. Yarıiletken silisyumun yapısı elmas (C) kristalin yapısına benzemektedir. Elmas yapıya benzer tipteki kristal örgüsü kübik yapıya sahiptir ve bu yapıda her silisyum atomunun dört valans elektronu komşu atomlarla kovalent bağla birleşirler (şekil 3.18.). Silisyumun her kovalent bağında iki elektron bulunmaktadır (şekil 3.18'de kovalent bağlar çift çizgilerle işaretlenmektedir).

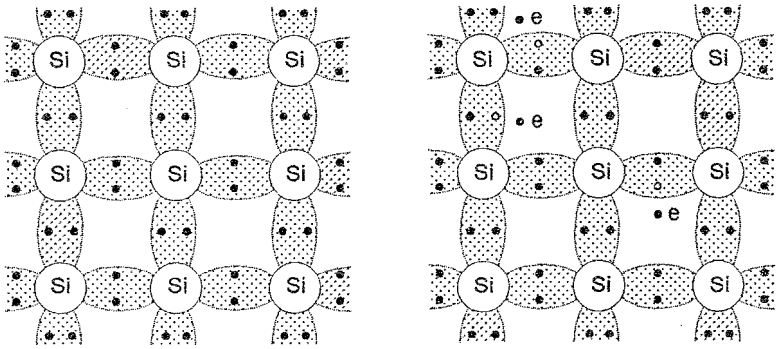
Silisyum örgüsündeki kovalent bağların iki-boyutta gösterimi şekil 3.19'da verilmektedir. Burada örgü düğümlerinde +4 yüklü silisyum iyonları yerleşmektedir. Her silisyum iyonu dört valans elektronuna sahiptir. Kovalent bağı oluşturan valans elektronları (her bağda iki elektron) şekil 3.19' da koyu noktalarla gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Elmas tipli kristal örgü (Caferov, 1998).

Mutlak sıfırda kovalent bağlarda hiç bir elektron eksikliği söz konusu değildir (şekil 3.19.a). Isısal enerjinin etkisiyle bazı kovalent bağlarda kopma meydana gelebilir. Bunun sonucunda kopan elektron serbest kalır ve elektronunun boş yerinde deşik oluşur (şekil 3.19.b). Böylece ısının etkisiyle silisyumda elektron ve deşik çifti oluşur. Saf yarıiletkenler, valans bağların kopması nedeniyle, eşit sayılı serbest elektronlar ve deşikler oluşması ile tanımlanır. Saf yarıiletkende yasak band genişliği (E_g) ana atomlar arası bağların kopma enerjisinin veya elektron-deşik çiftlerin aktivasyon enerjisini karakterize eder. Dış elektrik alan saf yarıiletkene uygulandığında, elektrik akımı elektron ve deşik yönlenmiş hareketinden meydana gelir.

Saf yarıiletkende iletkenliğe katkı atomlarının etkisini ihmal edebiliriz. Mutlak sıfırda saf yarıiletkende serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır, yani valans bandı elektronlarla tam olarak doldurulmuştur (deşikler yok) ve iletim bandında serbest elektronlar bulunmamaktadır. Sıcaklık arttıkça kırılmış valans bağların sayısı artar ve bu nedenle serbest elektronların ve deşiklerin konsantrasyonu artar. Saf yarıiletkenin bant diyagramında serbest elektron ve deşiklerin sayısının ısısal yöntemle oluşturulması, elektronların valans bandından iletim bandına geçişlerle ve deşiklerin valans bandında oluşması ile şematik olarak gösterilebilir (şekil 3.17.b).

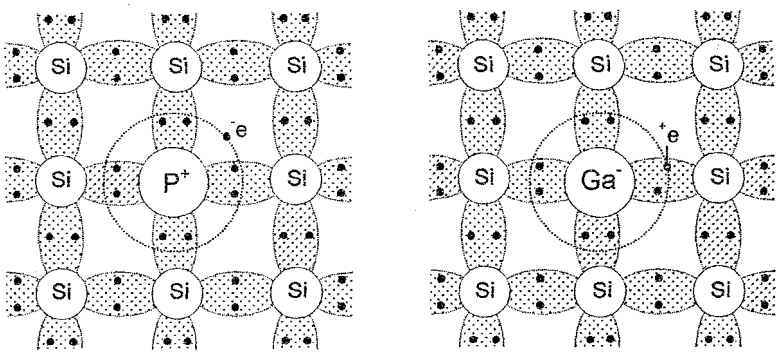


Şekil 3.19. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağların gösterimi:
a) T = 0, b) T > 0 (Caferov, 1998).

3.7.2. Katkılı Yarıiletkenler

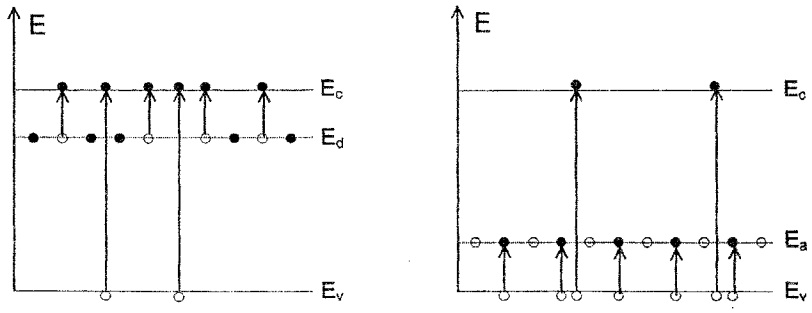
Yarıiletkenlerin çoğunluğunda oda sıcaklığında iletkenlik katkı atomlarının etkisiyle değişir. İletkenliği katkılarla belirlenen yarıiletkenlere katkılı yarıiletken denir. Yüksek sıcaklıklarda katkıyla belirlenen iletkenlik saf iletkenliğe geçebilir.

Silisyum yarıiletkeninde katkılı iletkenliğin meydana gelme mekanizmasını göz önüne alalım. Silisyum örgüsünün bir düğümüne beşinci grup atomu olan fosforun P yerleştiğini kabul edelim. Elektronların fosfor atomunun kabuklarında dağılımı $_{15}P$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$) şeklindedir ve dış (valans) kabuğunda beş elektron ($3s^2\ 3p^3$) durumunda yerleşmektedir. Fosfor atomu silisyum örgüsünün bir düğümünü işgal ettiğinde, fosforun dört valans elektronu komşu dört silisyum atomlarıyla kovalent bağlar oluşturmaktadır (şekil 3.20.a). Fosforun beşinci elektronunun kovalent bağ kurmaya imkanı yoktur. Çünkü komşu silisyum atomlarının tüm elektronları bağlara yerleşmektedir. Bu nedenle beşinci elektron fosfora zayıf bağlıdır, zira bu elektron komşu pozitif yüklü silisyum iyonlarının etkisi altındadır. Düşük sıcaklıklarda beşinci elektron fosfor atomunun etrafında bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise bu elektron fosforun etkisinden ayrılabilir ve sonra kristalde serbest hareket edebilir.



(a) (b)

Şekil 3.20. Silisyumdaki (a) donor ve (b) akseptor tipli katkı atomunun şematik görünümü (Caferov, 1998).



(a) (b)

Şekil 3.21. (a) Donor ve (b) akseptor tipli yarıiletkenlerin bant diyagramları (Caferov, 1998).

Fosforun iyonlaşma süreci nedeniyle, fosfor atomu pozitif yüklü iyona çevrilir. Yarıiletkende elektron veren katkı atomuna verici veya donor denir. İletkenliği donor katkısıyla karakterize olunan yarıiletkene elektron veya n-tipi yarıiletken denir. n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlar ve azınlık yük taşıyıcıları deşiklerdir.

Donor tipli katkı, yarıiletkenin yasak bandının içinde izin verilmiş enerji düzeyinin oluşmasına yol açar (şekil 3.21.a). Bu enerji düzeyi iletim bandının dibinden biraz aşağıda yerleşmektedir. Zira donor tipli fosfor atomunun iyonlaşma enerjisi (ΔE_d) yarıiletkenin ana silisyum atomları arası kovalent bağların kopma enerjisinden (E_g) çok küçüktür.

Şimdi periyodik cetvelin üçüncü grubunda bulunan galyum (Ga) atomunun silisyumdaki değişikliklerini göz önüne alalım. Galyum atom kabuklarında

elektronların dağılımı $_{31}Ga$ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^1$) şeklindedir ve valans kabuğunda üç elektron ($4s^24p^1$) durumlarında yerleşmektedir. Dört değerlikli silisyum yarıiletkene üç değerlikli galyum atomu girdiğinde, komşu silisyum atomlarının birinin bağı dolmamaktadır (şekil 3.21.b). Galyum atomunun dolmamış bağına komşu silisyum atomundan bir elektron geçebilir. Bunun sonucunda, negatif yüklü galyum iyonu oluşur ve silisyum bağlarıyla hareket eden serbest deşik meydana gelir.

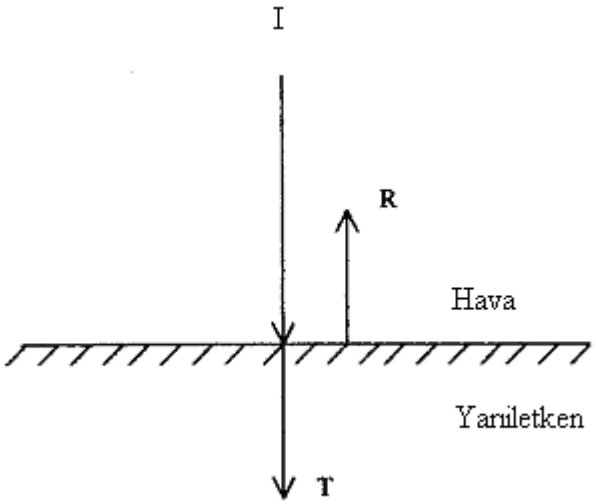
Yarıiletkenlerde elektronları alan katkı atomlarına alıcı veya akseptör denir ve iletkenliği akseptör tipli katkıyla belirlenen yarıiletken, deşik veya p-tipi yarıiletken olarak tanımlanır. p-tipi yarıiletkende çoğunluk yük taşıyıcıları deşiklerdir ve azınlık yük taşıyıcıları elektronlardır. Akseptor tipli katkı, yarıiletkenin yasak bandının içinde (valans bandının tavanının üstünde) enerji düzeyi (E_a) oluşturur (şekil 3.21.b). Akseptor atomlarının iyonlaşma süreci şekil 3.21.b'de küçük oklarla gösterilmektedir. İyonlaşma soncunda valans bandında serbest deşikler oluşur (Caferov, 1998).

Çizelge 3.3. Elektronikte yararlanılan yarıiletkenler ve kullanılma yerleri.

Adı	Kullanılma yeri
Germanyum (Ge) (Basit eleman)	Diyot, transistör, entegre, devre
Silikon (Si) (Basit eleman)	Diyot, transistör, entegre, devre
Selenyum (Se) (Basit eleman)	Diyot
Bakır oksit (kuproksit) (CuO) (Bileşik eleman)	Diyot
Galliyum Arsenid (GaAs) (Bileşik eleman)	Tünel diyot, laser, fotodiyot, led
Indiyum Fosfor (InP) (Bileşik eleman)	Diyot, transistör
Kurşun Sülfür (PbS) (Bileşik eleman)	Güneş pili (Fotosel)

3.8. Işığın Yarıiletkenlerle Etkileşmesi

Bir yarıiletken üzerine gelen tek renkli bir ışınım şekil 3.22' deki gibi güneş ışınları yatay duran bir yarıiletken üzerine normal olarak gelsin. Gelen ışınımların R kadarı geriye yansır, geri kalanı (T) ise yarıiletken içine girer. Yarıiletken içine giren ışınım, eğer ışınım enerjisi $h\upsilon > E_g$ ise, elektron-deşik çiftleri oluşturarak yarıiletken tarafından soğurulur. Eğer $h\upsilon < E_g$ ise ışınım enerjisini yarıiletken atomlarına aktararak yarıiletkenin ısınmasına neden olarak yok olur.



Şekil 3.22. Bir yarıiletken üzerine gelen tek renkli bir ışınım (Gümüş, 1998).

Bu soğurucu malzemenin kırılma indisi n_c = n-ik olarak verilir. k' ya sönüm katsayısı denilmektedir ve buradan (3.20) eşitliği sonucuna varılır.

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \tag{3.20}$$

Yarıiletken içine giren ışınımın şiddeti soğurulmalar nedeniyle azalır. Belli bir dalga boyunda ışığın soğurulması, ışığın şiddeti (foton akısı=birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı) ile orantılıdır ve yarı iletkende foton akısının (Φ) azalışı

$$\Phi(x) = \Phi(x_0)e^{-\alpha(x-x_o)} \tag{3.21}$$

ile verilir. Dalga boyuna bağlı olan α'ya soğurma katsayısı denilmektedir. α, foton akısının ne kadar malzeme içine gireceği ile ilgili bir parametre olduğundan güneş pili tasarımında α ile k birbiri ile ilişkilidir. Işınımla ilgili elektrik alanı bir düzlem dalga olarak

$$E = E_0 e^{i2\pi\nu\left(t-\frac{x}{V}\right)} \tag{3.22}$$

ile gösterilsin. Dalganın yayılma hızı v ile ışık hızı c ve kırılma indisi n_c arasında

$$V = \frac{c}{n_c} \qquad \text{veya} \qquad \frac{1}{v} = \frac{n}{c} - \frac{ik}{c} \tag{3.23}$$

olduğu hatırlanarak (3.22) eşitliği

$$E = E_0 e^{i2\pi\nu t} e^{i2\pi x n\nu/c} e^{-2\pi\nu k x/c} \tag{3.24}$$

olur. (3.24) eşitliğindeki son terim sönüm çarpanıdır. Işınımın gücü, elektrik alanın karesiyle azaldığından (3.24) eşitliğinin karesi alınarak

$$E^2 = {E_0}^2 e^{-\frac{4\pi\nu k}{c}x} \tag{3.25}$$

bulunur. (3.25)ve (3.21) eşitlikleri karşılaştırılarak

$$\alpha = \frac{4\pi\nu k}{k} \tag{3.26}$$

elde edilir. ν ışınım frekansıdır (Gümüş,1998).

3.9. Işığın Soğurulması

3.9.1. Doğrudan Bant Aralıklı Yarıiletkenler

Doğrudan bant aralıklı bir yarıiletkenin şematik enerji-momentum ilişkisi (bant yapısı) şekil 3.23' de gösterilmiştir. Elektron değerlik bandından iletim bandına geçişinde (hν enerjili fotonun soğurulmasıyla)

$$E_f - E_i = h\nu \tag{3.27}$$

eşitliği sağlanır(Enerjinin korunumu). Elektronun bu geçişinde momentum veya dalga vektörü de korunur. Elektron ve deşiğin bantlardaki enerjileri sırasıyla

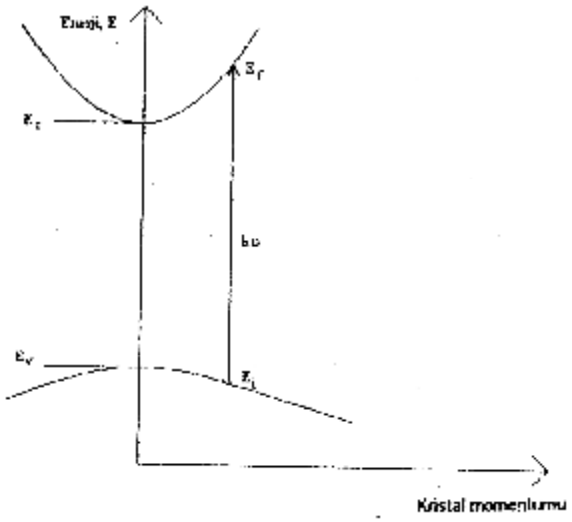
$$E_f - E_c = \frac{p^2}{2m_e} \tag{3.28}$$

$$E_\nu - E_i = \frac{p^2}{2m_h} \tag{3.29}$$

dir. Dolayısıyla doğrudan soğurma

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2}\left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h}\right) \tag{3.30}$$

eşitliği ile verilen kristal momentumunun özel bir değerinde olmaktadır. Bu eşitlik (3.28), (3.29), (3.30) eşitliklerinin taraf tarafa toplanmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 3.23. Doğrudan bant aralıklı bir yarıiletkende bir fotonun soğurulması (Gümüş,1998).

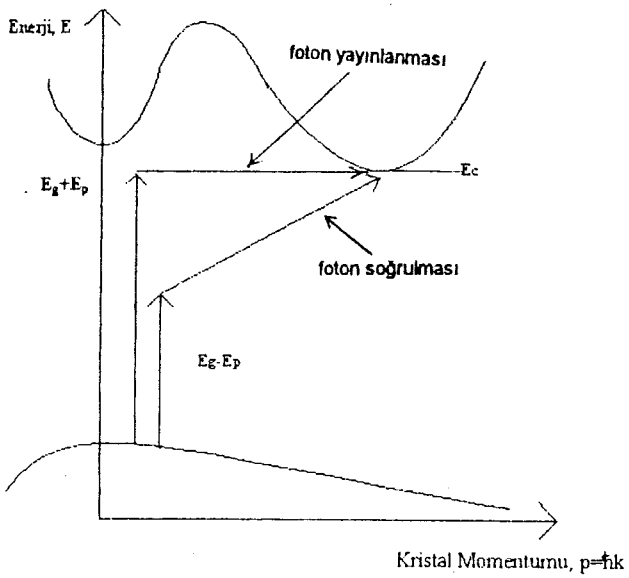
Bir fotonun soğurulması hem fotonun enerjisine hem de elektronların bantlardaki yoğunluğuna bağlıdır. Doğrudan bant aralıklı bir yarıiletken için soğurulma katsayısı teorik olarak

$$\alpha(h\nu) \cong A^{*}(h\nu - E_g)^{1/2} \tag{3.31}$$

eşitliği ile verilmektedir. (3.31) eşitliğindeki $\alpha(cm^{-1})$ olarak alındığında, $A^{*}= 2.10^{4}$ $cm^{-1}(eV)^{-1/2}$ olan bir sabit olup hν ve E_g , eV olarak alınır (Gümüş,1998).

3.9.2. Dolaylı Bant Aralıklı Yarıiletkenler

Bu yarıiletkenlerde değerlik bandı kenarı ile iletim bandı kenarı aynı kristal momentumunda veya dalga vektöründe olmaz.



Şekil 3.24. Dolaylı bant aralıklı bir yarıiletkende fonon yayınlama veya soğurma yoluyla fotonun soğurulması (Gümüş,1998).

Minimum enerjili bir fotonla bir elektronu değerlik bandından iletim bandına geçirmek için fonon (titreşim kuantumu) denilen bir parçacığa gerek olur (lineer momentumun korunumu için). Dolaylı soğurma için enerjinin ve dalga vektörünün korunumu

$$h\nu = E_g - E_p \quad \text{(fonon soğurulmasında)} \tag{3.32}$$

$$h\nu = E_g + E_p \quad \text{(fonon salınımında)} \tag{3.33}$$

$$\vec{k} = \vec{k}_c + \vec{k}_p \cong 0 \tag{3.34}$$

olur. E_p , $\vec{k}_p$ fononun enerjisi ve dalga vektörü , $\vec{k}$ fotonun dalga vektörü , $\vec{k}_c$ ise iletim bandı kenarına karşılık gelen dalga vektörüdür. Dolaylı bant aralıklı bir yarıiletkende fonon yayınlama veya soğurma yoluyla fotonun soğurulması şekil 3.24' te verilmiştir.

Dolaylı soğurmada fazlalık bir parçacık gerektiğinde bu soğurma olasılığı doğrudan soğurmaya göre küçüktür (Gümüş,1998).

3.10. Soğurma Katsayısının Hesaplanması

Tek renkli ışık demetinin soğurucu özelliğe sahip örnek üzerine düşürüldüğünü düşünelim ve gelen ışığın bir kısmının ilk yüzeyden ve diğer bir kısmında ışığın örnekten ayrıldığı yüzeyden yansıdığı gerçeğini ihmal edelim. Böylece gelen ışığın şiddeti I_o ve ortamdan geçen ışığın şiddeti I_T olmak üzere iki değere sahip oluruz. Örneğin çok ince olduğunu düşünürsek ışık Δx'e bağlıdır.

$$-\Delta I = I_T - I_o = I_o \alpha \Delta x \tag{3.35}$$

eşitliği geçerli olur. Burada α soğurma katsayısıdır. Soğurucu ortamın ve ışığın dalga boyunun karakteristiğini gösterir. Işığın şimdi iki ya da daha fazla ince Δx kalınlığındaki tabanlardan geçtiğini düşünelim. Soğurma katsayısı, verilen materyalin karakteristiğini gösterecek ve gelen ışın şiddetinden bağımsız olacaktır. Böylece Δx, kalınlığındaki plakanın arkasına yerleştirilen ikinci plaka ile ilk plakadan geçen ışığın şiddeti biraz daha azalacaktır. Fakat buraya gelen ışık şiddeti birinciye gelenden az olduğundan daha az kayıp olacaktır. Mutlak kayıp az olsa da her iki tabakadan olan ışık kaybı oranı eşit olacaktır.

$$\Delta I = - I_o \alpha \Delta x \tag{3.36}$$

$$\alpha = - (\Delta I / I_o \Delta x) \tag{3.37}$$

elde edilecektir. Burada α soğurucu materyalin her birim kalınlıktan kaynaklanan azalma oranını veya soğuruculuğunu göstermektedir. Katmanları dx gibi çok küçük kalınlıklara indirgersek, ışık her katmanı geçerken soğrulan ilk ışık şiddeti oranının kesri olan $(dI/I_o) = - \alpha\, dx$ şekline gelecektir.

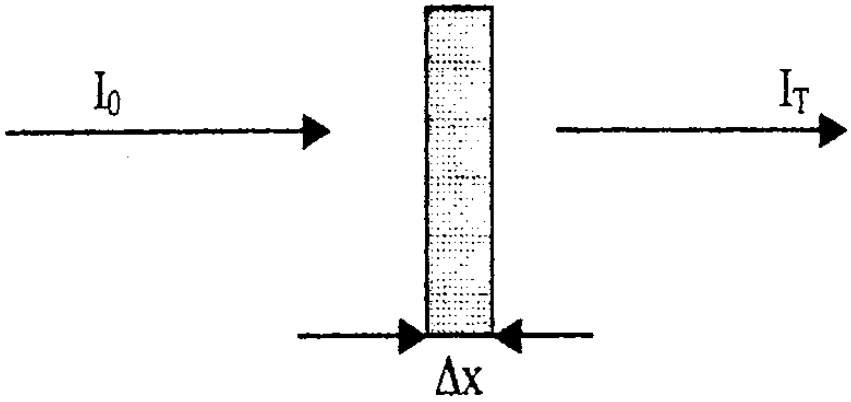
Toplam x kalınlıktan geçen ışık şiddetindeki azalmayı bulmak için bu ifade, x = 0 'da I_o ve x = x de I_T olmak üzere integre edilirse;

$$\int_{I_0}^{I_T} \frac{dI}{I} = -\alpha \int_0^x dx \tag{3.38}$$

$$In\left(\frac{I_T}{I_0}\right) = -\alpha x \tag{3.39}$$

$$I_T = I_o\, e^{-\alpha x} \tag{3.40}$$

Elde edilen bu üstel soğurma yasasıdır ve Lambert tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 3.25. İnce bir tabakadaki soğurma (Mayer, 1972).

Buradan gördüğümüz gibi soğurma için Beer Lambert yasası;

$$\alpha = \frac{1}{I(\lambda)} \cdot \frac{dI(\lambda)}{dx} \tag{3.41}$$

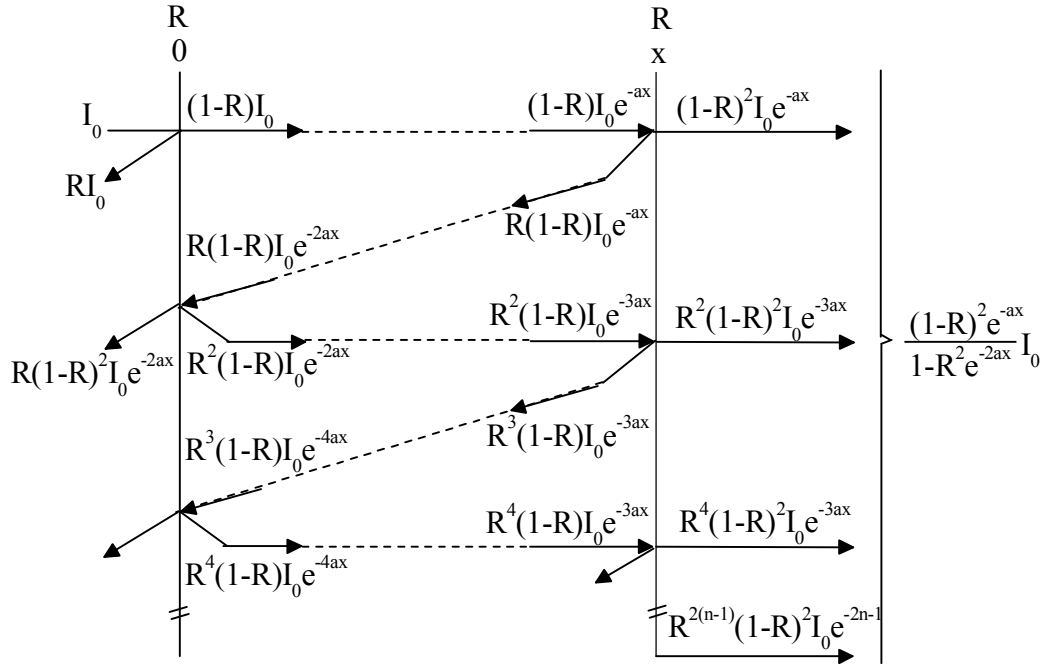
şeklinde yazılabilir. Burada I(λ) ışık şiddetini, x ortam içindeki gidilen yolu ve α soğurma katsayısını göstermektedir. Yansıma R;

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k^2}{(n_2 + n_1)^2 + k^2} \tag{3.42}$$

şeklinde verilir. n ve k kırılma indisinin gerçek ve sanal kısımlarıdır. Görünür bölgede k ve n çok küçük olduğundan

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \tag{3.43}$$

şekline gelir. Toplam geçirgenliği bulmak için şekilde gösterildiği gibi iki bölge alabiliriz.



Şekil 3.26. İnce bir filmde çok yansımalı ışık geçirimi (Pankove, 1975).

Girişim ihmal edildiği zaman d kalınlığındaki bir ince filme I_o şiddetinde tek renkli ışık düşürülürse film içine giren ışık miktarı I ;

$$I = (1-R)\, I_o \tag{3.44}$$

şeklinde yazılabilir. Filmden geçen ışık miktarı;

$$I = I_o\,(1-R)\, e^{-\alpha d} \tag{3.45}$$

Bu şekilde iç yansımalar devam ettirilirse yansıyan ışık miktarının her yansımada bir;

$$I = R^{2n}(1-R)^2\, I_o\, e^{-(2n+1)\,\alpha d} \tag{3.46}$$

terimi kadar artığı görülür. Bu artış göz önüne alınırsa filmin toplam ışık geçirgenliğini;

$$I = (1\text{-}R)^2 I_o e^{-\alpha d} (\Sigma R^{2n} e^{-2n\alpha d}) \quad (3.47)$$

olduğu görülür. Toplam geçirgenlik örnek tarafından yansıtılan ışık şiddetinin örnek üzerine gelen ışık şiddetine oranı şeklinde tanımlanır.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.48)$$

Ve bu iç yansımalar şeklinde gösterildiği gibi devam ettirilirse toplam geçirgenlik;

$$T = \frac{(1-R)^2 I_0 e^{-\alpha d}}{1-R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (3.49)$$

Optik yoğunluk;

$$O.Y = \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3.50)$$

şeklinde tanımlanır. Bunu geçirgenlik cinsinden yazarsak;

$$T = 10^{-(O.Y)} \quad (3.51)$$

elde edilir. (3.49) denklemini kullanırsak;

$$IR^2 e^{-2\alpha d} + (1\text{-}R)^2 e^{-\alpha d} - T = 0 \quad (3.52)$$

şeklinde bir denklem elde edilir. Burada $y = e^{-\alpha d}$ ve $e^{-2\alpha d} = y^2$ yaklaşımını kullanarak;

$$TR^2 y^2 + (1\text{-}R)^2 y - T = 0 \quad (3.53)$$

$$y = \frac{-(1-R)^2 + \sqrt{(1-R)^4 + 4R^2T^2}}{2TR^2} \quad (3.54)$$

$$\alpha = -\frac{1}{d} In\left[-\frac{(1-R)^2 + \sqrt{(1-R)^2 + 4R^2T^2}}{2TR^2} \right] \tag{3.55}$$

elde edilir. Böylece optik yoğunluk yardımıyla geçirgenlik belirlenebilir ve yukarıda son bulduğumuz (3.55) denklemi sayesinde soğurma katsayısı hesaplanıp, optik karakterizasyonunda kullanılabilir (Esen, 1986).

3.11. Yarıiletken İnce Filmler

Alt tabaka olarak katı bir malzeme üzerine malzemenin temel özelliklerinin ölçülmesinde hem doğrudan bir fiziksel işlemle hem de bir kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla ince film seklinde katı bir malzeme oluşturulur. Yalnız başına atomik, moleküler ya da iyonik durumlar hem buharlaştırma hem de sıvı formunda oluşturulabilir. İnce film depolama yöntemleri iki ana kategoriye ayrılabilir:

1. Gaz halde katkılama
2. Sıvı/çözelti halde katkılama

Burada üzerinde durulması gereken, filmin önemli bir özelliği ve filmin özelliklerini sınırlayan parametre olan, küçük film kalınlığının ölçülmesinin basit olmadığıdır. Bir alt tabaka üzerine doğrudan dağıtılarak yada yapıştırılarak oluşturulan filmler kalınlıklarından dolayı kalın filmler olarak adlandırılır ve bunların özellikleri önemli ölçüde ince filmlerden farklıdır.

İnce filmler küçük kalınlıkları, geniş yüzeye karşı hacim oranı ve büyütme yöntemlerinin direk sonucu olarak iyi bir fiziksel yapı oluştururlar. İnce filmler oluşurken bunu oluşturan maddenin toz halindeki özellikleri ile ince film oluştuktan sonraki özellikleri arasında sapmalar baslar. Değişik ortam koşullarında; ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde durulmaya başlanmıştır. İnce filmlerin büyük yüzeye sahip olmalarına karşın hacim oranı onları küçük kalınlık ve mikroyapıların oluşturulmasına sebep olduğundan, bu filmler gaz soğurması, difüzyon olaylarına maruz bırakılabilir (Akaltun, 2006).

3.11.1 İnce film büyütme işlemi

Herhangi bir ince film katkılama işlemi üç ana basamak içerir:

1. Uygun atomik, moleküler yada iyonik türlerin üretimi,

2. Bunların alt tabakaya geçişini sağlayacak bir ortam,

3. Alt tabaka üzerine yoğunlaştırma hem doğrudan hem de kimyasal, elektrokimyasal reaksiyonlarla bir katı katkılaması yapılır.

İnce filmin oluşumu çekirdek ile ve büyütme yöntemlerinin yer almasıyla olur. Genel olarak basamak basamak çeşitli deneylerle ve teorik çalışmalarla büyütme işlemlerinin ortaya çıkması aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Alt tabaka ile etkileşecek olan bir çeşit madde hız bileşenlerini alt tabakada normale düşürürler (çarpışma enerjisinin çok yüksek olmaması sağlanır) ve bu maddeler fiziksel olarak alt tabaka yüzeyinde soğurulurlar.

2. Soğurulmuş malzemeler başlangıçta alt tabaka ile ısısal dengede değildirler ve alt tabakanın yüzeyine doğru hareket ederler. Bu işlem sırasında birçoğu birbirleriyle etkileşime girer. Böylece düzenlenim daha büyük kümeleri oluşturur.

3. Kümeler yada çekirdek olarak isimlendirilen düzenlenim termodinamik olarak kararlı değildir ve katkılama parametrelerine bağlı olarak bir zaman sonra yüzeyden ayrılma eğilimindedir. Şayet katkılama parametrelerine bağlı olarak böyle bir küme ile yüzeyden ayrılmaya başlamamış soğurulmuş türler çarpışma yapıyorsa, kümenin büyüklüğü artmaya baslar. Belli bir kritik büyüklüğe ulaştıktan sonra küme termodinamik olarak kararlı olmaya baslar ve çekirdek sınırlarına ulaşıldığı söylenir. Kararlı, kimyasal olarak soğurulmuş, kritik-büyüklüklü çekirdek oluşumunu içeren bu basamak çekirdek evresi olarak adlandırılır.

4. Kritik çekirdek, bir çekirdek doyurma yoğunluğuna ulaşıncaya kadar sayısı kadar büyüklüğü bakımından da büyür. Çekirdek yoğunluğu ve ortalama çekirdek büyüklüğü; türlere etki eden enerji, etkinin oranı, soğurma aktivasyon enerjisi, ayrılma, ısısal difüzyon, sıcaklık ve alt yapının kimyasal doğası gibi parametrelere bağlıdır. Bir çekirdek hem alt tabaka yüzeyine paralel olarak soğurulmuş türlerin difüzyonuyla büyütüldüğü gibi alt tabakaya dik olarak direk çarpışan türlerin etkileşmesi ile de büyür. Buna rağmen, genellikle bu evredeki yanal (paralel)

büyüme oranı dik olarak büyümeden daha yüksektir. Bu büyütülmüş çekirdekler adalar olarak adlandırılır.

5. Film oluşumu için bundan sonraki evre birleşme evresidir. Bu evre, küçük adaların birbirleriyle yüzey alanını küçültmek üzere birleşmeye çalıştıkları evredir. Büyük adaları oluşturma eğilimi "topluluk" olarak adlandırılır ve topluluk soğurulmuş türlerin yüzeydeki mobilitesini iyileştirir. Örnek olarak alt tabaka sıcaklığını artırarak bu iyileştirme sağlanabilir. Bazı durumlarda yeni çekirdeğin oluşumu bir birleşme sonucu temiz bir alanda meydana gelebilir.

6. Daha büyük adalar kaplanmamış alt tabakaların delikleriyle ve kanalların ayrılmasıyla birlikte büyür. Bu evredeki filmlerin yapısı tümüyle sürekli film deliklerinin ve kanalların doldurulması şartıyla sürekli olmayan ada tiplerinden gözenekli ağ tiplerine kadar değişir. Büyütme işlemi çekirdeğin bir istatiksel üretimine dayandırılarak yüzey difüzyonunun üç boyutta taneciklerin büyütülmesinin kontrol edilmesi, bir ağ yapısının oluşturulması ve sürekli bir film vermesi için bunun en sonunda doldurulması olarak özetlenebilir.

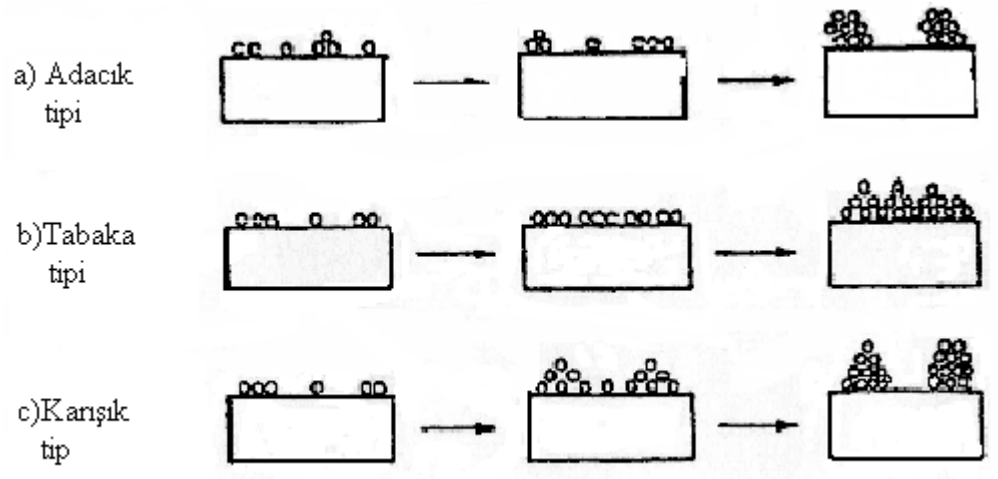
Katkılanmanın ve alt tabakanın yüzeyinin termodinamik parametrelerine, başlangıçtaki çekirdeğe ve büyütme evrelerine bağlı olarak

a. adacık (island) tipi

b. tabaka (layer) tipi

c. karışık (Stranski-Krastanov) tip

üç grupta toplanabilir. Bu evreler şekil 3.27' de gösterilmiştir. Hemen hemen bütün pratik durumlarda, büyütme ada oluşumunu meydana getirerek oluşur.



Şekil 3.27. Temel büyütme işlemleri (a) adacık (island) tipi , (b) tabaka (layer) tipi ve (c) karışık (Stranski –Krastanov) tip (Akaltun, 2006).

Özel durumların dışında kristolografik düzenlenim ve farklı adaların topografiksel ayrıntıları rastgele dağıtılmıştır. Böylece büyütme esnasında adaların birbirine temas etmesi, geometriksel şekillenimlerin ve kristolografik düzenlenimlerin yanlış eşlenmesinden dolayı tane sınırları, çeşitli nokta ve çizgi bozuklukları oluşur. Eğer taneler rastgele düzenlenirse, bir halka tipi kırınım örneği gösterir ve buna polikristal denir. Ancak, eğer tane genişliği 20 Å'dan küçükse, bu filmlerin kırınım desenleri halo tipi (ışık halkası) olan çok fazla düzensiz yani amorf (kristal olmayan) yapıya benzer. Eğer farklı adaların düzenlenimleri uygun tek kristalli alt tabaka üzerinde özel katkılama içererek aynı devam ediyorsa, bu filmin bir tek kristali içermeyeceğine dikkat edilmelidir. Bunun yanında tek kristal filmini oluşturan taneler birbirlerine paralel olarak yerleşirler ve birbirlerine düşük açılı tane sınırlarıyla bağlanırlar. Bu filmlerin kırınım desenleri tek kristalin kırınım deseniyle benzerdir ve epitaxial (tek-kristal film) olarak adlandırılır.

Tane sınırları yanında, epitaxial filmlerde ayrılma hattı, istifleme hatası, mikroçiftler ve çift sınırları, çoklu yer alan sınırlar (multiple-positioning boundaries) ve nokta hatalarının toplamından oluşmuş önemsiz hatalar (örneğin ayrılma hataları, istifleme hatası, tetrahedra ve küçük nokta hataları) gibi diğer yapısal bozuklukları içerir. İstifleme hatası ve çift sınarlar gibi bozukluklar aşağı yukarı polikristallerde de

oluşmaktadır. 10^{10} ve 10^{11} cm^{-2} olan boşluklar yoğunluğu en çok polikristallerde karşılaşılır ve boşlukların yoğunluğu çoğunlukla farklı adalar arasındaki uygun olmayan düzenlenişlerden (yerinden çıkmadan) dolayı boşluk ve ağlar boyunca bulunur.

İnce film boşlukların artmasına neden olabilecek diğer mekanizmalar;

1. Alt tabaka-film yapısının uygun olmaması
2. İnce film doğasında olan büyük gerilimler
3. Filmin alt tabaka yüzeyine kadar boşlukların devam etmesi (Akaltun, 2006).

3.11.2. İnce film elde etme yöntemleri

İnce filmler; araştırma laboratuarlarında ve endüstriyel çalışmalarda, buharla ve çözeltiyle elde etme olmak üzere iki yöntemle elde edilirler. Yöntem seçiminde fiziksel, kimyasal, teknolojik, teknik ve ekonomik özellikler rol oynar. Saydam iletken ince filmlerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan ve verimli sonuçlar alınan yöntemler: kimyasal buharlaştırma yöntemi (chemical vapour deposition; CVD), püskürtme yöntemi (Spray pyrolysis; SP), vakumlu buharlaştırma yöntemi (vacuum evaporation; VE) ve saçma yöntemi (sputtering; sıçratma). Bu çalışmada püskürtme yöntemi kullanılmıştır.

3.11.3. CdO İnce Filmlerin Püskürtme Yöntemiyle Hazırlanması

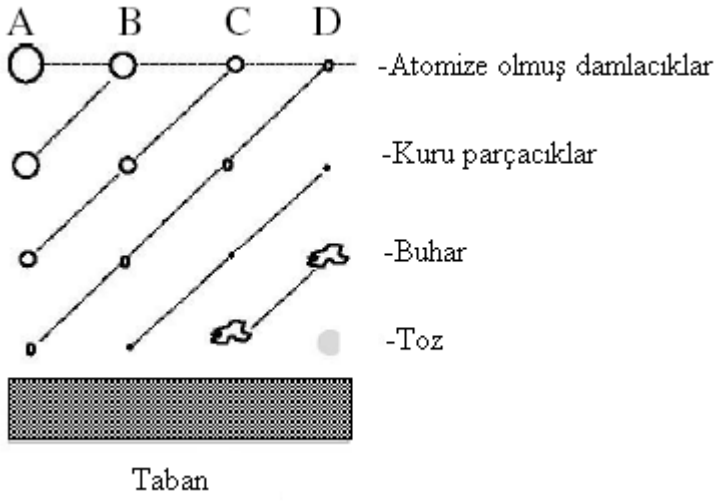
Kadmiyum oksit ince filminin özellikleri, kullanılan büyütme yöntemine ve filmin kalınlığına bağlıdır.

Filmin kalitesi, püskürtme oranı, filmin kalınlığı, alttaban materyali ve sıcaklığı gibi deneysel parametrelerle değişir. Aynı zamanda püskürtme başlığının çapı, püskürtme başlığının alttabandan uzaklığı, saf su, metil alkol ve çözeltideki oranları gibi deneysel parametreler de iyi kalitede film elde edilmesinde önemlidir (Mansur, 2007).

Kimyasal püskürtme, çözelti püskürtme ya da sıcak püskürtme yöntemi olarak da adlandırılan spray pyrolysis yöntemi elde edilecek filmler için hazırlanan sulu

çözeltilerin karıştırılarak sıcak taban üzerine hava ya da azot gazı yardımı ile atomize edilerek püskürtülmesidir.

Çözelti damlacıklarının film oluşturacak tabana yaklaştığı zaman tamamen buharlaştırılmış olması ideal taşınma olarak tanımlanır. Bununla beraber damlacıkların oluşumunda uniform bir damlacık boyutu elde edilemeyebilir. Herhangi bir nedenle damlacığın tabana ulaşamaması onların kütlelerine bağlıdır. Damlacıkların boyutlarının farklı olmasından dolayı farklı depozisyon yöntemleri vardır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Damlacık boyutuna bağlı çeşitli depozisyon yöntemleri (Irmak, 2006).

Şekil 3.28'de A sürecinde, çözelti damlacıkların boyutları oldukça büyüktür. Bu durumda damlacıkların çevresinden absorpladığı ısı tabana ulaşıncaya kadar buharlaşmasına yeterli olmayacaktır. Damlacık tabana çarptığında kuru bir çökelti bırakarak tamamen buharlaşır ve filmi oluşturacak kimyasal reaksiyon oluşmaz. Damlacığın taban üzerinde belirli bir yere buharlaşması sonucu tabanın sıcaklığı düşer. Böylece yüzeyi pürüzlü ve kötü bir film oluşur ve iletim önemli derecede azalır.

B sürecinde, çözelti damlacıklarının boyutu A sürecindekilere göre daha küçüktür ve damlacık tabana ulaşamadan içerisindeki su buharlaşır ve tabana ulaşan damlacıkların bazıları da yoğunlaşır. Damlacıkların buharlaşması için gerekli ısı azdır. Bu süreçte oluşan filmlerin yüzeylerinde delik ve çatlaklar oluşur.

C sürecinde, çözelti damlacıklarının boyutları A ve B sürecindekilere göre daha küçüktür. En uygun filmler bu süreçte elde edilir. Damlacıklar tabana ulaşmadan önce tamamen buharlaşarak heterojen bir reaksiyon meydana getirir. Bu heterojen reaksiyonlar:

a) yüzeyde oluşan reaksiyon moleküllerinin tabana diffüzyonu,

b) yüzeyde bir veya birden çok molekülün absorbe ve desorbe olması,

c) molekülün örgü içerisinde birleşmesi,

d) tabana ulaşan bazı moleküllerin yüzeyden uzaklaşması gibi fiziksel ve kimyasal olayları içerir.

e) buhar durumunda, yüzeyde meydana gelen moleküllerin diffüzyonudur.

D sürecinde, damlacıkların boyutları öyle küçüktür ki damlacık tabandan uzakta tabana ulaşamadan erir ve buharlaşırlar. Kimyasal reaksiyon buhar fazında meydana gelir. Bu homojen bir reaksiyondur. Çünkü bütün reaksiyon ve ürün molekülleri buhar fazındadır. Moleküller tabana toz halinde tutunurlar. Moleküller tabana toz halinde tutunduğundan film oluşumunu bozarlar ve bu süreçte de iyi bir film oluşamaz.

Bu süreçlerin hepsinde de polikristal film elde edilir, ancak en ideal film C sürecinde oluşmaktadır. Doğal olarak bir deneyde C durumu için kesin olarak koşullardan emin olmak mümkün değildir. Burada homojen reaksiyondan heterojen reaksiyona bir geçiş vardır. Çünkü uniform damlacık boyutu atomizasyonla kazanılamaz. Damlacıkların çoğu yüksek bir depozisyon verimine erişmek için C durumuna maruz kalmalıdır.

Spray pyrolysis yönteminde, üzerinde film oluşturmak üzere başta silisyumlu camlar olmak üzere çelik, titanyum, tungsten, alüminyum gibi metal tabanlar kullanılmaktadır. Ayrıca payreks cam, seramik, plastik ve polimer tabanlar da kullanılmaktadır.

Spray pyrolysis yöntemi ile film elde etmenin diğer yöntemlere göre bazı dezavantajları olmasına karşın ekonomik ve kolay bir yöntem olduğu için tercih edilmektedir. Ayrıca film elde etmek için püskürtülmek üzere hazırlanan çözeltiye istenen miktarda katkı yaparak filmin fiziksel özelliklerini kolaylıkla değiştirebilmek gibi avantajları vardır (Irmak, 2006).

3.11.4. Cam Alttabanların Hazırlanması

Cam alttabanların temizlenmesinde takip edilen yollar:

1 - Cam deterjanlı suda temizlenir.

2 - Musluk suyunda yıkanır.

3 - Saf suyla yıkanır.

4 - Üç dakika metil alkolde bekletilir ve kurutulur.

3.12.5. Kimyasal Çözeltinin Hazırlanması ve Deneysel Koşulları

1) Kimyasal bileşikler: 0.1-0.5 M $(CH_3COO)_2{\cdot}2H_2O$, Metil alkol, Etil alkol ve Saf su

2) Püskürtme başlığının çapı:0.1–0.3 mm

3) Püskürtme başlığının alttabana uzaklığı: 20-40 cm

4) Alttaban sıcaklığı: 200-350 ^oC

5) Püskürtme oranı: 8–10 ml/dak.

Deneyde reaksiyon mekanizması basit olarak aşağıdaki şekilde oluşmaktadır:

$Cd(CH_3COO)_2.2H_2O \rightarrow CdO + 2CH_3COO + H_2O$

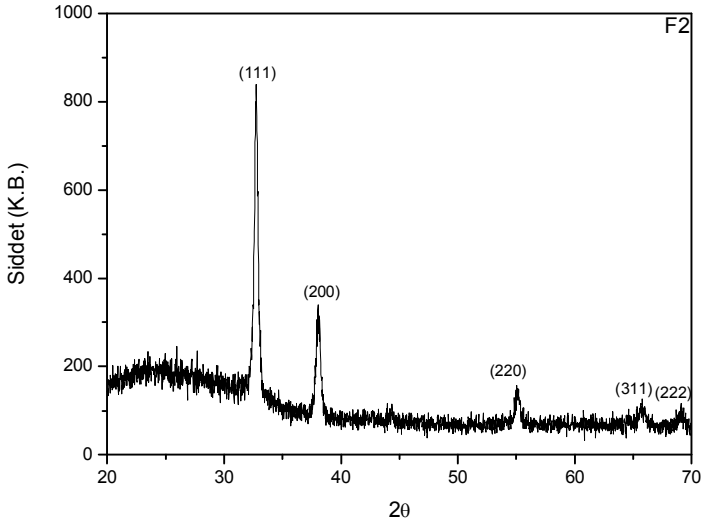
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. CdO İnce Filmlerinin X-Işını Çalışmaları

CdO ince filmleri püskürtme yöntemi kullanılarak, çeşitli sıcaklıklarda (200-350 ^{o}C) cam alttabanlar üzerinde elde edildi. Elde edilen filmlerin, X-ışını çalışmaları Anadolu Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan Rigaku Rint 2000 difraktometre sistemi (CuKα_1,1.5405 Å, 40 kV, 30 mA, tarama hızı 6 derece/dakika) ile yapıldı. 300 ^{o}C' de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni şekil 4.1' de görülmektedir. Dikey eksen kırınım ışık şiddetini, yatay eksen θ Bragg kırılma açısı olmak üzere 2θ' yı göstermektedir. Şekil 4.1' de görüldüğü gibi 2θ= 32.98^{o}, 2θ=38.32^{o}, 2θ=55.30^{o}, 2θ=65.96^{o}, 2θ=69.27^{o} pikleri görülmektedir. 2θ açı değerlerinin yarısı alınıp aşağıdaki Bragg eşitliğinde yerine konularak,

$$n\lambda = 2d \sin\theta \tag{4.1}$$

bu piklerden sorumlu olan atom düzlemleri arasındaki d uzaklıkları bulundu. Bulunan, 2θ ve d değerleri CdO' nun PDF#005–0640 standart kartındaki değerler ile karşılaştırıldı. Bu değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu ve CdO filminin kübik fazda çok iyi polikristal yapıda büyüdüğü görüldü. 300 ^{o}C' de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için bulunan d uzaklık değerleri ve atom düzlemleri çizelge 4.1' de görülmektedir.



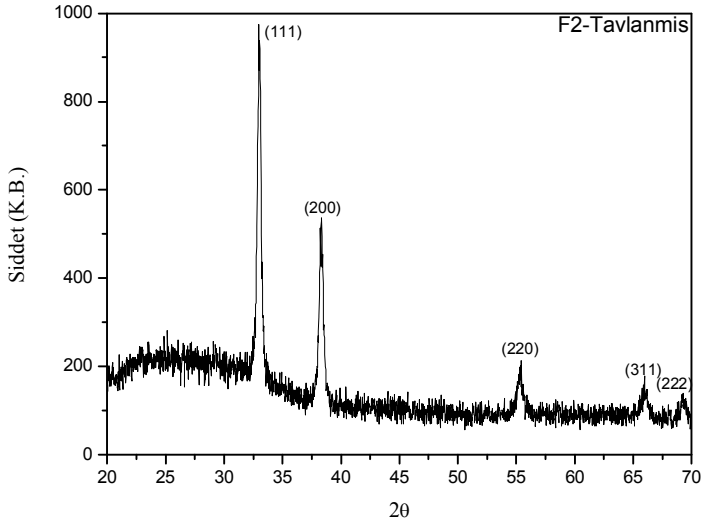
Şekil 4.1. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405 Å).

Çizelge 4.1. 300 ^{o}C' de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filminin bazı yapısal özellikleri.

Standart 2θ (^{o})	Standart d (Å)	Gözlenen 2θ (^{o})	Hesaplanan d (Å)	(hkl) düzlemi
33.002	2.712	32.759	2.731	(111)
38.286	2.349	38.021	2.364	(200)
55.259	1.661	55.100	1.665	(220)
65.912	1.416	65.628	1.421	(311)
69.289	1.355	68.981	1.360	(222)

Isısal tavlamanın (annealing) filmin yapısal özelliklerine etkisini araştırmak için yukarıdaki örnek, fırında 1 saat 400 ^{o}C' de tavlama işlemine tabi tutuldu. Daha sonra yeniden X-ışını grafiği çekildi. X-ışını kırınım deseni şekil 4.2' de görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi kırınım piklerinin şiddetlerinde gözle görülür bir artış gözlendi. Bu da CdO filminin daha iyi polikristal yapıda olduğunun

bir göstergesidir. Tavlamadan sonra meydana gelen özellikler çizelge 4.2' de verilmiştir.

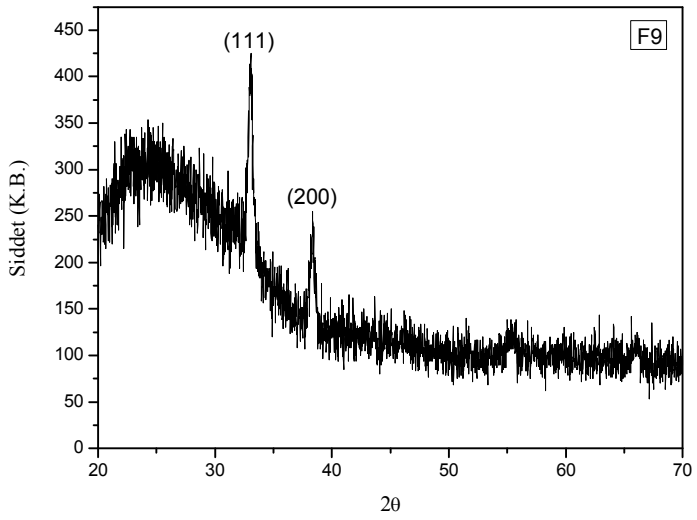


Şekil 4.2. 300 °C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen ve 400 °C' de 1 saat tavlanmış CdO ince filmi için kırınım deseni ($CuK\alpha_1$, λ=1.5405 Å).

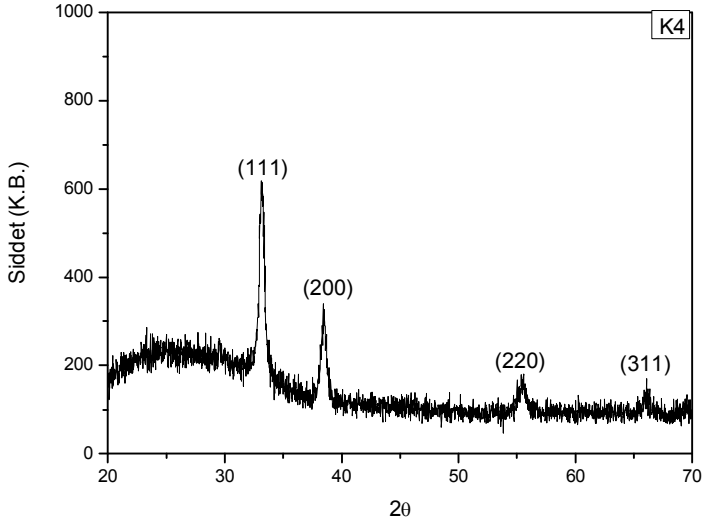
Çizelge 4.2. 300 °C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen ve 400 °C' de 1 saat tavlanmış CdO ince filminin bazı yapısal özellikleri.

Standart 2θ (°)	Standart d (Å)	Gözlenen 2θ (°)	Hesaplanan d (Å)	(hkl) düzlemi
33.002	2.712	32.981	2.713	(111)
38.286	2.349	38.322	2.346	(200)
55.259	1.661	55.301	1.659	(220)
65.912	1.416	65.960	1.415	(311)
69.289	1.355	69.277	1.355	(222)

250 ^{o}C' de ve 25 cm püskürtme mesafesinde CdO ince filmi elde edildi. Bu film için kırınım deseni şekil 4.3' te verilmiştir. Buradan filmin $2\theta=20^{o}$ ve $2\theta=32.4^{o}$ arasında amorf yapıda büyüdüğü görülmektedir. Buna karşın $2\theta=33.06^{o}$ ve $2\theta=38.34^{o}$ de CdO' ya ait (111) ve (200) pikleri görülmektedir. Bu bölgede CdO filmi, polikristal olarak büyümüştür. CdO' ya ait diğer pikler, $2\theta=38.35^{o}$ ile $2\theta=70^{o}$ arasında belli belirsiz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.3. 250 ^{o}C' de 25 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni ($CuK\alpha_1$, λ=1.5405 Å).

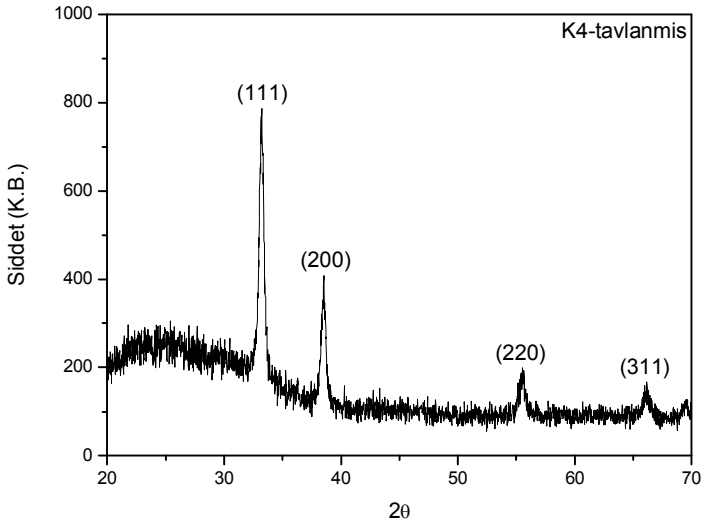


Şekil 4.4. 200 °C' de 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405 Å).

Çizelge 4.3. 200 °C' de ve 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filminin bazı yapısal özellikleri.

Standart 2θ (°)	Standart d (Å)	Gözlenen 2θ (°)	Hesaplanan d (Å)	(hkl) düzlemi
33.002	2.712	33.200	2.696	(111)
38.286	2.349	38.480	2.337	(200)
55.259	1.661	55.541	1.653	(220)
65.912	1.416	66.082	1.412	(311)

Aynı örnek, dijital olarak kontrol edilebilen kül fırınında 400 °C' de 1 saat tavlandı. Örneğin, X-ışını grafiği tavlama işleminden sonra oda sıcaklığında çekildi. 200 °C' de ve 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için kırınım deseni şekil 4.5' te görülmektedir. Tavlama işleminden sonra pik şiddetinde belirgin olarak bir artış görülmüştür. Bu artış, kübik yapıdaki CdO' nun ana pikleri olan (111) piki için %27, (200) piki için %20 civarında olmuştur. Bu da örneğin, daha iyi polikristal yapıda büyüdüğünü göstermektedir.



Şekil 4.5. 200 ^{o}C' de 26 cm püskürtme mesafesinde elde edilen ve 400 ^{o}C' de 1 saat tavlanmış CdO ince filmi için kırınım deseni (CuKα_1, λ=1.5405 Å).

4.2. CdO' nun Örgü Parametrelerinin Hesaplanması

X-ışını çalışmalarından elde edilen sonuçlar, CdO filmlerinin kübik fazda kristalleştiğini gösterdi. Kübik kristal yapının birim hücreleri a=b=c ve düzlemler arası uzaklık,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{4.2}$$

eşitliği ile karakterize edilir (Cullty,1966).

300 ^{o}C' de ve 30 cm (şekil 4.1) püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filminin X-ışını kırınım deseninde bulunan (hkl)=(111) düzlemi ve d=2.731 Å değeri yukarıdaki denklemde yerine yazılarak a örgü parametresi 4.699 Å olarak bulundu**.** Bu değer CdO' nun PDF#005–0640 kartındaki verilen standart a değeri (4.695 Å) ile uyum içindedir. Aynı şekilde (200) için 4.692 Å, (220) için 4.692 Å, (311) 4.693 Å, (222) için 4.693 Å olarak bulundu. Sonuçlardan da görüldüğü gibi hesaplanan d düzlemler arası uzaklık değerleri, standart değerlerle uyum içinde bulunmuştur. Bu

da bize CdO filminin çok iyi yapıda polikristal olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde 400 ^{o}C' de 1 saat tavlanmış film için a örgü parametresi sırasıyla (111) düzlemi için 4.700 Å, (200) düzlemi için 4.693 Å, (220) düzlemi için 4.694 Å, (311) düzlemi için 4.693 Å, (222) düzlemi için 4.694 Å bulundu. Sonuçlardan görüldüğü gibi tavlanmamış ve tavlanmış film için örgü parametresinin (a) değeri 1 saatlik tavlama ile değişmemiştir. Böylece kristal yapının birim hacmi aynı kalmıştır.

4.3. Filmlerin Tanecik Büyüklüklerinin Bulunması

CdO ince filmlerinin tanecik büyüklükleri için Scherrer eşitliği,

$$G = \frac{0.94\lambda}{B\cos\theta} \tag{4.3}$$

kullanıldı. Burada G tanecik büyüklüğü, λ dalga boyu (1.5405 Å), B maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişliktir ve bu değer (FWHM) radyan cinsinden ölçülür. Bütün örnekler için tanecik büyüklükleri hesaplandı. Bu değerler çizelge 4.4' de verilmiştir.

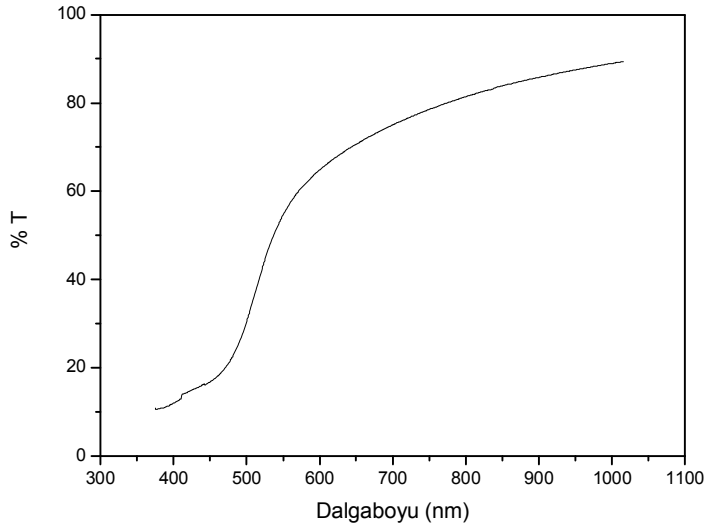
Çizelge 4.4. 300 ^{o}C de ve 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklükleri.

FWHM	FWHM Tavlanmış	G (Å)	G (Å) Tavlanmış	(hkl) düzlemi
0.348	0.364	249	237	(111)
0.404	0.387	215	225	(200)
0.414	0.522	223	175	(220)
0.501	0.429	193	227	(311)
0.518	0.442	190	225	(222)

4.4. CdO İnce Filmlerin Oda Sıcaklığındaki Optik Özellikleri

4.4.1. CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik (%T) Değerlerinin Belirlenmesi

CdO doğrudan bant aralıklı ve bant aralığı değeri 2.15 eV olan kübik yapıda bir yarıiletkendir. CdO ince filmlerinin optik özellikleri, film eldesinde kullanılan yöntemlere, film kalınlığına, çözelti konsantrasyonuna, alttaban ve sıcaklığına sıkı bir şekilde bağlıdır. CdO ince filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik ölçümleri Perkin Elmer UV/VIS Lambda 2S spektrofotometresi (λ=190–1100 nm) ile yapıldı. Sistemin önce zemin düzeltmesi yapılarak, camdan geçen ışınım %100 olarak normalize edildi. Böylece numuneler üzerinden okunacak oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik değerleri alttaban (cam) soğurmasından bağımsız hale getirildi. 200-350 ^{o}C' de elde edilen CdO ince filmleri için oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik eğrisi şekil 4.6' da verilmiştir. Şekil 4.6' da görüldüğü gibi CdO ince filminin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik değerleri, görünür bölgede (400-700 nm) %10' lardan başlayarak % 70' lere kadar çıkmaktadır. 700–1100 nm' de ise ortalama olarak % 80 dolaylarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. 300 ^{o}C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmlerinin optik geçirgenliklerinin oda sıcaklığında dalga boyuna bağlı değişimi.

4.4.2. CdO' nun Enerji Bant Aralığının (Eg) Bulunması

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

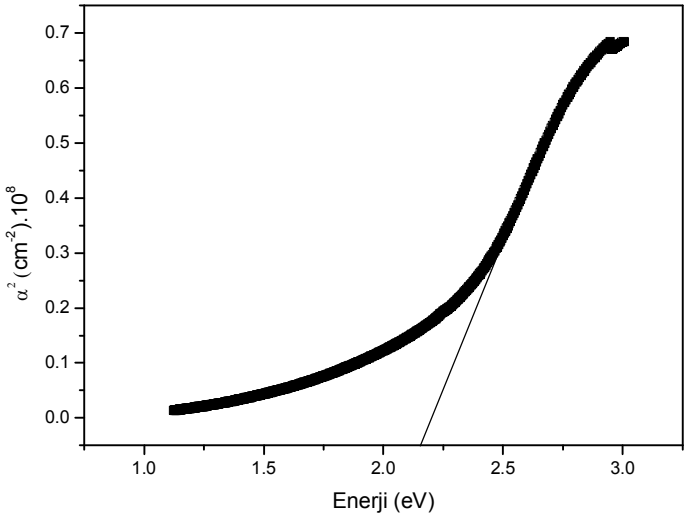
$$\alpha h\nu = K\left(h\nu - E_g\right)^{1/2} \tag{4.4}$$

burada, α soğurma katsayısı, K sabit bir sayı, hν foton enerjisi, E_g yarıiletkenin enerji bant aralığıdır.

Filmlerin soğurma katsayısı değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı;

$$\alpha = -\frac{1}{t}\ln\left(\frac{T}{T_o}\right) \tag{4.5}$$

Burada t filmin kalınlığını, T_o gelen ışığın şiddetini ve T geçen ışığın şiddetini göstermektedir. CdO ince filmlerinin soğurma katsayısı değerleri bulunduktan sonra bu değerlerin kareleri alınarak, enerjiye karşı grafiği çizildi. Bu grafik şekil 4.7' de görülmektedir. Bu grafiğin enerji eksenini kestiği nokta bize filmin yasak enerji aralığını vermektedir. 300 ^oC' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için enerji bant aralığı 2.15 eV bulunmuştur.



Şekil 4.7. 300 °C' de 30 cm püskürtme mesafesinde elde edilen CdO ince filmi için α^2-hν değişimi.

4.4.3. CdO İnce Filmlerin Kalınlık Hesabı

Elde edilen filmlerin kalınlık (t_f) değerleri, kütle farkından elde edildi. Bunun için çok hassas dijital terazi kullanıldı. Cam alttabanlar üzerine film oluşturmadan önce ve oluşturulduktan sonra tartıldı ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak kalınlıklar bulundu.

$$t_f = \frac{m_s - m_i}{\rho A} \tag{4.6}$$

Burada;

m_i= ince film oluşturulmadan önce cam alttaban kütlesi

m_s= ince film oluşturulduktan sonra cam alttaban kütlesi

ρ= yoğunluk (8.15 g/cm^3)

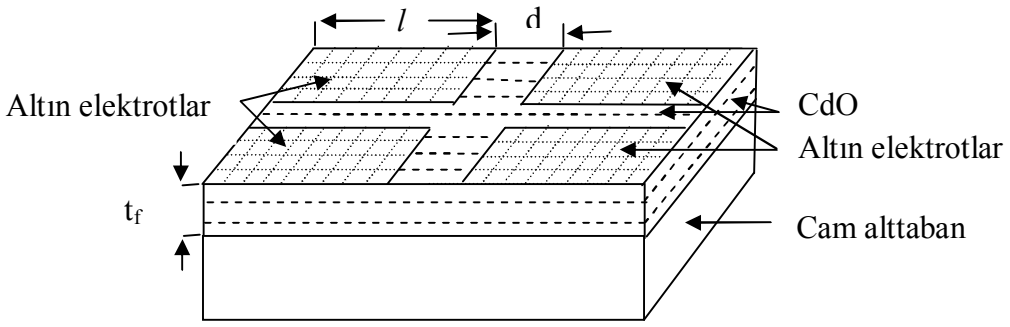
A=ince film yüzey alanı

Bu yöntemle elde edilen CdO ince filmlerin kalınlıkları 0.15–0.65 μm arasında bulundu.

4.5. CdO Filmlerinin Elektriksel Ölçümleri

Yarıiletken materyallerin, dc iletkenlik özellikleri hakkında bilgi edinebilmek için metal-yarıiletken-metal yapıların oluşturulması gereklidir. Elde edilen filmlere, vakumda kimyasal buhar depolama yöntemiyle altın kontak yapılmıştır. Filmlere, metal kontak kaplama işlemi Leybold Heraus 300 Univex model vakumda kimyasal buhar depolama deney setinde yapılmıştır. Akım-voltaj *I(V)* ölçümleri HP4140B pA meter/DC voltage kaynağı, HP34401 Model Dijital Multimetre ve Vee One Lab 6.1 bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir.

Metal-yarıiletken yapılar oluşturulurken iki metal kontak arasında kalacak olan yarıiletken bölge alüminyum folyo ile kapatılmış açıkta kalan kısımlara vakumda kimyasal buhar depolama yöntemi ile 10^{-5} Torr basınç uygulanarak altın için yaklaşık 4700 Å kalınlığında elektrot kaplanarak metal-yarıiletken yapılar oluşturulmuştur. Şekil 4.8 kontak oluşturulan metal-yarıiletken yapıların şematik olarak üstten görünüşünü göstermektedir.

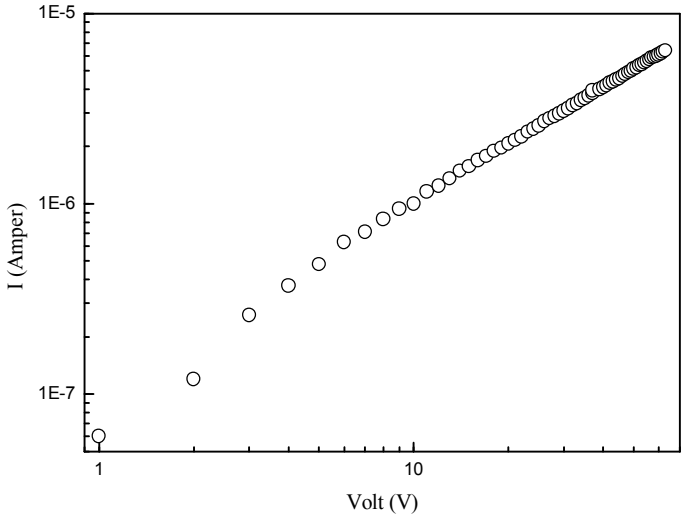


Şekil 4.8. Kontak oluşturulan CdO-Au yapıların üstten görünüşü.

Yukarıdaki şekilde elektrotlar arası uzaklık *d*, elektrot boyu l ve t_f film kalınlığını göstermektedir. CdO için akım-voltaj grafiği şekil 4.9' da verilmiştir. İlk önce akım-voltaj değerleri hesaplandı. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla filmlerin elektriksel özdirenç değerleri $(1.1\text{-}3.4)\cdot 10^{-3}$ Ωcm olarak bulundu. Bulunan bu değerler literatürle uyum içindedir (C.H. Bhosale ve ark., 2005).

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{4.7}$$

Burada, R direnç, ρ özdirenç, A kesit alanı dır.



Şekil 4.9. CdO ince filminin akım-voltaj grafiği.

4.6. CdO İnce Filminin Yüzey İncelemesi

CdO ince filmlerinin yüzeysel özellikleri film eldesinde kullanılan yönteme, çözelti konsantrasyonuna, alttaban ve sıcaklığına sıkı bir şekilde bağlıdır. Bu parametreler aynı zamanda filmin elektriksel ve optiksel özelliklerini etkilemektedir. SEM incelemesi sonucunda elde edilen filmin yüzey görünümü, tabana tutunması, homojenliği ve yüzey kusurları hakkında bilgi edinilebilir. Filmlerin yüzey analizinde bilgisayar kontrolü dijital LEO-440 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı.

Numuneler aşağıdaki şekilde hazırlandı.

1- Minitom (kesme) cihazla, büyüklüğü uygun olmayan numuneler alüminyum ve elmas uçlu bıçakla büyüklüğü uygun hale getirilir.

2- Kalıplama cihazla (Numune tutucu), parlatma işleminde veya mikroskoba monte etme işleminde zorluk çekilecek küçük numuneler kalıplanarak, hem otomatik

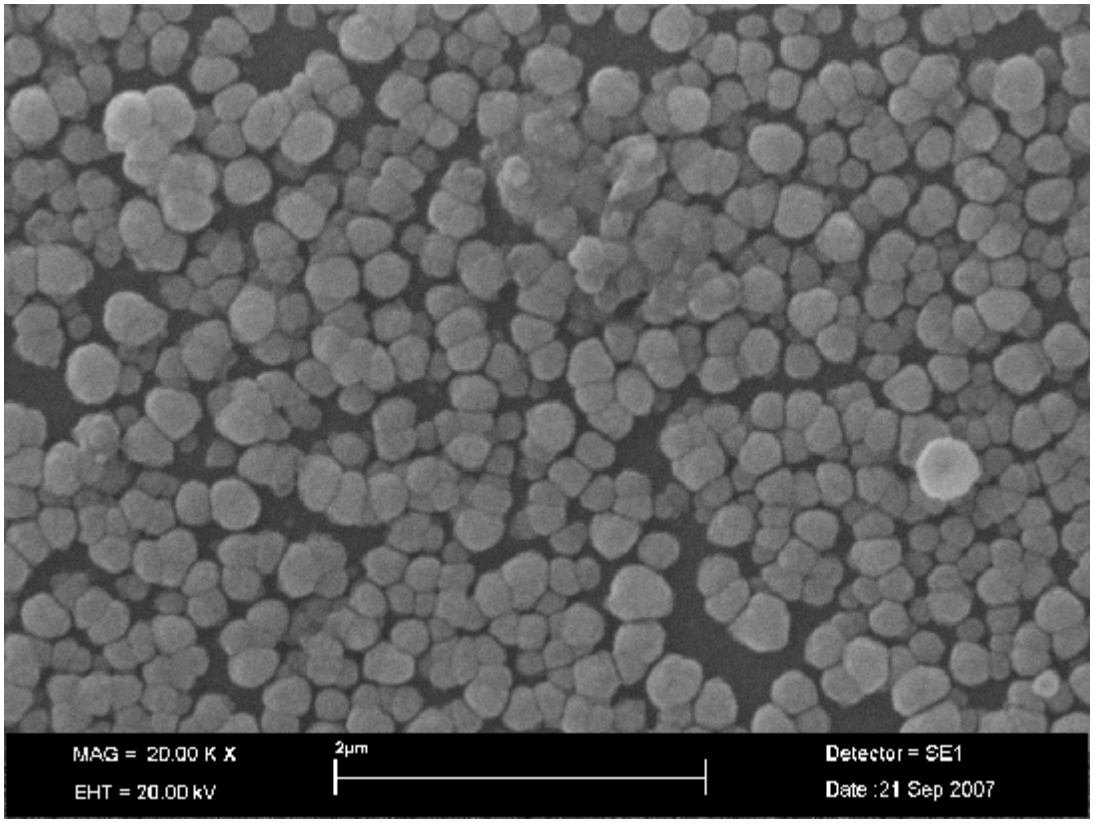
parlatma diskine sığacak hale getirilir hem de daha kolay monte işlemi sağlanır. Numunenin bu aşamada ki işlemleri 15dk. sürer.

3- Parlatma cihazı ile analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri 1 mm mertebesinde parlatılabilir ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir.Numunenin bu aşamadaki işlemleri, özelliğine göre değişmekte olup parlatılması 15dk. sürer.

4- Püskürtme (Sputtering) cihazı ile iletken olmayan numuneler, iletken bir tabaka (C, Au-Pd) ile kaplanır. Numune, bu aşamada vakum altına alınır. Vakum altında alındığı için numunenin özelliğine göre kaplama işlemi ortalama 10dk. sürer.

5- Critical point drier cihazı ile biyolojik numunelerin şeklini ve yapısını bozmadan kurutularak SEM 'de incelenecek hale getirilir.

Şekil 4.10'da 300 ^{o}C' de elde edilen CdO ince filmin 20000xbüyütme oranında alınmış SEM görüntüsü görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi CdO filmleri küresel olarak homojen ve düzgün bir yapıda büyümüşlerdir.



Şekil 4.10. 300 ^{o}C' de elde edilen CdO ince filminin SEM görüntüsü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. CdO İnce Filmlerinin Yapısal Sonuçları

Püskürtme yöntemi kullanılarak, CdO ince filmleri 200–350 ^{o}C' de cam alttabanlar üzerinde elde edildi. Filmlerin X-ışını kırınım desenleri $2\theta=10^{o}$-70° arasında alındı. Kırınım desenleri, filmlerin kübik yapıda çok iyi polikristal fazda büyüdüklerini gösterdi. Kübik yapıdaki CdO ince filmlerinin kırınım desenlerindeki (hkl) düzlemleri, sırasıyla (111), (200), (220), (311), (222) bulundu. CdO' nun (111) düzlemi için hesaplanan örgü parametresi a=b=c=4.699 Å olarak bulundu. Bütün (hkl) düzlemler için hesaplanan örgü parametreleri, CdO' nun PDF#005–0640 standart kartındaki örgü parametreleri değerleri ile uyum içinde olduğu görüldü.

Filmlerin kalınlık (t_f) değerleri, kütle farkından elde edildi. Filmlerin aynı koşullarda tekrarlanabildiği görüldü. Çözelti sıcaklığı, pH, konsantrasyon ve miktarının, alttaban ve alttaban sıcaklığının film üretiminde çok önemli yer tuttuğu, yapılan deneyler sonucunda gözlendi.

Kırınım desenleri sonuçlarından filmlerin 300 ^{o}C' de en iyi yapıda polikristalleştiği görüldü.

Filmlerin kalınlık değerleri, 0.15-0.65 μm olarak kütle farkından bulundu.

5.2. CdO İnce Filmlerinin Optik Sonuçları

CdO ince filminin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik değerleri, görünür bölgede (400-700 nm) %10' lardan başlayarak % 70' lere kadar çıkmakta, 700–1100 nm de ise ortalama olarak % 80 dolaylarında olduğu görülmektedir. İnce filmlerin bu geçirgenlik değerlerinden dolayı güneş pillerinde kullanılması uygundur. CdO ince filmlerinin enerji bant aralığı değerleri, 2.10-2.25 eV civarında bulundu. Bu değerler CdO' nun enerji bant aralığı değeri ile uyum içinde olduğu görüldü.

5.3. CdO İnce Filmlerinin Elektriksel Sonuçları

Filmlerinin ölçülen elektriksel özdirenç değerleri, $(1.1\text{-}3.4)\cdot 10^{-3}$ Ωcm olarak bulundu. Bulunan bu değer, literatür değerleri ile uyum içinde olduğu görüldü.

5.4. Öneriler

Bu tezde, CdO ince filmleri püskürtme yöntemi kullanılarak 200-350 ^{o}C' lerde cam alttabanlar üzerinde elde edildi. Elde ettiğimiz yapısal, optiksel ve elektriksel sonuçların literatürdeki sonuçlarla uyum içinde olduğunu gördük. Bundan sonraki çalışmalarımızda, CdO' yu kullanarak güneş pili yapmayı düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

AKALTUN, Y., 2006. CdSe, ZnSe ve Cd_x Zn_{1-x} Se Yarıiletken İnce Filmlerinin Sılar Tekniği ile Büyütülmesi; Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 102s.

ASKARINEJAD, A., and MORSALI, A., 2008. Syntheses and Characterization of $CdCO_3$ and CdO Nanoparticles by Using a Sonochemical Method. Materials Letters, 62:478-482.

ATALAY, T., "Katıların Enerji Band Modeli ve Elektronik İletkenlikleri." Elektronik I, 1994:28s. http://sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik/kisisel/T.ATALAY/Elektronik1/Elektronik 1.doc(Nisan 2008).

BENRAMDANE, N., MURAD, W.A., MİSHO, R.H., ZİANE, M., and KEBBAB, Z., 1997. A Chemical Method for the Preparation of Thin Films of CdO and ZnO. Materials Chemistry and Physics, 48:119-123.

BHOSALE, C.H., KAMBALE, A.V., KOKATE, A.V., and RAJPURE, K.Y., 2005. Structural, Optical and Electrical Properties of Chemically Sprayed CdO Thin Films. Materials Science & Engineering B, 122:67-71.

CAFEROV, T., 1998. Yarıiletken Fiziği-1. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul. 200s.

CARBALLEDA-GALICIA, D.M., CASTANEDO-PEREZ, R., JIMENEZ-SANDOVAL, O., TORRES-DELGADO, G., and ZUNIGA-ROMERO, C.I., 2000. High Transmittance CdO Thin Films Obtained by the Sol-gel Method. Thin Solid Films, 371:105-108.

CHANG, Q., CHANG, C., ZHANG, X., YE, H., SHI, G., ZHANG, W., WANG, Y., XIN, X., and SONG, Y., 2007. Enhanced Optical Limiting Properties in Suspensions of CdO Nanowires.Optics Communications, 274:201-205.

CRUZ-GANDARILLA, F., MORALES-ACEVEDO, A., VIGIL, O., HESIQUIO-GARDUNO, M., VAILLANT, L., and CONTRERAS-PUENTE, G., 2003. Micro-Structural Characterization of Annealed Cadmium-Zinc Oxide Thin

Films Obtained by Spray Pyrolysis. Materials Chemistry and Physics, 78:840-846.

CULLITY, B.D.,1966. X-Işınları Difraksiyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul. 540s.

ÇABUK, S., 1992. İnce Film SnO_2/Cu_2O Güneş pilleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 47s.

DAKHEL, A.A., 2008. Correlated Transport and Optical Phenomena in Ga-Doped CdO Films. Solar Energy, 82:513-519.

DE, U., CHATTOPADHYA, M.K., CHAUDHURY, S., SARKAR, A., SANYAL, D., and DEY, T.K., 2000. Electrical Conductivity, Thermo-Electric Power and Structure of Differently Heat-Treated CdO. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 61:1955-1958.

DEMİRCİ, B., 2006. İndiyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 62s.

DEOKATE, R.J., PAWAR, S.M., MOHOLKAR, A.V., SAWANT, C.A., BHOSALE, C.H., and RAJPURE, K.Y., 2008. Spray Deposition of Highly Transparent Fluorine Doped Cadmium Oxide Thin Films. Applied Surface Science, 254: 2187-2195.

DHAWALE, D.S., MORE, A.M., LATTHE, S.S., RAJPURE, K.Y., and LOKHANDE, C.D., 2008. Room Temperature Synthesis and Characterization of CdO Nanowires by Chemical Bath Deposition (CBD) Method. Applied Surface Science, 254:3269-3273.

DİKİCİ, M., 1993. Katıhal Fiziğine Giriş. Ondokuzmayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun.276s.

DONG, W., and ZHU, C., 2003. Optical Properties of Surface-Modified CdO Nanoparticles. Optical Materials, 22:227-233.

DURLU, T., 1992. Katıhal Fiziğine Giriş. Set ofset Ltd, Ankara. 313s.

ESEN, R., 1986. Amorf Silisyum Karbür Filmlerin Hazırlanması ve Çeşitli Fiziksel Özelliklerin Ölçümü. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 107s.

EZE, F.C., 2005. Oxygen Partial Pressure Dependence of the Structural Properties of CdO Thin Films Deposited by a Modified Reactive Vacuum Evaporation Process. Materials Chemistry and Physics, 89:205-210.

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.

FERRO, R., and RODRIGUEZ, J.A., 2000. Influence of F-Doping on the Transmittance and Electron Affinity of CdO Thin Films Suitable for Solar Cells Technology. Solar Energy Materials & Solar Cells, 64:363-370.

FERRO, R., RODRIGUEZ, J.A., VIGIL, O., and MORALES-ACEVEDO, A., 2001. Chemical Composition and Electrical Conduction Mechanism for CdO:F Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis. Materials Science & Engineering B, 87:83-86.

GHOSH, M., and RAO, C.N.R., 2004. Solvothermal Synthesis of CdO and CuO Nanocrystals. Chemical Physics Letters, 393:493-497.

GUJAR, T.P., SHINDE, V.R., KIM, W.Y., JUNG, K.D., LOKHANDE, C.D., and JOO, O.S., 2008. Formation of CdO Films from Chemically Deposited $Cd(OH)_2$ Films as a Precursor. Applied Surface Science, 254:3813-3818.

GULINO, A., and TABBI, G., 2005. CdO Thin Films: a Study of Their Electronic Structure by Electron Spin Resonance Spectroscopy. Applied Surface Science, 245:322-327.

GURUMURUGAN, K., MANGALARAJ, D., NARAYANDASS, S.K., SEKAR, K., and GİRİJA VALLABHAN, C.P., 1994. Characterization of Transparent Conducting CdO Films Deposited by Spray Pyrolysis. Semicond. Sci. Technol., 9:1827-1832.

GURUMURUGAN, K., MANGALARAJ, D., NARAYANDASS, S.K., NAKANISHI, Y., and HATANAKA, Y., 1997. Composition Studies on CdO Thin Films Formed by Spray Pyrolysis and Sputtering. Applied Surface Science, 113(114):422-425.

GÜMÜŞ, C., 1998. ZnS:Mn İnce Film Elektrolüminesans Çalışması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 145s.

GÜNERİ, E., 2003. X-Işınları Toz Kırınım Metodu ile Üriner Sisteme Ait Taşların Nitel Analizi ve 2,2-Difenil -[1,3,2]Dithiagermol-4,5-Dikarbonitril'in Kristal Yapısının Araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 197s.

HAN, X., LIU, R., XU, Z., CHEN, W., and ZHENG, Y., 2005. Room Temperature Deposition of Nanocrystalline Cadmium Peroxide Thin Film by Electrochemical Route. Electrochemistry Communications, 7:1195-1198.

IRMAK, S., 2006. Flor Katkılı CdO Yarıiletken Bileşiğinin Spray Pyrolysis Yöntemi ile Elde Edilmesi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 92s.

JAYAKRISHNAN, R., and HODES, G., 2003. Non-Aqueous Electrodeposition of ZnO and CdO Films. Thin Solid Films, 440:19-25.

KIM, B.J., OK, Y.W., SEONG, T.Y., ASHRAFI, A.B.M.A., KUMANO, H., and SUEMUNE, I., 2003. Structural Properties of CdO Layers Grown on GaAs (001) Substrates by Metalorganic Molecular Beam Epitaxy. Journal of Crystal Growth, 252:219-225.

KITTEL, C., 1986. Introduction to Solid State Physics. Library of Congress Cataloging in Publication in Canada. 646s.

KÖROĞLU, G., 2005. Bileşik Yarıiletken Filmlerde Fotoiletkenlik Ölçümleri. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 94s.

KRISHNA KUMAR, V., RAMAMURTHI, K., and ELANGOVAN, E., 2004. Preparation of $(CdO)_{1-x}(PbO)_x$ and $(CdS)_{1-x}(PbS)_x$ Thin Films by Spray Pyrolysis Technique and Their Characterization. Solid State Communications, 132:673-677.

KUL, M., AYBEK, A.S., TURAN, E., ZOR, M., and IRMAK, S., 2007. Effects of Fluorine Doping on the Structural Properties of the CdO Films Deposited by Ultrasonic Spray Pyrolysis. Solar Energy Materials and Solar Cells, 91:1927-1933.

KUL, M., ZOR, M., AYBEK, A.S., IRMAK, S., and TURAN, E., 2007. Some Structural Properties of CdO:F Films Produced by Ultrasonic Spray Pyrolysis Method. Thin Solid Films, 515:8590-8593.

LEON-GUTIERREZ, L.R., CAYENTE-ROMERO, J.J., PEZA-TAPIA, J.M., BARRERA-CALVA, E., MARTINEZ-FLORES, J.C., and ORTEGA-LOPEZ, M., 2006. Some Physical Properties of Sn-Doped CdO Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition. Materials Letters, 60:3866-3870.

LOKHANDE, B.J., and UPLANE, M.D., 2001. Effect of Deposition Temperature on Spray Deposited Cadmium Oxide Films. Materials Research Bulletin, 36:439-447.

LOKHANDE, B.J., PATIL, P.S., and UPLANE, M.D., 2004.Studies on Cadmium Oxide Sprayed Thin Films Deposited Through Non-Aqueous Medium. Materials Chemistry and Physics, 84:238-242.

MAITY, R., and CHATTOPADHYAY, K.K., 2006. Synthesis and Characterization of Aluminum-Doped CdO Thin Films by Sol-Gel Process. Solar Energy Materials & Solar Cells, 90:597-606.

MANSUR, F., 2007. Püskürtme Yöntemi ile Hazırlanan SnO_2 İnce Filmlerinin Özellikleri. Ç.Ü. Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.81s.

MAYER, R.J., 1972. Introduction to Classical and Modern Optics. Prentice-Hall. 478s.

ÖZÇELİK, S., 2005. Tek Kristal X-Işınları Kırınımı Yöntemiyle $C_{21}H_{20}N_2O_3S$, $C_{11}H_{10}N_2S$ ve $C_{27}H_{23}N_3O_5$ Kristallerinin Yapı Analizi. Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 74s.

ÖZYETİŞ, A., 2005. X-Işınları Toz Difraksiyon Metodu ile Bazı Organik Bileşiklerin Kristal Yapılarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 84s.

PANKOVE, J.I., 1975. Optical Processes in Semiconductors. Dover Publications, Inc. 422s.

RAMAKRISHNA REDDY, K.T., SRAVANI, C., and MILES, R.W., 1998. Characterization of CdO Thin Films Deposited by Activated Reactive Evaporation. Journal of Crystal Growth, 184(185):1031-1034.

RAMAKRISHNA REDDY, K.T., SHANTHINI, G.M., JOHNSTON, D., and MILES, R.W., 2003. Highly Transparent and Conducting CdO Films Grown by Chemical Spray Pyrolysis. Thin Solid Films, 427:397-400.

RISTOV, M., SINADINOVSKI, G., MITRESKI, M., and RISTOVA, M., 2001. Photovoltaic Cells Based on Chemically Deposited P-Type SNS. Solar Energy Materials & Solar Cells, 69:17-24.

SAHA, B., DAS, S., and CHATTOPADHYAY, K.K., 2007. Electrical and Optical Properties of Al Doped Cadmium Oxide Thin Films Deposited by Radio Frequency Magnetron Sputtering. Solar Energy Materials and Solar Cells, 91:1692-1697.

SANTANA, G., MORALES-ACEVEDO, A., VIGIL, O., VAILLANT, L., CRUZ, F., and CONTRERAS-PUENTE, G., 2000. Structural and Optical Properties of $(ZnO)_x(CdO)_{1-x}$ Thin Films Obtained by Spray Pyrolysis. Thin Solid Films, 373:235-238.

SANTOS-CRUZ, J., TORRES-DELGADO, G., CASTANEDO-PEREZ, R., JIMENEZ-SANDOVAL, S., JIMENEZ-SANDOVAL, O., ZUNIGA-ROMERO, C.I., MARQUEZ MARIN, J., and ZELAYA-ANGEL, O., 2005. Dependence of Electrical and Optical Properties of Sol-Gel Prepared Undoped Cadmium Oxide Thin Films on Annealing Temperature. Thin Solid Films, 493:83-87.

SANTOS-CRUZ, J., TORRES-DELGADO, G., CASTANEDO-PEREZ, R., JIMENEZ-SANDOVAL, S., MARQUEZ MARIN, J., and ZELAYA-ANGEL, O., 2006. Au-Cu/p-CdTe/n-CdO/Glass-Type Solar Cells. Solar Energy Materials & Solar Cells, 90:2272-2279.

SANTOS-CRUZ, J., TORRES-DELGADO, G., CASTANEDO-PEREZ, R., ZUNIGA-ROMERO, C.I., and ZELAYA-ANGEL, O., 2007. Optical and Electrical Characterization of Fluorine Doped Cadmium Oxide Thin Films Prepared by The Sol-Gel Method. Thin Solid Films, 515:5381-5385.

SRIVASTAVA, A.K., PANDEY, S., SOOD, K.N., HALDER, S.K., and KISHORE, R., 2008. Novel Growth Morphologies of Nano-and Micro-Structured Cadmium Oxide. Materials Letters, 62:727-730.

SUBRAMANYAM, T.K., UTHANNA, S., and SRINIVASULU NAIDU, B., 1998. Preparation and Characterization of CdO Films Deposited by dc Magnetron Reactive Sputtering. Materials Letters, 35:214-220.

ŞİŞMAN, İ., 2006. CdS, CdSe ve CdTe Bileşik Yarıiletken İnce Filmlerinin Aynı Çözeltiden Elektrokimyasal Olarak Au(111) Elektrodu Üzerinde Büyütülmesi ve AFM, STM, XRD ve UV-VIS Spektroskopisi ile Karakterizasyonu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 182s.

TABET-DERRAZ, H., BENRAMDANE, N., NACER, D., BOUZIDI, A., and MEDLES, M., 2002. Investigations on $Zn_xCd_{1-x}O$ Thin Films Obtained by Spray Pyrolysis. Solar Energy Materials & Solar Cells, 73:249-259.

UPLANE, M.D., KSHIRSAGAR, P.N., LOKHANDE, B.J., and BHOSALE, C.H., 2000. Characteristic Analysis of Spray Deposited Cadmium Oxide Thin Films. Materials Chemistry and Physics, 64:75-78.

UZUN, H., FINDIK, F., ve SALMAN, S., 2003. Malzeme Biliminin Temelleri. Değişim Yayınları, İstanbul, 247s.

VARGHESE, N., PANCHAKARLA, L.S., HANAPI, M., GOVINDARAJ, A., and RAO, C.N.R., 2007.Solvothermal Synthesis of Nanorods of ZnO, N-Doped ZnO and CdO. Materials Research Bulletin, 42:2117-2124.

VIGIL, O., CRUZ, F., MORALES-ACEVEDO, A., CONTRERAS-PUENTE, G., VAILLANT, L., and SANTANA, G., 2001. Structural and Optical Properties of Annealed CdO Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis. Materials Chemistry and Physics, 68:249-252.

ZHANG, F., BEI, F.L., CAO, J.M., and WANG, X., 2008. The Preparation of CdO Nanowires from Solid-State Transformation of a Layered Metal-Organic Framework. Journal of Solid State Chemistry, 181:143-149.

ZHANG, Y.C., and WANG, G.L., 2008. Solvothermal Synthesis of CdO Hollow Nanostructures from CdO_2 Nanoparticles. Materials Letters, 62:673-675.

ZHAO, Z., MOREL, D.L., and FEREKIDES, C.S., 2002. Electrical and Optical Properties of Tin-Doped CdO Films Deposited by Atmospheric Metalorganic Chemical Vapor Deposition. Thin Solid Films, 413:203-211.

ZHOU, Q., JI, Z., HU, B., CHEN, C., ZHAO, L., and WANG, C., 2007. Low Resistivity Transparent Conducting CdO Thin Films Deposited by DC Reactive Magnetron Sputtering at Room Temperature. Materials Letters, 61:531-534.

ÖZGEÇMİŞ

19 Haziran 1974 yılında Siirt'te doğdum. İlk ve Orta eğitimimi Adana'da tamamladım. 1990 yılında Adana Erkek Lisesi'nden mezun oldum. Üniversite eğitimini 1999 yılında, Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde tamamladım. 1999 yılında öğretmen olarak göreve başladım. Halen Akif Palalı Lisesi'nde Fizik Öğretmeni olarak çalışmaktayım.