

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI ÇÖZELTİLER KULLANILARAK ÜRETİLEN

ZnO NİCEFLERİN YAPISAL VE OPTİK

ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MEHMET KARAKIZ

OCAK 2008

ÖZET

FARKLI ÇÖZELTİLER KULLANILARAK ÜRETİLEN ZnO NCE FİLMLERİN
YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

KARAKIZ, Mehmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Saffet NEZİR

OCAK 2008, 64 sayfa

Bu çalışmada, çinko klorür, çinko asetat ve çinko nitrat çözeltileri kullanılarak kimyasal püskürtme yöntemiyle ZnO ince filmler üretildi. Üretilen filmlerin X-ışını kırınım analizi yapılarak filmlerin kristal yapıları incelendi. ZnO filmlerin hekzagonal yapıda kristallendikleri ve tercihli yönelimlerinin (002) yönünde olduğu görüldü. Çinko klorür çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerde ise diğer çözeltilere oranla daha fazla hekzagonal çubukların oluştuğu görüldü. ZnO filmlerin optik geçirgenliklerinin birbirlerine yakın ve literatürdeki değerlerden daha az olduğu görüldü. Filmlerin yasak enerji aralıklarında, farklı çözeltiler kullanılarak üretilmelerine rağmen önemli miktarlarda farklılık olmadığı görüldü. Bu küçük farklılığın, deneysel hatalardan kaynaklandığı düşünüldü.

Filmlerin elektriksel özellikleri incelendi inde ise Çinko klorür çözeltisi kullanılarak elde edilen ZnO filmlerin özdirencinin di er filmlerin özdirencinden daha büyük oldu u görüldü bunun sebebinin, olu an hekzagonal çubukların sınırları arasındaki boşluklardan kaynaklandığı düşünölmektedir. Ta ıyıcı yo unluklarının özdirençleriyle uyum içinde oldu u görüldü.

Filmlerin SEM mikro rafları çekilerek yüzey yapıları incelendi ve görünümlerinin tamamen farklılıklar gösterdiği görüldü. Çinko nitrat çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerin düzensiz bir yapıda, çinko asetat çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerin rastgele da ılmı hekzagonal yapıda oldu u, çinko klorür çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerin ise düzenli bir yapıda hekzagonal çubuklardan olu tu u anlaşıldı.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal püskürtme, ZnO, ince Film, Çözelti, Optik So rurma, X-ı nları kırınımı, SEM, Özdirenç, Hall Olayı.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF ZINC NITRATE, ZINC ACETATE AND ZINC CHLORIDE PRECURSORS ON INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF ZnO THIN FILMS

KARAKIZ, Mehmet

Kırıkkale University
Graduate School Of Natural and Applied Sciences
Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Saffet NEZ R

January 2008, 64 pages

ZnO thin films were prepared using zinc chloride, zinc acetate and zinc nitrate precursors by spray pyrolysis technique on glass substrates at 550 °C. Structural and optical properties of ZnO films were investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM) and optical transmittance spectra. Regardless of precursors, ZnO thin films are all in hexagonal crystallographic phase and have (002) preferred orientation. SEM images show completely different surface morphologies for each precursor in ZnO thin films. ZnO rod was only observed for zinc chloride precursor. The optical measurements reveal that films have a low transmittance and a direct band gap approximately 3.30 eV, which is very close to band gap of intrinsic ZnO.

Keywords: Zinc Oxide; Microrods; Spray pyrolysis; Transmittance; Hall Effect,

TE EKKÜR

Çalı mam sırasında bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, bana her konuda destek olan ve bilimsel katkılarını çalı mamın her a amasında gösteren de erli hocam Sayın Prof. Dr. Saffet NEZ R'e en içten te ekkürlerimi sunarım.

Numunelerin üretilmesinde her türlü yardımı sa layan ve bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren K.T.Ü Fizik Bölümünden hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Emin BACAKSIZ'a ve ölçümlerin yapılmasında yardımını esirgemeyen Ara . Gör. Murat TOMAK N'e te ekkür ederim.

Ç NDEK LER

ÖZET	
ABSTRACT	
TE EKKÜR	V
Ç NDEK LER	V
Ç ZELGELER D Z N	V
1 G R	1
1.1 YARI LETKENLER	1
1.1.1 Katılarda Band Olu umu ve Band Yapısı	2
1.1.2 Asal (Intrinsic) Yarıiletkenler	4
1.1.3 Katkılı (Impurity) Yarıiletkenler	6
1.1.4 Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik	10
1.2 II-VI GRUP B LE KLER	11
1.2.1 Bile iklerin Do al Yapısı	11
1.2.2 Bile iklerin Örgü konumları	12
1.2.3 Kristal Yapılar	12
1.3 ZNO'NUN GENEL ÖZELL KLER	15
2 MATERYAL VE YÖNTEM	19
2.1 NCE F LM ÜRETME YÖNTEMLER	19
2.1.1 Püskürtme (Spray Pyrolysis) Yöntemi	20
2.1.2 ZnO nce Filmlerin Üretilmesi	20
2.1.3 Püskürtme kabini	22
2.1.4 Isıtıcı ve sıcaklık kontrolü	23
2.1.5 Püskürtme ba lı ı (Spray-Head)	23
2.1.6 Püskürtme basıncı	24
2.1.7 Çözelti akı hızı	24
2.2 X-I İNİ KİRİNİM ANAL Z	24
2.2.1 Bragg Yasası	27
2.3 TEMEL SO URMA	29
2.3.1 Do rudan Band Geçi i	30
2.3.2 Dolaylı Band Geçi i	32
2.3.3 Temel So urma Katsayısı	34
2.4 ELEKTR KSEL ÖZD RENÇ ÖLÇÜMLER	37

2.4.1	iki Nokta Yöntemi ile Özdirenç Ölçümleri.....	37
2.4.2	Dört Nokta Yöntemi ile Özdirenç Ölçümleri.....	38
2.5	HALL OLAYI	39
2.6	TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPU	42
3	ARA TIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	44
3.1	ZnO ince Filmlerin Üretimi	44
3.1.1	Çözeltilerin Hazırlanması	44
3.1.2	Numunelerin Hazırlanması	45
3.2	X-I ışınları Kırınım Analizleri	47
3.2.1	Örgü Sabitleri	49
3.3	Temel Soğurma Analizleri	50
3.3.1	Filmlerin Optik Sabitlerinin Belirlenmesi.....	50
3.3.2	ZnO ince Filmlerin Yasak Enerji Aralıkları	51
3.4	Elektriksel İletkenlik Analizleri	53
3.5	Taşıyıcı Yoğunlukları Analizi	55
3.6	SEM Görüntü Analizleri	57
4	SONUÇ	60
	KAYNAKLAR.....	62

Ç ZELGELER D Z N

Ç ZELGE

1-1 ZnO ince filmin 300 K'deki bazı parametreleri.	17
3-1 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin örgü parametresi.	50
3-2 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin yasak enerji	53
3-3 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin özdirenç.....	54
3-4 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin taşıyıcılığı.....	56

EK LLER D Z N

EK L

1-1 Atomlar arası uzaklı ın fonksiyonu olarak karbon atomunun enerji-band	3
1-2 Asal yarıiletkenlerin T=0 K sıcaklı ında enerji band yapısı.....	5
1-3 Asal yarıiletkenlerin 0 K den itibaren ısıtılırken enerji band yapısı.....	5
1-4 n-tipi bir yarıiletkende elektron alı veri i	7
1-5 n-tipi yarıiletkende enerji band yapısı.	7
1-6 p-tipi yarıiletkende elektron alı veri i	9
1-7 p-tipi yarıiletken enerji band yapısı	9
1-8 Tetrahedral örgü konumları.....	13
1-9 Wurtzite yapısı.....	13
1-10 Çinko-blende yapısı.	14
1-11 ZnO'nun kristal yapısı.	15
2-1 Püskürtme yöntemi deney düzene i	21
2-2 X- ı nı kırınımında gelen ve kırınım u ramı ı nlar.....	27
2-3 Yarıiletkenlerde optik so urma grafi i.....	29
2-4 Bir yarıiletkende do rudan band geçi inin ematik gösterimi.	31
2-5 Bir yarıiletkende dolaylı band geçi inin ematik gösterimi.....	33
2-6 Malzemeye dik gelen fotonun so urulma, geçirilme ve yansıma süreci.....	35
2-7 ki nokta yöntemi özdirenç ölçme devresi.	38
2-8 Dört nokta yöntemiyle özdirenç ölçüm düzene i.....	39
2-9 Hall olayı geometrisi.....	40
2-10 Jeol JSM 5600 marka Taramalı Elektron Mikroskobu.	42
3-1 Rigaku D/Max-IIIC marka X-1 nı difraktometresi.....	47
3-2 ZnO ince filmlerin X-1 nı kırınım desenleri.....	48
3-3 Filmlerin optik geçirgenli inin dalga boyuna göre de i im grafi i.....	51
3-4 Farklı çözeltiler kullanılarak üretilen ZnO filmler için $(\alpha h\nu)^2$ nin $(h\nu)$ 'ye göre de i im grafi i.....	52
3-5 Özdirenç ölçümü için kullanılan devrenin ematik gösterimi.....	54
3-6 Hall voltajı ölçümü için yapılan tasarlanan deneysel düzenek.	55
3-7 $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ çözeltisi ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı	57
3-8 $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı	58
3-9 $ZnCl_2$ çözeltisi ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı.....	59

SİMGELER DİZİNİ

- \vec{B} : Manyetik alan
 \vec{E} : Elektrik alan
 E_A : Alıcı enerji düzeyi
 E_{be} : Eksiton bağlanma enerjisi
 E_D : Verici enerji düzeyi
 E_G : Bant aralığı enerjisi
 \vec{E}_H : Hall elektrik alanı
 $f(\varepsilon)$: Fermi fonksiyonu
 g : Elektron yoğunluk hızı
 $g(\varepsilon)$: Durum yoğunluk fonksiyonu
 h : Planck sabiti
 \vec{j} : akım yoğunluğu
 \vec{k} : Dalga vektörü
 k_B : Boltzman sabiti
 \vec{k}_e : Elektron dalga vektörü
 \vec{k}_h : Değerlik dalga vektörü
 m_e : Elektron etkin kütlesi
 m_h : Değerlik etkin kütlesi
 n : Elektron yoğunluğu
 n_0 : Dengedeki elektron yoğunluğu
 N_A : Birim hacim başına alıcı yoğunluğu
 N_C : İletim bandındaki birim hacim başına durumların etkin sayısı
 N_D : Birim hacim başına verici yoğunluğu
 n_i : Özden elektron yoğunluğu
 N_V : Değerlik bandındaki birim hacim başına durumların etkin sayısı
 p : Değerlik yoğunluğu
 p_0 : Dengedeki değerlik yoğunluğu
 p_i : Özden değerlik yoğunluğu
 R_H : Hall sabiti
 v_e : Elektronun hızı

v_h	: De i in hızı
σ	: Elektriksel iletkenlik
ν	: Frekans
ϵ	: Kristalin dielektrik katsayısı
α	: So urma katsayısı
τ	: Ta ıyıcı ömrü
$\epsilon(k)$: Enerji da ılımı
$\mu(T)$: Kimyasal potansiyel
ϵ_0	: Bo lu un dielektrik katsayısı
σ_0	: Karanlık iletkenlik
μ_e	: Elektron hareketlili i
τ_e	: Elektron sürüklenme zamanı
ϵ_e	: Elektronun enerjisi
ϵ_F	: Fermi enerji düzeyi
ϵ_h	: Deli in enerjisi
τ_h	: Deli in sürüklenme zamanı
μ_h	: De ik hareketlili i

1 G R

1.1 Yarıiletkenler

Oda da bulunan maddeler, elektriksel özellikleri bakımından dört ana gruba ayrılırlar: yalıtkanlar, yarıiletkenler, iletkenler ve süperiletkenler. Bu, ço u kez atomla ba lı olmayan fakat tüm kristal içinde hareket edebilen elektronların varlı mın göstergesidir. Iletken olan katılar iki ana sınıfa ayrılırlar, metaller ve yarıiletkenler. Metallerin oda sıcaklı ı özdirenci, tipik olarak 10^{-6} - 10^{-8} m aralı ında olup küçük miktarlarda safsızlıkların katılmasıyla genel olarak artar. Özdirenç, normal olarak sıcaklık dü tükçe monoton bir ekilde azalır. Saf yarıiletkenlerin oda sıcaklı ındaki özdirençleri, metallerinkinden çok daha büyüktür ve yarıiletken maddelere küçük miktarlarda safsızlıklar katılarak metallerinkine do ru çok büyük ölçüde azaltılabilirler. Özdirenç, sıcaklıkla daima monoton olarak de i mez. Yarıiletkenler, çok dü ük sıcaklıklarda yalıtkan olma e ilimi gösterirler.⁽⁶⁾

Yarıiletken malzemelerde elektriksel iletim, hem elektron ve hem de de ikler tarafından sa lanır. Yarıiletken maddelerin enerji bandlarının yapıları yalıtkan maddelere benzemesine ra men aralarında önemli bir fark vardır. Yarıiletkenlerin elektronlarla tamamen dolu olan de erlik bandı ve bo olan iletkenlik bandı arasında kalan “yasak enerji aralı ı”, yalıtkanlara göre daha küçüktür. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenli i sıcaklık arttıkça artar. Fakat, mutlak sıfırda ($T = 0$ K), elektriksel özellik bakımından tıpkı bir yalıtkan gibi davranırlar.

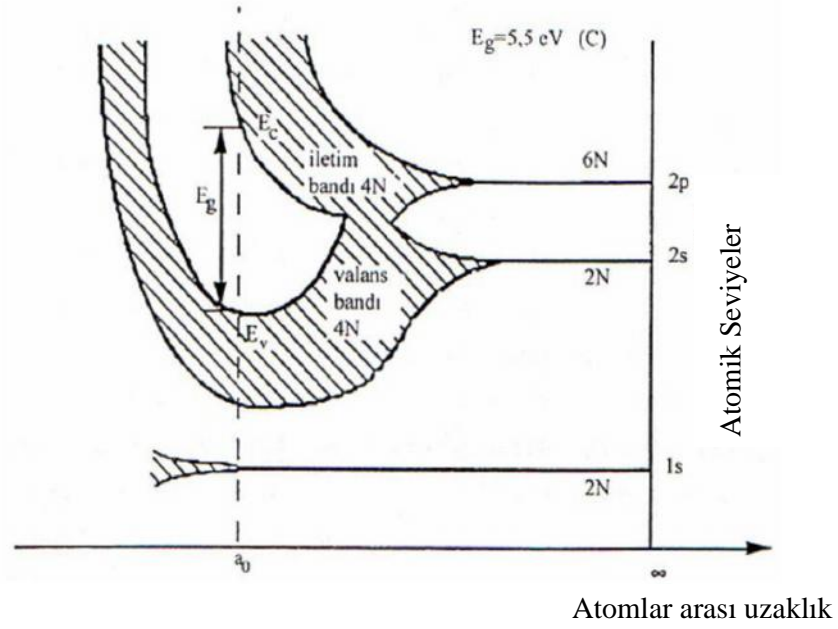
Yasak enerji aralı mın de eri sınıflandırmada önemli rol oynar. Örne in bu de er 5 eV'tan küçük ise yarıiletken, 5 eV'tan büyük ise yalıtkan dır. Oda

sıcaklı ındaki yarıiletkenlerin özdirenci 10^{-3} - 10^9 cm, civarında yalıtkanların ise 10^{14} - 10^{22} cm mertebesindedir.⁽⁴⁾

Günümüzde özellikleri en iyi bilinen ve en çok kullanılan yarıiletkenler IV. grup elementleri olan Ge ve Si elementleridir. Yarıiletkenlerin di er önemli bir bölümünü de III-V bile ikleri (GaAs, InSb, GaP, InAs,...) olu turur. Bu bile ikler, periyodik tablonun üçüncü ve be inci grup elementlerinin bile ik olu turacak ekilde bir araya gelmesiyle olu urlar. Böyle elementler, kübik yapıda kristallenir ve ba yapısı ço unlukla kovalenttir. Yarıiletken özellik gösteren di er bir grup ise II-VI bile ikleridir (CdZnS, ZnS, ZnO, CdS, CdSe,...). Bu bile ikler genellikle iyonik veya kovalent ba lı olup hem kübik hem de hegzagonal yapıda kristallenirler.⁽¹⁾

1.1.1 Katılarda Band Olu umu ve Band Yapısı

Bir atomda elektronlar, kuantum ko ullarına uygun kesikli seviyelerde ve bu seviyelerde de Pauli lkesine uygun olarak dizilirler. Örne in, karbon atomu için elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^2$ eklindedir. En dı yörüngesinde 2 elektron s seviyesinde, 2 tanesi de p seviyesinde olan 4 elektronu bulunmaktadır. Serbest haldeki atomlar, kristal yapıyı olu tururlarken kar ılıklı ba lanma enerjileri etkili hale gelir. Bu durumda enerji düzeyleri yarılmalara u rayarak enerji bandlarını olu tururlar. Bu enerji düzeyleri arasındaki fark çok küçük oldu u için (10^{-19} eV) sürekli band gibi görünür. Örne in karbon atomunun atomlar arası mesafeye göre enerji band yapısı ekil 1-1'de gösterildi i gibidir.⁽⁷⁾



ekil 1-1 Atomlar arası uzaklık a_0 in fonksiyonu olarak karbon atomunun enerji-band diyagramı.

Kristalde bulunan elektronlar, bu enerji bandlarında hareket edebilirler. Kristalin örgü noktalarında bulunan atomların sahip oldukları potansiyel alanları, serbest elektronların ya da de iklerin hareketini belirler. E er kristal yapıda herhangi bir düzensizlik mevcutsa elektronlar ya da de iklerin hareketi bundan etkilenecektir. Kristal içerisinde meydana gelen bu düzensizliklere kristal kusurları denir. Kristal kusurları yarıiletkenin elektriksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.

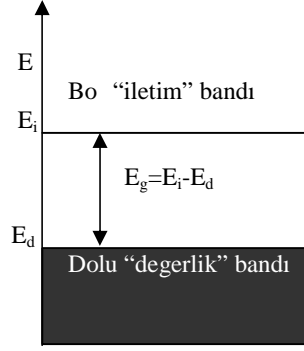
Elektronların dalga fonksiyonlarının kuvvetli etkile meleri sonucu dı yörüngelere ait enerji bandları, iç yörüngelerdeki enerji bandlarından daha geni tir. Çünkü, iç yörüngelerdeki elektronlar, kom u atomlardan daha az etkilenmektedirler. Yarılmadan sonra dı bandlar üst üste binebilir. Genellikle dı bandlarda kuantum durumları ya bo ya da kısmen doludur. Bandlar olu tuktan sonra bandlar arasında

elektron geçi leri, Pauli dı arlama ilkesine göre ba lar ve istatistiksel denge kuruluncaya kadar devam eder. Böylece alt bandlar st banddaki elektronlarla doldurulur. Dolu banda “de erlik bandı” adı verilir. Üstteki bo banda ise “iletim bandı” adı verilir. Iletim bandı ile de erlik bandı arasındaki enerji aralı ı, yasak enerji aralı ı (E_g) adını alır. Enerjilerinin kuantumlu olması nedeniyle elektronlar, bu iki band arasında bulunamazlar

1.1.2 Asal (Intrinsic) Yarıiletkenler

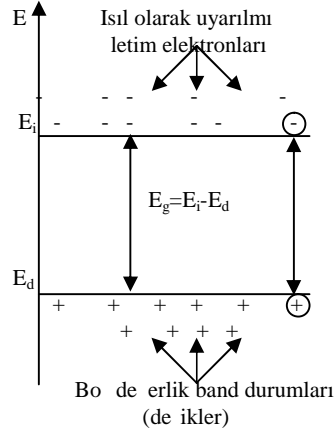
erisinde önemli oranda kimyasal ve kristalografik kusurlar içermeyen maddelere “asal (intrinsic) yarıiletken” denir. Kimyasal bakımdan saf germanyum (Ge), silisyum (Si), selenyum (Se)...gibi elementler ile galyum arsenik (GaAs), indiyum arsenik (InAs), indiyum antimon (InSb), silisyum karbit (SiC) gibi bile ikler ise asal yarıiletken olarak bilinirler.

Bir yarıiletkende, ekil 1-2 de gösterildi i gibi mutlak sıcaklıkta ($T=0$ K), elektronik durumları tamamen dolu olan bir de erlik bandı ile bu bandtan yasak enerji aralı ı kadar yukarıda tamamen bo olan bir iletim bandı vardır. $T=0$ K’de yarıiletkenin bütün elektronları de erlik bandında bulundu u için elektriksel iletim gözlenmez ve bu sıcaklıkta yarıiletken mkemmел bir yalıtkan gibi davranır.



ekil 1-2 Asal yarıiletkenlerin $T=0$ K sıcaklığında enerji band yapısı.

Sıcaklık $T=0$ K'den itibaren yükseltirse, en az yasak enerji aralığı kadar ısıtılabilir enerji kazanan elektronlar değerlik bandından iletim bandına geçerler (ekil 1-3).



ekil 1-3 Asal yarıiletkenlerin $T=0$ K'den itibaren ısıtılırken enerji band yapısı.

Değerlik bandından iletim bandına geçen elektronlar, geride deşik adı verilen boşluklar bırakırlar. Deşikler değerlik bandında boş kuantum durumları meydana getirirler. Değerlik bandındaki bu boş kuantum durumları, değerlik bandındaki başka elektronlar tarafından doldurulurlar ve bu elektronlar geldikleri yerlerde yeni deşikler oluştururlar. Yani deşikler ile elektronlar yer değiştirirler. Böylece değerlik bandı içinde deşikler hareket etmeye başlarlar. Bu durum devam ettikçe değerlik bandındaki deşikler ve iletim bandındaki elektronlar serbest taşıyıcı gibi hareket

ederek iletme katkıda bulunurlar. Böylece elektriksel iletkenli e hem elektronlar hem de de ikler katkıda bulunmu olurlar. (7)

1.1.3 Katkılı (Impurity) Yarıiletkenler

Yarıiletkenlerde katılanma i lemi, uygun atomların yarıiletken içine çe itli tekniklerle katılanmasıyla yapılır. Bu katılama, yarıiletkenin elektriksel özelliklerinde önemli ölçüde de i iklikler meydana getirir. Madde içerisine giren yabancı atom, maddenin do al enerji yapısını bozar ve madde içerisinde kendine özgü enerji düzeyleri olu turur. stenilen özellikte yarıiletken elde etmek için, yarıiletken içerisinde belirli oranda safsızlık atomları kullanılır. Buna göre yarıiletken içine giren atom ortama elektron vererek (verici veya donör) iyonla ır ve iletkenli e katkıda bulunursa “n-tipi yarıiletken”; yarıiletken içine giren atom, içinde bulundu u ortamdan elektron alarak (alıcı veya akseptör) iyonla ır ve iletkenli e bu eilde katkıda bulunursa “p-tipi yarıiletken” olarak adlandırılır.

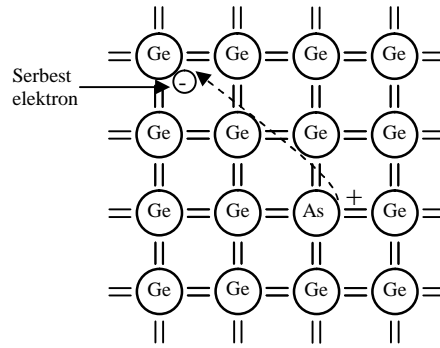
1.1.3.1 n-tipi yarıiletkenler

n-tipi yarıiletkenin ço unluk ta ıyıcıları (n_n) elektronlar, azınlık ta ıyıcıları (p_n) de iklerdir. Bu durumda yarıiletken, donör atomlarıyla katılanmı tır. Örne in IV. grup elementlerinden Ge kristaline V. grup elementlerinden biri (P, As, Sb, ...) katılanarak n-tipi Ge yarıiletkeni elde edilir. (9)

Katılama atomu olarak kullanılan V. grup elementlerinin son yörüngelerinde 5 de erlik elektronu vardır. Ge kristalinin V. grup elementlerinden As ile katılandı nı göz önüne alalım. Arsenik atomunun 5 elektronundan 4’ü kom usu oldu u germanyum atomlarının elektronları ile kovalent ba ların kurulması için

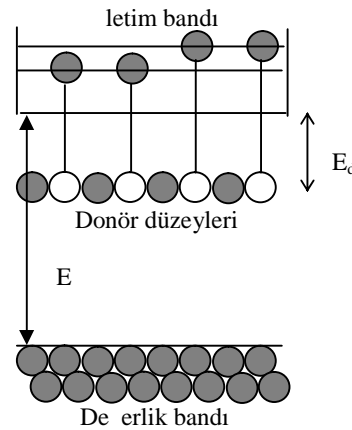
kullanılırken, geriye kalan be inci elektron atoma di erlerinden çok daha zayıf ba lanması nedeniyle kolaylıkla iletkenlik bandına çıkabilecek durumdadır. Ba ka bir deyi le, ortamda safsızlık elektronuna ait enerji düzeyleri o maddeye özgü iletim bandının (E_c) daha da altında yer almaktadır.

ekil 1-4'de saf germanyum kristal örgüsünün içine arsenik (As) atomunun girmesi gösterilmi tir.



ekil 1-4 n-tipi bir yarıiletkende elektron alı veri i.

Donör düzeylerinin mutlak sıfırdan daha yüksek sıcaklıklarda ($T > 0$ K) yasak band içindeki konumları da ekil 1-5'de gösterilmi tir.



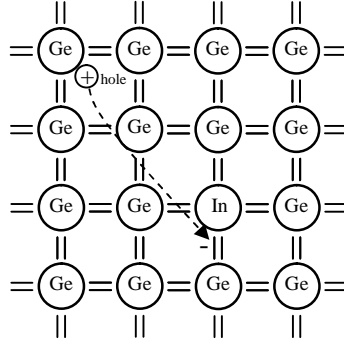
ekil 1-5 n-tipi yarıiletkende enerji band yapısı.

Germanyum kristaline arsenik atomu katıldı ında, donör enerji düzeyi ile germanyumun iletkenlik bandının dipi arasındaki enerji aralı ı $E_d \approx 0,01$ eV'luk çok küçük bir de erde olur. Donör düzeyinde bulunan elektronlar herhangi bir yolla kazandıkları ek bir enerji sonucu, bu çok küçük enerji barajını kolaylıkla geçerek iletkenlik bandına çıkabilirler. Bu elektronların geride bıraktıkları boşlukları, dura an haldeki arsenik atomlarına ba lı bulunmaları nedeniyle elektriksel iletkenli e herhangi bir katkıları yoktur. Elektriksel iletkenlik, ortamdaki elektronların hareketi sonucu ortaya çıktı ı için bu tür yarıiletkenlere n-tipi yarıiletkenler denir.⁽³⁾

1.1.3.2 p- tipi yarıiletkenler

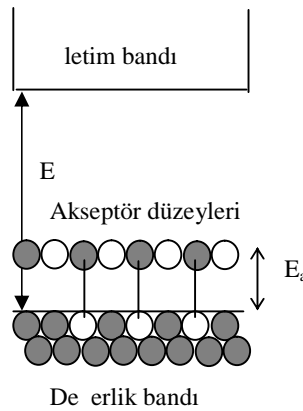
p-tipi yarıiletkenlerde ço unluk yük ta ıyıcıları de ikler (p_p), azınlık ta ıyıcıları ise elektronlardır (n_p). Bu durumda yarıiletken, akseptör atomları ile katkılanmı tır. Örne in; germanyum elementinin akseptör olarak periyodik tablonun III. grup elementlerinden (B, Ga, Al, In, ...) biri ile katkılanması sonucu p-tipi yarıiletken olu ur.

Katkılama atomu olarak kullanılan III. grup elementlerin son yörüngelerinde 3 de erlik elektronu vardır. Ge kristalinin III. grup elementlerinden Indiyum (In) ile katkılandı nı göz önüne alalım. Germanyum atomu Indiyum atomu ile kovalent ba yapar, ancak bu ba lanma için bir elektron eksikli i vardır. Bunu di er bir Ge-Ge ba ından bir elektron çekerek giderir. Burada In atomu akseptördür. Germanyum atomundan elektron çekilmesiyle, geride elektron boşluğu kalacaktır. Bu boşluklar, germanyumdaki elektronlar tarafından ekil 1-6'da gösterildi i gibi doldurulacaktır.



ekil 1-6 p-tipi yarıiletkende elektron alı veri i.

Böylece kristal içinde elektronların hareketine zıt yönde, pozitif yüklü boşlukların hareketi sonucu bir akım oluşur. Bu durumda, kristal örgüye ait karakteristik enerji bandında, serbest elektron boşluklarına karşı gelen enerji düzeyleri, değerlik bandının (E_v) biraz üzerinde ve ondan ekil 1-7’de gösterilen E_a kadar uzaklıkta yer almaktadır. Mutlak sıfır sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda ($T > 0$ K), $E_a \approx 0,01$ eV’de erindedir ve bu düzeylere “akseptör düzeyleri” denir. Pozitif yüklü elektron boşluklarının ortamdaki hareketleri, ortamın elektriksel niteliği üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Bu yüzden bu tip yarıiletkenler “p-tipi yarıiletkenler” olarak adlandırılırlar.⁽⁹⁾



ekil 1-7 p-tipi yarıiletken enerji band yapısı

1.1.4 Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik

Ta ıyıcıların elektrik ve manyetik alanlardaki hareket denklemleri sırasıyla elektronlar için

$$m_e \left(\frac{d\vec{v}_e}{dt} + \frac{\vec{v}_e}{\tau_e} \right) = -e\vec{E} - e\vec{v}_e \times \vec{B} \quad 1-1$$

ve de ikler için de

$$m_h \left(\frac{d\vec{v}_h}{dt} + \frac{\vec{v}_h}{\tau_h} \right) = +e\vec{E} + e\vec{v}_h \times \vec{B} \quad 1-2$$

olarak yazılır.

Sadece bir do ru akım elektrik alanı bulundu unda Denklem 1-1 ve Denklem 1-2'nin çözümleri,

$$\vec{v}_e = -\frac{e\tau_e}{m_e} \vec{E} = -\mu_e \vec{E} \quad 1-3$$

$$\vec{v}_h = \frac{e\tau_h}{m_h} \vec{E} = \mu_h \vec{E} \quad 1-4$$

olur. Burada \vec{v}_e ve \vec{v}_h elektron ve de iklerin sürüklenme hızlarıdır. Burada elektron ve de iklerin hareketlilikleri

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e} \text{ ve } \mu_h = \frac{e\tau_h}{m_h} \quad 1-5$$

ifadeleriyle verilmektedir. Elektron ve de ik katkılarının toplanmasıyla elde edilen elektrik akım yo unlu u,

$$\vec{j} = -ne\vec{v}_e + pe\vec{v}_h = \left(\frac{ne^2\tau_e}{m_e} + \frac{pe^2\tau_h}{m_h} \right) \vec{E} \quad 1-6$$
$$\vec{j} = (ne\mu_e + pe\mu_h) \vec{E} = \sigma \vec{E}$$

dir. Bu ba ntı, elektriksel iletkenli i

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \quad 1-7$$

eklinde verildi i Ohm yasasının vektörel eklidir. Elektron ve de ik hareketlilikleri ço unlukla kar ıla tırılabilir olduklarından, ba ıl ta ıyıcı yo unlukları, elektronların ve de iklerin iletkenli e yaptıkları ba ıl katkıları belirlerler. Özden yarıiletken olan sıcaklık bölgesinde, bu iki katkı, ço unlukla birbirine yakın olup, katkılı yarıiletken olan sıcaklık bölgesinde ise normal olarak ço unluk ta ıyıcıları hakimdir.⁽⁴⁾

1.2 II-VI Grup Bile ikleri

1.2.1 Bile iklerin Do al Yapısı ⁽³⁰⁾

1950'li yılların ba larında yarıiletken teknolojisindeki büyüme, silisyum ve germanyumun sınırlı kullanım alanlarını ortaya çıkardı. Bu sınırlama, daha çok bu element türü yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının büyüklü ü ve karakteri açısından sahip oldu u dezavantajlardan kaynaklanıyordu. Yasak enerji aralı nın geni letilmesi ile ilgili ilk çalı malar III-V grubu bile iklerinde yapılmı tır. Bunlar arasında InSb ve GaAs, sırasıyla küçük ve büyük enerji aralı na kar ılık gelen, yarıiletken bile ikler olarak gösterilebilirler. III-V grubu bile iklerindeki bu geli melere paralel olarak II-VI grubu bile iklerinde de sistematik çalı malar yapılmı tır. Bu çalı maların sonuçları, daha çok II-VI bile iklerinin genel do ası ve oda sıcaklı nda geni bant aralı na sahip malzemelerin kimyasal kararlı lı hakkında bilgiler verdi. Do rudan enerji aralı nın (direct energy gap), II-VI bile iklerinin genel bir karakteri oldu u anla ılmaktadır. HgTe'in yarı-metalik, CdS ve CdSe'in yüksek fotoiletkenlik ve ZnS'in ise güçlü bir lüminesans özellik göstermeleri, II-VI grubu bile iklerinin çe itli alanlarda yararlı olabileceklerini göstermektedir.

II-VI grubu bile iklerinin bazıları iki tür kristal yapısından birini tercih ederler. Bu kristal yapıları çinko blende (kübik örgülü) ve wurtzite yapılarıdır. Bu yapıların her ikisi de tetrahedral örgü konumları ile karakterize edilirler.

1.2.2 Bile iklerin Örgü konumları

II. ve IV. Grup elementlerin bir araya gelmeleri, ortalama olarak atom başına dört değerlik elektronunun ortaya çıkmasına neden olurlar. Burada atomlar arasında, elektron transferinden ziyade, “elektron paylaşımı” ile elektronun olduğu tetrahedral örgü konumlarının” oluşumuna yol açılır. AB bileşiğindeki her bir A atomu, simetrik olarak dört tane en yakın B atomu tarafından çevrelenmiştir. Bu durumun oluşması için B atomları bir tetrahedron (dört-yüzlü)’ün köşelerine, A atomu ise bu dört yüzünün geometrik merkezine konulmalıdır. A ve B konumları, bunların dörtlü bağlanma durumu dikkate alındığında, birbirine eşittir. Bu dörtlü konumların birleşimi, ilgilendiğimiz bileşiklerle ilişkili olan, olası iki biçim ortaya çıkarır.

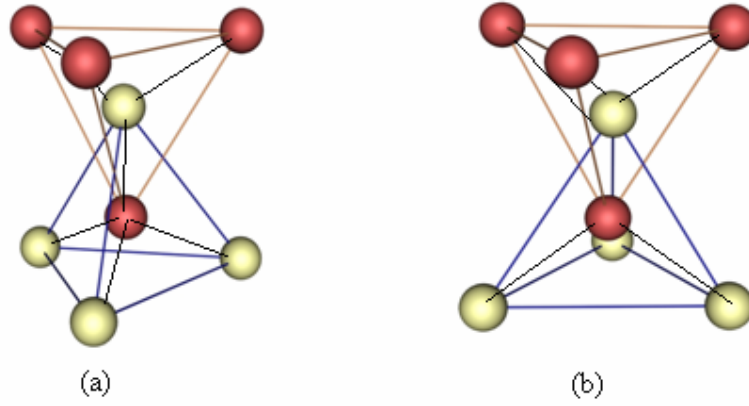
Şekil 1-8 (a), iç içe giren iki tane dört-yüzlünün taban üçgenlerinin birbirine paralel ve düz olarak aynı hizada oldukları andaki durumu göstermektedir. Şekil 1-8 (b) ise taban üçgenlerinin yine paralel fakat dikey çizgiye göre 60° dönmüş hali göstermektedir.⁽¹²⁾

1.2.3 Kristal Yapılar

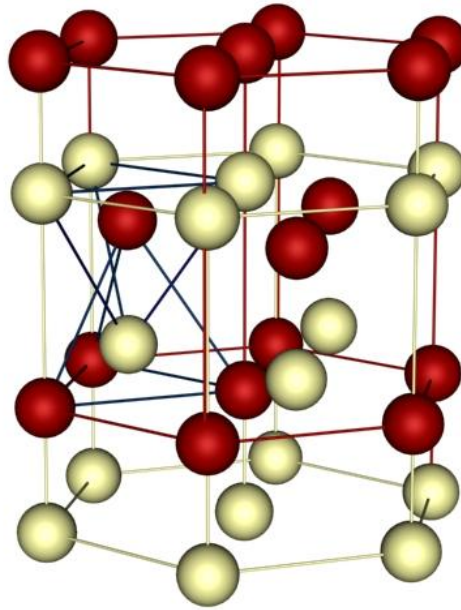
Dörtlü örgü konumlarının bu iki tür birleşimi, wurtzite ve çinko-blende gibi iki tane kristal yapıya yol açar.

(a) **Wurtzite:** Hekzagonal kristal sınıfında olan wurtzite yapısı, Şekil 1-8 (a)’da görülen tetrahedral konumların birleşimine sahiptir. Bu yapı, Şekil 1-9’da

görüldü ü gibi, c eksenı boyunca $(3/8)c$ mesafesi kadar birbirinden ayrılmı iç içe geçmi iki tane hekzagonal örgüyü içerir. deal tetrahedral konumlara sahip wurzite yapısında en yakın kom u mesafesi $(3/8)c$ veya $(\sqrt{3}/8)a$ dır; bu da c/a oranı için $\sqrt{(8/3)}=1.632$ de erini verir. BeO, ZnO, ZnS, CdS, ZnSe, CdSe ve MgTe gibi malzemelerin tümünün wurzite yapıda kristalle tikleri gözlenmi tir.⁽³⁰⁾



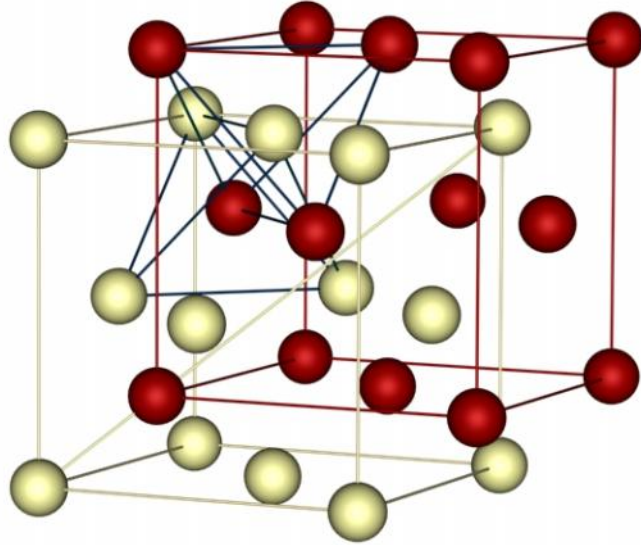
ekil 1-8 Tetrahedral örgü konumları.



ekil 1-9 Wurtzite yapısı.

(b) Çinko-blende: Kübik kristal sınıfında olan çinko-blende yapısı, ekil 1-8 (b)'de görüldü ü gibi, tetrahedral konumların bile imine sahiptir. Bu yapı, elmas yapısından türetilmi olup, ekil 1-10'da görüldü ü gibi, hacim kö egeni boyunca, hacim kö egeninin ¼'ü kadar ötelenerek iç içe geçmi olan iki tane sıkı-paket kübik örgünün bile iminden olu mu tur. Bu durumda en yakın kom u mesafesi $\sqrt{3}a/4$ 'tür. Berilyum, çinko, kadmiyum ve civanın sülfürleri, selenürleri ve tellürlerinin tümü çinko-blende yapısında kristalle mi lerdir.

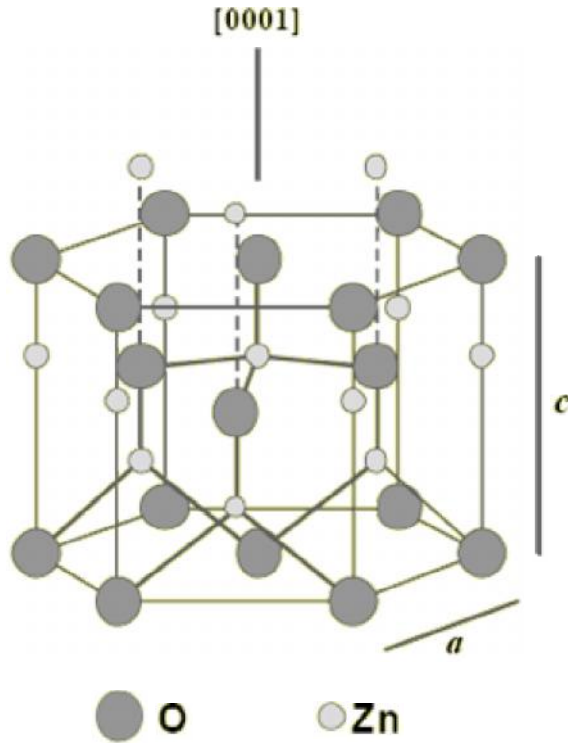
Bu iki yapı, çinko-blende'nin [111] üç-katlı ekseni ve wurtzite yapının [001] altı-katlı ekseni cinsinden kar ıla tırılabilir. Çinko-blende'deki iç içe geçmi iki dört-yüzlü, [111] ekseni etrafında döndürülürse, yapı, wurtzite yapısına dönü ür ve simetri ekseni [001] ekseni olur. Bir bile i i olu turan iki cins atomun elektronegativite farklarının kar ıla tırılması, atomik elektronegativite farkları büyüdükçe, wurtzite yapının daha uygun oldu unu göstermektedir.⁽⁴⁾



ekil 1-10 Çinko-blende yapısı.

1.3 ZnO'nun Genel Özellikleri ⁽¹²⁾

Optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı metal oksit yarıiletken filmler son yıllarda yoğun bir şekilde çalışılmakta ve oldukça ilgi çekmektedir. Çinko oksit, doğada "mineral zinkit" olarak bulunur. ZnO bileşiği, ekil 1-11'de gösterildiği gibi hekzagonal yapıda kristalle mektedir ve örgü sabitleri $a=3,24982 \text{ \AA}$, $c=5,20661 \text{ \AA}$ dur. ZnO birim hücreninin hekzagonal yapısında her Zn atomu, birinci kabukta dört O atomu ve ikinci kabukta on iki Zn atomu ile çevrilmiştir. II-IV bileşiklerinin çoğu ya kübik, ya "zinc blende" ya da "hekzagonal wurtzite" yapısına sahiptir. ZnO bileşiği de II-IV grubuna ait bir yarıiletkendir. Sınırdaki iyonizitesi, kovalent ve iyonik yarıiletkenler arasındadır.



ekil 1-11 ZnO'nun kristal yapısı.

ZnO, yüksek elektriksel iletkenli e sahiptir ve oda sıcaklı ında yakla ık 3,3 eV' luk direkt band geçi li yasak enerji aralı ı bulunur. Yakla ık 60 meV' luk geni band aralı na sahip ZnO yarıiletken ince filmler, elektronik ve optik aygıtlar için uygun malzemelerdir. Geni band aralı na sahip bir materyal kullanılarak üretilen aygıtlar, yüksek kırılma voltajına ve dü ük gürültüye sahip olurlar. Ayrıca bu aygıtlar yüksek sıcaklıklarda ve yüksek güçlerde çalış ırılabilirler.

Yarıiletkendeki elektron geçi performansları, dü ük ve yüksek elektrik alanda farklılıklar gösterir. Dü ük elektriksel alanda, ZnO'in sahip oldu u elektronların enerji da ılımı, fazla de i ime u ramaz. Çünkü, elektronlar uygulanan elektrik alandan fazla enerji alamazlar. Bu nedenle elektron mobiliteleri sabit olacaktır. Saçılma oranı, elektron mobilitesi ile belirlendi inden, fazla de i ime u ramayacaktır. Yüksek elektrik alanda, uygulanan elektrik alandan dolayı elektronların enerjileri kendi termal enerjileriyle kar ıla tırılabilir. Elektron da ılım fonksiyonu dengede sahip oldu u de erden daha uzak bir de ere do ru sapacaktır. Bu elektronlar, örgü sıcaklı ından daha yüksek sıcaklı a sahip sıcak elektronlar olmaktadır. Elektron sürüklenme hızları, kararlı durumda sahip oldukları sürüklenme hızından büyüktür. Bu nedenle yüksek frekansa sahip aygıtlar yapmak olasıdır.

ZnO, ferroelektrik olmayan bir bile iktir ve oldukça büyük bir elektro mekanik çiftlenim katsayısına sahiptir. Bundan dolayı ZnO delay line cihazları ve yüzey akustik dalga cihazları (SAW) için bir transdüser olarak kullanılan ve iyi bilinen bir piezoelektrik malzemedir.

Çinkonun do ada bol miktarda bulunması ve ucuz bir malzeme olu u çinko oksit ince filmlerin maliyetini dü ürmektedir. Çinko oksit filmlerin görünür ık

bölgesinde saydam olu u nedeniyle saydam iletken malzeme olarak çok büyük ilgi görmektedir. ZnO bile i i görünür bölgede yaklaşık %80-%90 optik geçirgenli e ve $10^{-3} - 10^{+2}$ cm bölgesinde bir elektriksel dirence sahiptir.

Çizelge 1-1 de ZnO ince film için çe itli parametrelerin aldıkları de erler gösterilmektedir. (10)

Çizelge 1-1 ZnO ince filmin 300 K'deki bazı parametreleri.

Özellik	De er
	a ₀ 0,32495 nm b ₀ 0,52069 nm a ₀ /b ₀ 1,602 (hekzagonal yapı için normalde 1,633)
Yo unluk	5,606 g/cm ³
Erime Noktası	1975 °C
Termal iletkenlik	0,6 – 1,2 W/cm-K
Statik Dielektrik Sabiti	8,656
Kırılma ndisi	2,37
Enerji Band Aralı ı	3,3 eV
Özdirenç	$10^{-1} - 10^{-4}$ cm
Kristal Yapı	Wurtzite

ZnO ince filmler kendi do alarından dolayı n-tipi yapıya sahiplerdir. n-tipi iletkenlik, stokiyometriden sapmadan dolayı olu ur. Araya sıkı mı oksijen ve çinko eksiklikleri, olası akseptör düzeyleri yaratabilmesine kar ılık, serbest yük ta ıyıcılar, oksijen bo lukları ve interstitiyal çinko ile ba lantılı olarak donör düzeylerden kaynaklanır. Katkılanmamı ZnO filmler, kararsız elektriksel özelliklere sahiptirler. P-tipi ZnO ince film elde etmek için n-tipi ZnO ince filmleri katkılanmak gerekir. P-tipi ZnO ince filmler, elektriksel aygıtlar için yapılan uygulamalar açısından oldukça önem ta imaktadırlar. Güvenilir bir p-tipi ZnO ince filmin üretilmesi ZnO optoelektronik aygıtların geli imini oldukça hızlandıracaktır.

Amfoterik bir bileşik olan çinko oksit organik ve inorganik asitlerle reaksiyona girer. Çinko oksit, amonyak çözeltisi içerisinde de çözünerek çinko asetat oluşturur. Beyaz renkli olan çinko oksit, 300 °C sıcaklıkta sarı renge döner

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 İnce Film Üretim Yöntemleri

ZnO yarıiletken filmleri diğer metal oksit filmlerine göre mükemmel elektro-optik özellik göstermesi nedeniyle son yıllarda önemi gittikçe artmaktadır ve farklı teknikler kullanılarak üretilmektedirler. Bu tekniklerden herhangi bir tanesinin seçiminde daha saf film oluşturma, daha geniş yüzey kaplama, polikristal veya heterokristal oluşturma, maliyetini daha da düşürmek gibi fiziksel, kimyasal, teknolojik ve ekonomik nedenler rol oynamaktadır. ⁽³²⁾

İnce filmler, genellikle ara tırma laboratuvarlarında ve endüstriyel çalışmalarda, buharla tırma ve çözelti yöntemiyle hazırlanırlar. Elde edilmek istenen filmin malzemesi, taban uyumu, taban büyüklüğü ve şekli, sıcaklık bağımlılığı ve daha sonraki çalışma ortamı film üretim yöntemini belirler. Saydam, iletken ince filmlerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan ve verimli sonuçlar alınan yöntemler şunlardır: ⁽³²⁾

- Termal oksidasyon (Thermal oxidation)
- Elektron demeti ile buharla tırma (Electron beam evaporation)
- Aktive edilmiş buharla tırma (Activated reactive evaporation)
- Püskürtme yöntemi (Spray pyrolysis)
- Metal organik buhar birikimi (Metal organic chemical vapour deposition)
- Kimyasal banyo birikimi (Chemical bath deposition)
- Radyo frekansı magnetron saçılım (R.F. Magnetron sputtering)
- Elektrokimyasal büyüme (Electrochemical deposition).

2.1.1 Püskürtme (Spray Pyrolysis) Yöntemi

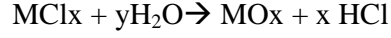
Bu yöntem, elde edilecek filmler için hazırlanan sulu çözeltilerin karıştırılıp, sıcak tabanlar üzerine hava veya azot gazı yardımıyla atomize edilerek püskürtülmesi esasına dayanır. Bu yöntemle elde edilen filmlerin kalitesi, diğer yöntemlerle (vakumda buharla tırma, sputtering v.b.) elde edilenlere göre daha düşüktür. Fakat püskürtme yönteminin ekonomik, basit, film büyüme hızının yüksek olması ve kolaylıkla katkı yapılabimesi gibi avantajları vardır. Taban sıcaklığı, püskürtme hızı ve zamanı, taban ile püskürtücü arasındaki mesafe, püskürtücü tarafından püskürtülen çözelti damlacıklarının aerodinamiği gibi parametreler, elde edilen filmlerin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.⁽³²⁾

Püskürtme yöntemi ilk kez 1950 yılında Mochel tarafından uygulanmıştır. Bu yöntem, yıllardır saydam iletken oksit filmlerin ve son yıllarda da üçlü, dörtlü, beşli yarıiletken filmlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.2 ZnO Filmlerin Üretimi

ZnO filmlerin elde edilmesinde püskürtme yöntemi için kullanılan deney düzeneği Şekil 2-1'de gösterilmiştir. Püskürtme yönteminde, istenilen sıcaklık kadar ısıtılan taban üzerine hazırlanan kimyasal çözeltinin, hava veya azot gazı kullanılarak atomize edilmesiyle ince damlacıklar halinde yüzeye püskürtülmesi sağlanır. Püskürtme işlemi yapılırken, sıcaklığın sabit tutulması için ayarlanabilen güç kaynağı kullanılır.

Bu yöntem, metal kloridin



reaksiyonuna göre, ısıtılmış bir taban üzerinde metal hidrolizine dayanır. Bu reaksiyonda M, oksit filmlerin Al, In, Zn, Sn vs gibi herhangi bir metal kaynağıdır. Püskürtme yönteminde uygulanan sıcaklık, 200-650 °C arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle 300 °C'nin altındaki taban sıcaklıklarında elde edilen filmler amorf özellik gösterirken, daha yüksek taban sıcaklıklarında polikristal filmler elde edilmiştir.⁽¹⁵⁾

Bu yöntemle elde edilen yarıiletken filmin kalitesi, püskürtme yapısı, damlacıkların boyutları, püskürtme oranı, kimyasal çözeltinin bileşimi, gaz ve çözeltinin akış hızı, püskürtme başlığı ile taban arasındaki mesafe, tabanın cinsi ve sıcaklığı vs. gibi parametrelere bağlıdır.

2.1.3 Püskürtme kabini

Püskürtme kabini, 2 cm kalınlığında sunta ile yapılmış ve çelik bir masa üzerine sabitlenmiş, ön yüzünde camlı penceresi bulunan 80x80x80 cm³ ebatında bir kabindir. Kabinin içi, sıcaklık kaybını önlemek için alüminyum folyo ile kaplıdır. Üst kısmında; kabinin içinin aydınlanmasını sağlayan bir lamba, püskürtme başlığı, çözeltiyi ve havayı taşıyan hortumlar, alt kısmında ise atık gazların dışarı atılmasını sağlayan aspiratör ve lavabo bulunur. Yan tarafında ise sıcaklık kontrolü yapılmasını sağlayan güç kaynağı, termoçift girişi yerleri ve istenmeyen damlacıkların yüzeye ulaşmasını engellemek için kullanılan sürgülü bir kap vardır.

2.1.4 Isıtıcı ve sıcaklık kontrolü

Isıtıcı eleman olarak gaz beton bloklar tarafından muhafaza edilen direnç teli ve 5 kW'lık ayarlanabilen bir güç kaynağı kullanıldı. Sıcaklığı ölçmek ve sıcaklık değişiminin gözlemlenmesi için için Eskord EDM-1341 model multimetre ile bir adet termopilet kullanıldı. Sıcaklık ölçümü sırasında 0 °C referans sıcaklığı, civa ve buzlu sudan oluşan bir sistemle sağlandı.

Objektträger marka mikroskop camlarından kesilerek hazırlanmış, püskürtmenin yapılacağı cam altlıklar (substrate), ayarlanabilir akım kaynağı ile ısıtılan ocağın üstünde bulunan ve ısı iletimini sağlayan 15x15x1 cm³ ebatındaki bakır bir blok üzerine yerleştirildi.⁽²⁸⁾

2.1.5 Püskürtme başlığı (Spray-Head)

Püskürtme işleminde, taşıyıcı gaz olarak basınçlı hava kullanılır. Basınçlı hava, çözeltinin püskürtme başlığının ucunda atomize olmasını sağlar. Püskürtme başlığı olarak, paslanmaz çelikten yapılmış Lechler Ultrasonik Atomizer US1 marka püskürtme başlığı kullanıldı.

Püskürtme başlığının, püskürtme yapılacak tabana olan uzaklığı yaklaşık 30 cm'dir. Bu uzaklıkta püskürtme başlığında bulunan çözelti, basınçlı hava yardımıyla atomize edilerek püskürtüldü. Çözeltinin akışı, girdaplı ve konik bir şekildedir. Damlacıklar, püskürtme başlığının ağzından ilk çıkışta yoğun halde bulunur ve hızları çok düşüktür. Kontrol ünitesi yardımıyla akışa lanarak girdap oluşturulur ve akmakta olan çözeltiye kesme kuvvetleri uygulanır. Böylece atomize damlacıklar oluşur. Damlacıklar tabana yaklaştıkça daha geniş bir koni görünümü

alırlar. Püskürtme sırasında akı konisinin geni lemesi, püskürtücünün ucunda olu an çözelti tortularından ve a ınmadan kaynaklanmaktadır. Koni geni ledikçe daha çok hızlanan atomize damlacıklar, geni bir yüzeye da ılmakta ve sıcak tabana ula tıkları anda parçalara ayrılmaktadırlar.

2.1.6 Püskürtme basıncı

Elde edilecek filmlerin kaliteli olması için basınç de erlerinin iyi belirlenmesi gerekir. Basıncı 0,2 Bar olan hava yardımı ile çözelti, atomize edilerek püskürtülmektedir. Bir kompresör yardımıyla hava basıncı ve miktarı manometrelerden kontrol edilerek istenilen de erde sabit tutulur.

2.1.7 Çözelti akı hızı

Elde edilecek olan filmlerin kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de çözeltinin akı hızıdır. Çözelti akı hızını ayarlamak ve istenilen de erde tutabilmek için ekil 2-1 deki gibi akı hızı göstergesi kullanılmaktadır. Deneme yanılma yolu en uygun akı hızı yaklaşık 4 ml/dak. olarak belirlendi.⁽³⁴⁾

2.2 X-I ını Kırınım Analizi ⁽⁴⁾

Atomlar veya atom gruplarının üç boyutlu uzayda belirli bir simetri düzeni içerisinde periyodik olarak tekrarlanmasına kristal yapı adı verilir. Kristal katıların yapısı hakkındaki bilgiler, numunenin dı görününün makroskopik veya mikroskopik olarak incelenmesinden elde edilir. Bununla birlikte görünür ık kullanılarak kristal yapı hakkında bilgiler elde edemeyiz. Çünkü görünür ıkın dalga

boyu, kristalin atom ve molekülleri arasındaki bo luklarla kıyaslandı nda oldukça büyüktür. Dalga boylarının kristal yapı içindeki bo luklarla aynı boyutta olması kristal hakkında bilgi elde etmeyi kolayla tırmaktadır. Bir malzemenin atomik yapısını görüntülemek, yüksek çözünürlü e sahip çe itli elektron mikroskopları kullanılarak mümkündür. Fakat bilinmeyen yapıları belirlemek veya yapısal parametreleri tayin etmek için kırınım spektrumlarını kullanmak gerekir. Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekni i, X-1 ını kırınımıdır.

X-1 ınları 1895'te Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından ke fedilmi ve bu tarihte sahip oldu u özellikler bilinmedi i için bu elektromagnetik dalgalara "X-1 ınları" denilmi tir.

X-I ınlarının dalgaboyları görünür ı ıktan yaklaşık 10000 kez küçük olup $0,1 \text{ \AA}$ ile 100 \AA arasında bulunmaktadır. Frekansları ise $3 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ ile $3 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ arasında olup yüksek enerjileri nedeniyle yüksek giri im özelli ine sahiptirler. X-1 ınları, normal ı ıкта gözlenen kırınım, giri im, kutuplanma gibi dalga özelliklerinin yanı sıra gazları iyonla tırma, buldukları ortamda fotoelektrik olay olu turma gibi ı ı n tanecik olma özelliklerini de gösterir.

Kristal yapının varlı ı ve kristal yapı içerisindeki atomların dizili leri, X-1 ını kırınım spektrumlarını kullanılarak, ilk kez 1912 yılında Max von Laue tarafından incelenmi tir. X-1 ınlarının dalga boyları atomik boyutla kıyaslanabilecek kadar küçüktür. Dalga boyları X-1 ının dalga boyu kadar küçük olan nötronlar veya elektronlar kullanılarak da kristalin yapısı hakkında bilgi elde edinilebilir.

X-1 ınlarının kristalde kırınımına u raması için belirli geometrik artların gerçekleşmesi gerekmektedir. X-1 ınları bir kristal üzerine dü ürlükleri zaman

kristaldeki atomlara ait elektronları aynı frekansta titre meye zorlarlar. Böylece, kristaldeki elektronlar, her yönde aynı dalga boyunda ı nım yayınlarlar. Kristaldeki her atomun bütün elektronları, X-ı nlarının saçılmasına katkıda bulunurlar ve küresel dalga ekinde aynı faz ile aynı frekansta ı ıma yaparlar. Aynı frekansta ı ıma yapan bu örgü noktalarındaki atomlar birer kaynak gibi davranırlar. Bu ı ımalar, bazı yönlerde birbirlerini kuvvetlendirirken bazı yönlerde ise zayıflatırlar. Yani, bu ı ımalar yapıcı ve yıkıcı giri im yaparlar. Giri im ile kuvvetlenmi ı nlar, foto raf filmi üzerinde spektrum olu tururlar.

X-ı nı kırınımı ile filmlerin kalınlık, kimyasal bile im, amorflik, tek kristal ya da polikristalite durum, kristal yapı bozuklukları, kristal içerisinde bulunabilecek katkı atomları, kristalografik yönelim, örgü parametreleri, tane boyutu ve benzeri pek çok özellik incelenebilmektedir.

Malzeme içerisindeki kimyasal bile enlerin cinsi ve bu bile enlerin malzeme içerisinde hangi fazda oldukları X-ı nı kırınım desenleri ile incelenebilir.

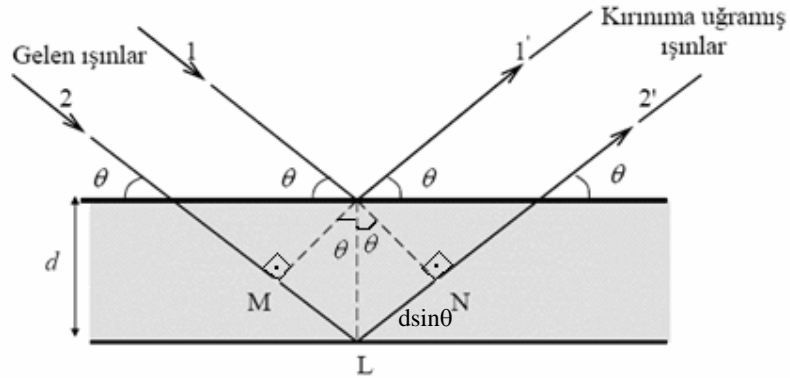
JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kartları kullanılarak, bile enin malzeme içerisindeki miktarı hakkında da bilgi edinilebilir. XRD analiz sonucunda, kullanılan malzeme zarar görmez.

Malzemenin kristalle mesi hakkında bilgi edinmek için spektrum üzerindeki piklerin iddetine ve yarı-piklerin geni liklerine bakmak gerekir. Malzemenin kristalle mesi iyi ise, XRD spektrumu (kırınım deseni), iddeti minimum olan bir zeminde (background), yarı-pik geni likleri dar olan yüksek iddetli piklere sahip olur. Zemin iddeti yüksek, yarı-pik geni likleri geni ve pik iddetleri dü ük ise

kristalle mesinin kötü oldu u söylenebilir. Kırınım deseninde zemin iddetinin yüksek olması dü ük iddete sahip pikleri görüntülenemeyecek hale getirir.

2.2.1 Bragg Yasası ⁽¹⁴⁾

X-1 ınları kırınım deneyi ilk kez Bragg tarafından yapılmı tır. nce bir X-1 ınları demeti ekil 2-2'de gösterildi i gibi, bir kristal örgü düzlemi üzerine, düzlemle bir θ açısı yapacak biçimde dü ürlüdü ünde, Huygens lkesi gere i, kristaldeki atomların her biri, üzerlerine gelen dalga hareketi için yeni birer dalga merkezi görevi görürüler. Böyle bir durumda, ekil 2-2'de görüldü ü gibi, sayfa düzleminde yer alan ve gelme açısına e it açılarla yansıyan 1 ınların, aynı fazda olmalarından birbirlerini destekledikleri gözlenir. Bu olaya, “Bragg Yansıması” denir. Birbirine paralel, ardı ık örgü düzlemlerinin üzerinde yansıyan 1 ınların birbirlerini desteklemesi, aralarındaki yol farkının X-1 ınlarının dalga boylarının tam katlarına e it olması durumunda mümkündür.



ekil 2-2 X-1 ını kırınımında gelen ve kırınım uğramış ışınlar.

Ardı ık iki örgü düzlemi üzerine, bu düzlemlerle θ açısı yapacak ekilde kırınımın u rayan (1') ve (2') ı nları arasındaki yol farkı, kristal örgü sabiti d olmak üzere, kristal düzlemlere gelen iki ı nın birbirlerini destekleme artı,

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad 2-1$$

biçimde yazılır. Burada n , ($n=1, 2, 3, \dots$) kırınım mertebesini, λ ise bu mertebeye ba lı olarak belirli θ açıları altında yansıyan X-ı nlarının dalgaboyunu göstermektedir. θ ve λ 'nın bilinmesiyle, kristal örgü sabiti d kolaylıkla bulunabilir. Kristal kırınım örgüsünde, belirli bir λ , d ve n de erlerine kar ı gelen, belirli ve bir tek θ de eri vardır.

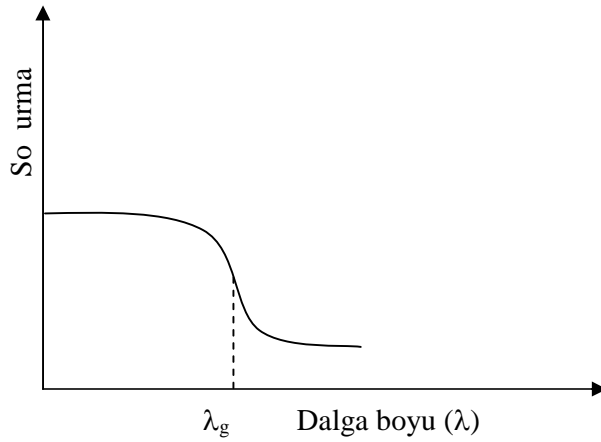
X-ı nı kırınım verileri üç de i ik metot kullanılarak belirlenebilir ve bu kırınım yöntemlerinin çalı ma prensipleri Bragg yasasına dayanmaktadır. Bu yöntemler arasındaki farklılıklar, kullanılan numune ve ı ndan kaynaklanır. Bu yöntemler; Laue, dönel kristal ve toz kırınımı yöntemidir. Laue yönteminde, de i en dalgaboylu X-ı nları kullanılarak tek kristal numuneler ölçülür. Bu yöntemde Bragg açısı θ sabit tutulur. Dönel kristal yönteminde ise, yine tek kristal numuneler ancak sabit dalgaboylu X-ı nları kullanılarak Bragg açısı θ için de i en de erler elde edilir. Toz yönteminde ise, tek dalgaboylu X-ı nları ile polikristal veya toz haline getirilmi numuneler kullanılır. Bu yöntemde de Bragg açısı θ de i kendir. Dolayısıyla polikristal yapıdaki malzemelerin incelenmesinde kullanılan tek yöntem toz kırınım yöntemidir. Buna göre kırınım desenleri, X-ı nlarının iddetine ve de i en açılara ba lı olarak elde edilir. Elde edilen piklerin açı de erlerine göre, d mesafesi hesaplanır ve kristal yapı belirlenir.

2.3 Temel So urma

Bir kristal düzlemine gelen elektromanyetik dalganın kristalde bulunan elektriksel yüklerle etkilemesi sonucu enerji kaybına uğraması “so urma” olarak adlandırılır. Yarıiletken bir numunenin band aralığını belirlemek için en yaygın şekilde kullanılan yöntem optik so urma yöntemidir. So urma i leminde enerjisi belli bir foton, bir elektronu düşük bir enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. Kalınlığı x olan bir numune üzerine gelen I_0 şiddetindeki bir ışın ile numuneyi geçen ışının şiddeti I arasında,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad 2-2$$

bağıntısı vardır. Burada μ , atomlara ait çizgisel so urma katsayısı, x ise X-ışınlarının kristal içerisinde aldığı yolu göstermektedir.⁽¹¹⁾



ekil 2-3 Yarıiletkenlerde optik so urma grafiği

ekil 2-3'de yarıiletkenlerde gelen ışının dalgaboyuna karşı so urma grafiği gösterilmiştir. Burada λ_g , gelen ışının so urulabilmesi için gerekli dalgaboyu

sınırdır. Bu dalgaboyundan daha büyük dalgaboylarında yani daha düşük enerjili ışıklarda yarıiletken soğurma yapamaz.⁽¹²⁾

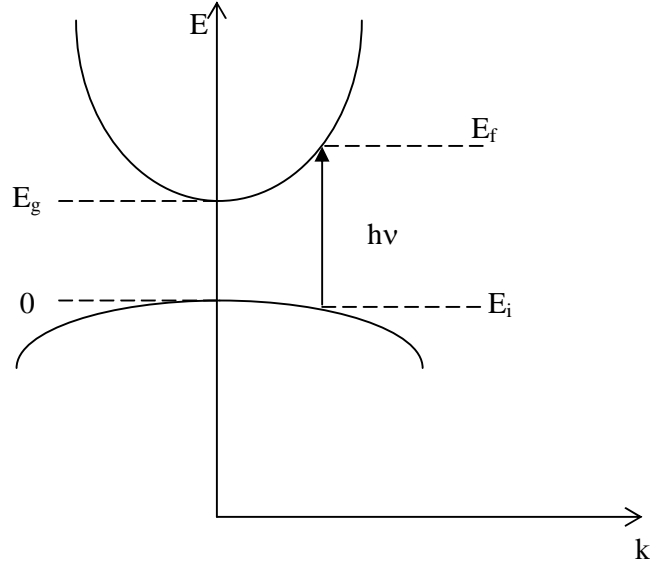
Gelen ışığın dalgaboyu, λ_g de erine ulaştığında, yarıiletkenin soğurması keskin bir şekilde artar ve soğurma belli bir de ere ulaştıktan sonra o de erde sabit kalır. λ_g de erinden düşük dalgaboylarında yani gittikçe artan enerjili ışıklarda soğurma artmaz ve sabit kalır. Çünkü bu de erden sonra soğurmanın artması için gelen foton sayısının artması gerekir. Enerji artı ışık, foton sayısını arttıramayacağı için soğurma sabit kalır. Yasak enerji aralığı E_g olan bir yarıiletkene, enerjisi E_g 'ye eşit veya daha yüksek enerjili bir ışığın geldiğinde ($h\nu > E_g$) yarıiletkenin soğurması

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_g} \quad 2-3$$

şekliyle ifade edilir. Burada λ , fotonun dalgaboyunu; E_g , yarıiletkenin yasak enerji aralığını; h , Planck sabitini; c , ışık hızını ifade etmektedir. Yarıiletken malzeme λ_g dalgaboyundan küçük dalgaboylarında kuvvetli bir soğurucu, büyük dalgaboylarında hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Bu iki bölgeyi ayıran sınır temel soğurma sınırı olarak adlandırılır.⁽¹¹⁾

2.3.1 Doğrudan Band Geçi

Yarıiletkenlerde doğrudan band geçi, yarıiletkenin de erlik bandının tepesi ile iletim bandının dibini aynı \vec{k} (dalga vektörü) de erinde ($\Delta\vec{k} = 0$) ise meydana gelir. Bu durumda de erlik bandındaki elektron, \vec{k} de erinde de iklilik olmadan bir foton soğurur ve aldığı enerjiyle iletim bandına atlar. Şekil 2-4'de de erlik bandından iletim bandına olan doğrudan band geçi görülmektedir.



ekil 2-4 Bir yarıiletkende do rudan band geçi inin ematik gösterimi.

Burada E_i , yarıiletkende ilk durum enerji seviyesini; E_f , yarıiletkende son durum enerji seviyesini göstermektedir. E_i ile E_f arasındaki ba ntı ise,

$$E_f = hv - E_i \quad 2-4$$

ile verilmektedir.

Parabolik bandlarda,

$$E_f - E_g = \frac{\eta^2 k^2}{2m_e^*} \quad 2-5$$

$$E_i = \frac{\eta^2 k^2}{2m_h^*} \quad 2-6$$

ile verilir. Burada m_e^* elektronun etkin kütesini ve m_h^* ise de i in etkin kütesini göstermektedir. Denklem 2-5 ve Denklem 2-6'yı Denklem 2-4'te yerine yazarsak,

$$h\nu - E_g = \frac{\eta^2 k^2}{2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad 2-7$$

ba ntısı elde edilir. Do rudan geçi lerde eksiton olu umu veya elektron-de ik etkile imi dikkate alınmazsa so urma katsayısı α , gelen fotonun enerjisine,

$$\alpha(h\nu) = A^* (h\nu - E_g)^n \quad 2-8$$

ifadesiyle ba lı olur. Burada A^* sabiti,

$$A^* \approx \frac{q^2 \left(2 \frac{m_h^* m_e^*}{m_h^* + m_e^*} \right)^{3/2}}{nch^2 m_e^*} \quad 2-9$$

ba ntısı ile verilir. Do rudan band geçi inde α ile $h\nu$ arasındaki ba ntı,

$$\alpha h\nu \approx (h\nu - E_g)^n \quad 2-10$$

ile verilir. Burada n , 1/2 (izinli geçi) veya 3/2 (yasaklı geçi) de erlerini alabilen bir sabittir. Ayrıca Denklem 2-10'da $\alpha h\nu$ 'yü sıfır yapan de er yarıiletkenin yasak enerji aralı nı vermektedir. ⁽¹¹⁾

2.3.2 Dolaylı Band Geçi i

Yarıiletkenin iletim bandının tabanı ile de erlik bandının tepesi, enerji-momentum uzayında aynı \vec{k} de erine kar ılıklı gelmiyorlarsa ($\Delta\vec{k} = 0$), dolaylı band geçi i meydana gelir. Dolaylı geçi lerde enerji korunur fakat momentum korunumu için bir fononun salınımı veya so urması gereklidir.

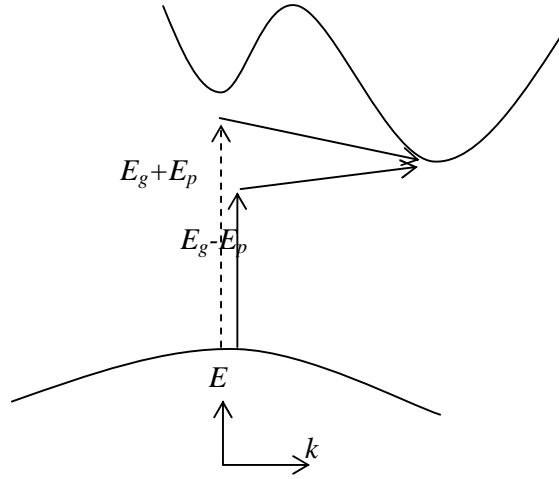
Bu iki geçi ,

$$h\nu = E_f - E_i + E_p \text{ (Fononun salınımı durumunda)} \quad 2-11$$

$$h\nu = E_f - E_i - E_p \text{ (Fononun so urması durumunda)} \quad 2-12$$

ile verilir. Burada E_p , fonon enerjisidir.

ekil 2-5'te de erlik bandından iletim bandına olan dolaylı band geçi i görülmektedir



ekil 2-5 Bir yarıiletkende dolaylı band geçi inin tematik gösterimi.

Fonon so urnalı geçi için so urma katsayısı,

$$h\nu = E_f - E_i - E_p > (E_g - E_p) \text{ için,}$$

$$\alpha_a(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g + E_p)^n}{\exp(E_p/kT) - 1} \quad 2-13$$

ile verilir. Fonon salınımlı geçi için so urma katsayısı ise $h\nu > (E_g + E_p)$ için,

$$\alpha_a(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g - E_p)^n}{1 - \exp(E_p/kT)} \quad 2-14$$

ile verilir. Hem fonon salınımı hem de fonon so urması oldu u zaman

α ile ν arasındaki ba ıntı,

$$\alpha_a(h\nu) \approx \frac{A(h\nu - E_g + E_p)^n}{\exp(E_p/kT) - 1} + \frac{A(h\nu - E_g - E_p)^n}{1 - \exp(E_p/kT)} \quad 2-15$$

ile verilir. Burada n , dolaylı band geçi li bir yarıiletken için 2 (izinli geçi) veya 3 (yasaklı geçi) de erlerini alabilen bir sabiti göstermektedir.⁽¹¹⁾

2.3.3 Temel So urma Katsayısı

Üzerine optik ı ın gönderilen madde bir yarıiletken ise fotonlar malzeme ile etkile erek so urma, kırılma, yansıma ve geçirme gibi bir çok optik olaylar meydana gelir. Malzeme üzerine gönderilen fotonun enerjisi elektronu iletim bandına çıkaramayacak kadar azsa, malzeme fotonu so uramaz ve malzeme foton için saydam davranır. Bu olaya ı ını geçirme yani transmitans “geçirgenlik” denir ve T ile gösterilir. Malzemenin so urma katsayısı,

$$\alpha = \frac{2,303 \log(1/T)}{d} \quad 2-16$$

e itli i ile verilir. Bir fotonun so urulması veya geçirilmesi fotonun enerjisine, yarıiletkenin yasak enerji aralı ına ve atomların veya moleköl gruplarının dizili ine ba lıdır. Geçirgenlik; numuneyi geçen ı ının iddetinin numuneye gelen ı ının iddetine oranı olarak tanımlanır ve

$$T = (I/I_0) \quad 2-17$$

e itli i ile verilir. Geçirgenlik ve so urma arasındaki ili ki ise

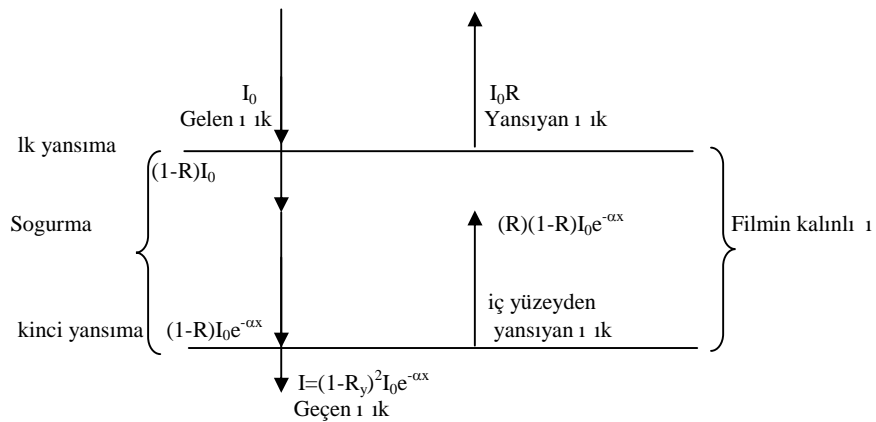
$$A = -\log T \quad 2-18$$

e itli i ile verilir. Numunenin so urma deseninden

$$T = 10^{-A} \quad 2-19$$

e itli i ile geçirgenli i bulunabilir ve dalga boyuna kar ı grafi i çizilebilir.

Malzeme ile fotonun bir etkile mesi de “yansıma” dır (reflektans). Yansıma, malzeme yüzeyinden yansıyan ı mın iddetinin, malzeme yüzeyine gelen ı mın iddetine oranı olarak tanımlanır ve R_y ile gösterilir. Malzeme yüzeyi düz ve gelen fotonların enerjisi yasak enerji aralı ndan dü ükse gelen fotonların bir kısmı yüzeyden yansıtılır. Malzeme üzerine gönderilen ı mın, so urulma, geçirilme ve yansıtılma süreci ekil 2-6 da gösterilmi tir.



ekil 2-6 Malzemeye Dik gelen fotonun so urulma, geçirilme ve yansıma süreci

ekil 2-6'dan da görüldü ü gibi malzemeyi geçen ı mın iddeti

$$I = (1 - R_y)^2 I_0 e^{-\alpha x} \quad 2-20$$

gösterilmiştir. Geçirgenlik, so urma ve yansımaya katsayısı arasındaki ba ıntı ise

$$T = (1 - R_y)^2 e^{-A} \quad 2-21$$

e itli i ile verilir. Denklem 2-21'den faydalanılarak,

$$R_y = 1 - \sqrt{10^{-A} e^A} \quad 2-22$$

e itli i elde edilir. Bu denklem bize so urma ölçümünden faydalanılarak yansımaya katsayısının bulunması olana ını verir. So urma katsayısının, yansımaya katsayısı R_y ve geçirgenlik katsayısı T' ye ba ımlılı ı ise

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \left\{ \frac{(1 - R_y)^2}{2T} + \left[\frac{(1 - R_y)^4}{4T^2} + R_y^2 \right]^{1/2} \right\} \quad 2-23$$

e itli i verilir.

I ının malzeme ile etkile me olaylarından birisi de kırılmadır. Kırılma, ı ının malzemeye dik gelmedi i durumlarda malzemenin içine girer veya daha genel anlamda ı ının ortam de i tirirken yön de i tirmesidir. Yarıiletken bir malzeme için kompleks kırılma indisi (n')

$$n' = n - ik \quad 2-24$$

e itli i ile verilir. Burada n kırılma indisinin gerçel kısmı olup,

$$n = \frac{1 + R_y}{1 - R_y} + \sqrt{\frac{4R_y}{(1 - R)^2} - k^2} \quad 2-25$$

e itli i ifade edilir ve buna sönüm katsayısı denir.⁽⁵⁾

Malzemenin kırılma indisi dalga boyunun bir fonksiyonudur. Yüksek kırılma indisine sahip malzemeler daha fazla yansıtma özelli ine sahiptirler. Atom numarası arttı nda elektron sayısı da artaca ndan ve kutupla ma ço alaca ndan fotonlar daha fazla etkilenir ve daha fazla kırılmaya u rarlar.

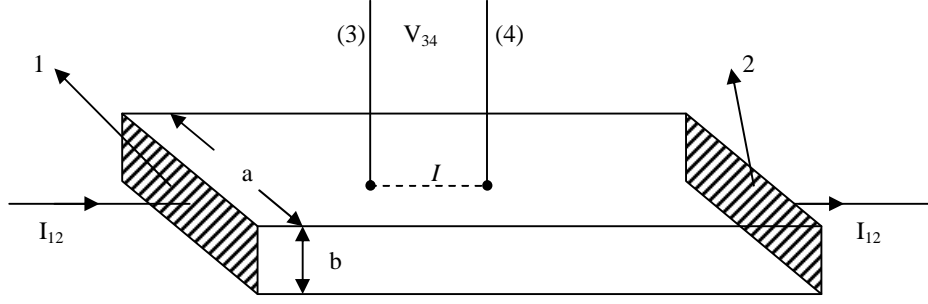
2.4 Elektriksel Özdirenç Ölçümleri

Yarıiletken malzemelerin özdirenç ölçümleri için yaygın olarak iki nokta yöntemi, dört nokta yöntemi ve Wan der Pauw yöntemi kullanılmaktadır. Malzemedan akım geçerken, belirli bir bölgesinde elektriksel potansiyel farkı ölçümleri, bu metotların temelini olu turur. ki nokta ölçüm yöntemi için malzemenin ekli tam belirli olmalıdır. Dört nokta ve Wan der Pauw yöntemlerinde ise kullanılan malzemelerin ekli serbest olabilir.

2.4.1 ki Nokta Yöntemi ile Özdirenç Ölçümleri

ki nokta yöntemi kullanılan numuneler düzgün dikdörtgen ekle ve sabit kesit alana sahip olmalıdırlar. Numunenin kar ılıklı kenar yüzeylerinde, akım için kullanılan (1) ve (2) no'lu omik kontaklar bulunmaktadır (ekil 2-7).

Potansiyel fark ölçümleri (V_{34}) için, akım tellerinin ucuna, küçük alanlı, birbirinden l kadar uzaklıkta (3) ve (4) no'lu omik kontaklar yapılmaktadır.



ekil 2-7 ki nokta yöntemi özdirenç ölçme devresi.

Homojen olan numunede özdirençini de eri

$$\rho = \frac{S V_{34}}{l I_{12}} \quad 2-26$$

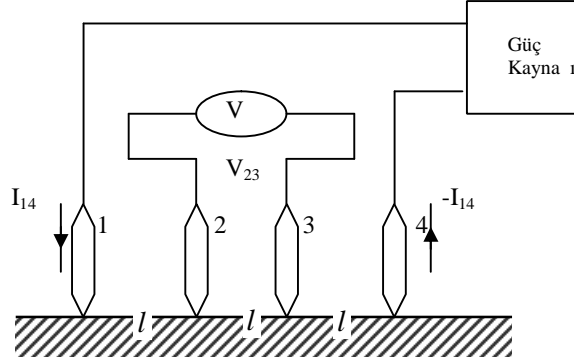
ba ntısı ile verilir.

Burada I_{12} , (1) ve (2) kontaklarından geçen sabit akım, V_{34} , (3) ve (4) kontakları arası olu an gerilim, $S=ab$, akımın yönüne dik olan örne in kesit alanı, l ise, (3) ve (4) gerilim uçları arası uzaklıktır.

Özdirenç ölçümlerinde, kontakların direncinin etkisini ortadan kaldırmak için, yüksek iç dirençli ($R > 10^8$ Ohm) voltmetreler kullanılmaktadır.

2.4.2 Dört Nokta Yöntemi ile Özdirenç Ölçümleri

Dört nokta yöntemi, yarıiletkenlerin özdirenç ölçümlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde numune e klinin düzgünlü üne ve kontakların “tam omik” olmasına gerek bulunmamaktadır. Dört nokta yöntemi kullanmak için, numunenin en az bir yüzeyi düzlemsel olmalı ve bu yüzeyin geometrik boyutu, kontak boyutundan daha büyük olmalıdır. Bu ölçümlerde küçük alanlı dört kontak, numunenin düzlemsel yüzeyinde ekil 2-8’de gösterildi i gibi yerle mektedir.



ekil 2-8 Dört nokta yöntemiyle öz direnç ölçüm düzeneği.

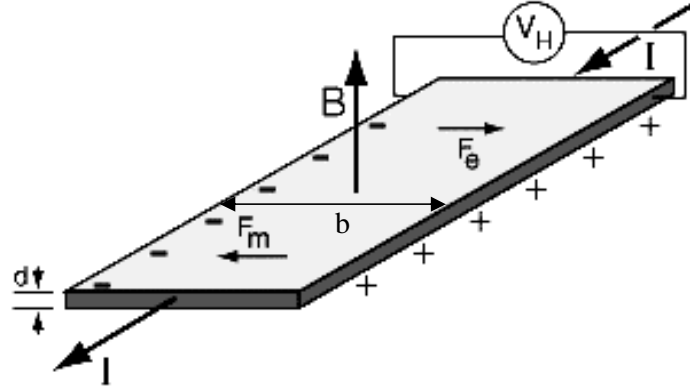
Bir güç kaynağı yardımıyla iki dış (1 ve 4) kontakta küçük bir (μA - mA) akım (I_{14}) geçirilir ve iki iç (2 ve 3) kontak arasındaki potansiyel fark (V_{23}) ölçülür. Birbirinden eşit uzaklıkta (l) olan dört kontak ölçüm düzeneği sistemi kullanıldığında, numunenin öz direnci

$$\rho = 2\pi l \frac{V_{23}}{I_{14}} \quad 2-27$$

formülü ile hesaplanabilir. ⁽⁵⁾

2.5 Hall Olayı

Manyetik alan içindeki bir iletkenin bir elektrik akımı geçirilirse, manyetik alan, hareket eden yük taşıyıcıları üzerine enine bir kuvvet uygular ve onları ekil 2-9'da gösterildiği gibi iletkenin bir tarafına doğru iter.



ekil 2-9 Hall olayı geometrisi.

Hall olayı, en çok ince düz bir iletkende belirgindir. İletkenlerin kenarlarındaki yük artışı, bu manyetik etkiyi dengeler ve iletkenin iki kenarı arasında ölçülebilen bir gerilime neden olur. Bu ölçülebilen gerilimin varlığı ilk kez 1879 yılında E. H. Hall tarafından keşfedildiğinden, Hall olayı olarak adlandırılmaktadır. Hall olayı, farklı yük taşıyıcıları için farklı olan bir iletim olayıdır. Hall gerilimi, pozitif ve negatif yük taşıyıcıları için farklı bir kutupluluğa sahiptir. Hall geriliminin ölçülmesi, yük taşıyıcı yoğunluğunun tayininde önemli bir yöntemdir.

Hall gerilimi,

$$V_H = \frac{IB}{ned} \quad 2-28$$

burada n taşıyıcı yoğunluğu ile verilir. Burada I numuneden geçen akım, B uygulanan manyetik alan, n taşıyıcı yoğunluğu ve d numunenin kalınlığıdır. Akım $I = V/R$ 'dir. numunenin R direnci,

$$R = \frac{l}{\sigma bd} \quad 2-29$$

e itli iyle hesaplanır. Burada l , numunenin boyu; σ , numunenin iletkenli i ve b ise numunenin geni li idir. $I = \frac{V}{R}$ ifadesinde R yerine Denklem 2-29 yazılırsa; akım için

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V\sigma bd}{l} \quad 2-30$$

ba ntısı bulunur. Bu akım ifadesi, Hall gerilimini veren 2-28 e itli inde yerine konulursa 2-31 e itli i elde edilir

$$V_H = \frac{IB}{ned} = \frac{V\sigma bdB}{nedl} = \frac{V\sigma bB}{neI} \quad 2-31$$

Deneysel olarak Hall geriliminin ölçülmesiyle, 2-31 ba ntısından n ta ıyıcı yo unlu u

$$n = \frac{V\sigma bB}{V_H I e} \quad 2-32$$

ba ntısından hesaplanabilir; ⁽¹²⁾Di er yandan numunenin iletkenli i

$$\sigma = ne\mu_H = \frac{\mu_H}{R_H} \quad 2-33$$

ba ntısı ile hesaplanabilir. Burada R_H Hall katsayısıdır ve

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad 2-34$$

olarak tanımlanır ve n-tipi yarıiletkende ($n \gg p$); $R_H = -\frac{1}{ne}$,

p-tipi yarıiletkende $(p \gg n)$; $R_H = +\frac{1}{pe}$ ile verilmektedir.

$$\mu_H = ne$$

2-35

ba ntısı ise Hall mobilitesidir.⁽⁵⁾

2.6 Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron Mikroskobu (SEM), elektron tabancasından çıkan elektron demetini, hedefteki numunenin yüzeyinde küçük bir noktaya çarptırarak numuneden çıkan elektronik sinyalleri toplayan ve çözümleyen bir cihazdır.



ekil 2-10 Jeol JSM 5600 marka Taramalı Elektron Mikroskobu.

Esas olarak, havası boşaltılmış bir tüp içindeki bir elektron tabancasının meydana getirdiği elektronlar, yönlendirilerek tüpün alt kısmına yerleştirilmiştir.

numunenin yüzeyinde küçük bir noktaya çarptırılır. Tarama sargıları, elektron demetinin numune yüzeyinde küçük bir alanı taramasını sağlar. Geri saçılan küçük açılı elektronlar, yüzeydeki girinti-çukurluklarla girişim yaparak, elektrik sinyallerini oluşturan ikincil geri saçılma elektronlarını meydana getirirler. Bu elektronlar ıık mikroskoplarının 300 katı derinliğe sahip (100000 kat büyütmede yaklaşık 10 µm) bir görüntü verirler. Bu tür mikroskopların çoğunda çözünürlük 5 nm civarında olup büyütme 5 ila 100000 kat arasında değişebilmektedir.⁽³⁾

3 ARA TIRMA BULGULARI VE TARTI MA

3.1 ZnO nce Filmlerin Üretilmesi

Bu çalı mada $ZnCl_2$ (çinko klorür), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (çinko asetat) ve $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (çinko nitrat) çözeltileri kullanılarak püskürtme yöntemiyle elde edilen ZnO'nun yapısal, optik ve elektriksel özellikleri incelendi.

3.1.1 Çözeltilerin Hazırlanması

ZnO film elde etmek için Zn kayna ı olarak farklı çözeltiler kullanıldı. Bunun için ilk olarak; molekül a ırlı ı 136,4 gr/mol olan 2,72 gr $ZnCl_2$, deiyonize su içerisine katılarak 0,1 M'lık 200 ml çözelti hazırlandı.

Daha sonra $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ sulu çözeltilisini hazırlamak için molekül a ırlı ı 195,5 gr/mol olan $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ den 3,91 gr alınarak deiyonize su içerisine karı tırılıp 0,1 M'lık 200 ml çözelti hazırlandı.

Son olarak $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ sulu çözeltilisini hazırlamak için ise molekül a ırlı ı 261,5 gr/mol olan $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ tuzundan 5,23 gr alınarak deiyonize su içerisine karı tırılıp 0,1 M'lık 200 ml çözelti hazırlandı.

Di er yandan çözeltilerin hidroksit olu umunu engellemek için, hazırlanan çözeltilere bir iki damla HCl damlatıldı.

3.1.2 Numunelerin Hazırlanması

ZnO filmlerini elde etmek için yaklaşık 10x10 mm ebatında düzgün olarak kesilmiş 1 mm kalınlığındaki Objektrager marka mikroskop camları taban (altlık) olarak kullanıldı. Bu camlar, önce sabunlu saf su ile kaynatıldı ve daha sonra sırasıyla deiyonize su ve yıkama çözeltisi ile yıkandı. Ardından birkaç kez daha deiyonize su ile yıkandılar ve son olarak alkolden geçirilerek temizlendiler. Temizlenen cam tabanlar, daha sonra kullanılmak üzere petri kaplarına yerleştirildi. Her püskürtme işleminden önce, cam tabanların konulduğu bakır blok özenle temizlendi. Bakır blok, Şekil 2-1'de gösterilen yerine yerleştirildikten sonra bir aynanın yardımı ile merkezlendi ve püskürtme başlığı ile sıcak taban arasındaki mesafe 30 cm olarak ayarlandı. Bu ayarlar tamamlandıktan sonra temizlenen camlar, bakır blok üzerine, bloğun yüzey merkezinde olacak şekilde yerleştirildi.

Sıcaklık kontrolü için, cam tabanlardan birinin üzerine demir-konstantan termocuğu yerleştirildi. Termocuğun ucu püskürtme başlığından sıçrayacak çözelti parçacıklarından korumak için ısıya dayanıklı yanmaz teflon band ile kapatıldı. Bu bandın ucuna da mikroskop camı yerleştirildi.

Sürgülü kap püskürtme öncesinde, püskürtme başlığının ucundan çözelti damlacıklarının cam tabanlara düşmesini önlemek için; püskürtme başlığının tam altına gelecek şekilde yerleştirildi. Bu işlemler bittikten sonra püskürtme odasının penceresi kapatılarak sistem üretime hazır hale getirilmiş oldu.

Önceden hazırlanmış olan çözelti, birbirini içerisine geçirilmiş silindirik eklemlerdeki kaplara konuldu. Sıcaklık kontrolü için 0 °C referans sıcaklığı, buzlu su ile sağlandı. Buzlu suyun bulunduğu kabın içine, içi civa dolu iki deney tüpü, deney

tüplerinin içine de termoçiftin referans uçları (bu uçlar civa ile temas edecek şekilde) yerleştirildi. Buradan çıkan basımları kabloları da dijital multimetreye bağlandı.

Üretime başlanabilmesi için önce ısıtıcı devreye alındı ve sıcaklık multimetre yardımıyla kontrol edilmeye başlandı. Cam tabanların sıcaklığı, istenilen sıcaklığa ulaşmaya kadar ısıtım işlemine devam edildi. İlk püskürtme sırasında, püskürtülen çözeltinin sıcaklığı taban sıcaklığından küçük olduğundan tabanda ani sıcaklık düşmesi olmaması için taban sıcaklığı istenilen değerden yaklaşık 30 °C daha yüksek olan bir değere getirildi. Püskürtme süresi, her deney için 10 dakika olarak belirlendi. Bu süre boyunca sıcaklık, ayarlanabilir bir akım kaynağı yardımı ile sabit tutulmaya çalışıldı.

İstenilen sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra hava basıncı ayarı yapıldı. Ardından çözelti çıkışı anahtarı açılıp flow-metreden çözelti akış hızı ayarı yapıldı. Daha sonra püskürtme başlığının altındaki sürgülü kap çekilerek püskürtme işlemine başlandı. Bu işlem süresince atık gazların dökülmesi için aspiratör çalıştırıldı.

Püskürtme işlemi boyunca, çözelti akış hızı, taban sıcaklığı ve 0 °C referans sıcaklığı sürekli olarak kontrol edildi. Bu işlem bittikten sonra çözelti püskürtme işlemine son verilip, ısıtıcı yavaş yavaş devre dışı bırakıldı. Sonra, sürgülü kap püskürtme başlığının altına getirilip basınçlı hava kapatıldı. Bu şekilde elde edilen filmler soğumaya bırakıldı. Soğuma sırasında da atık gazların dökülmesi için aspiratör bir süre daha çalıştırıldı. Son olarak, püskürtme anında çözeltinin aktığı hortumda ve püskürtme başlığında kalan çözelti damlacıkları, sistemden deiyonize su geçirilerek temizlendi. Bu su, sürgülü kap içindeki bir beherde toplandı. Soğuma

ilemi bittikten sonra elde edilen filmlerden homojen görünümlü olanlar seçilip, ölçüm işlemleri yapıldı.

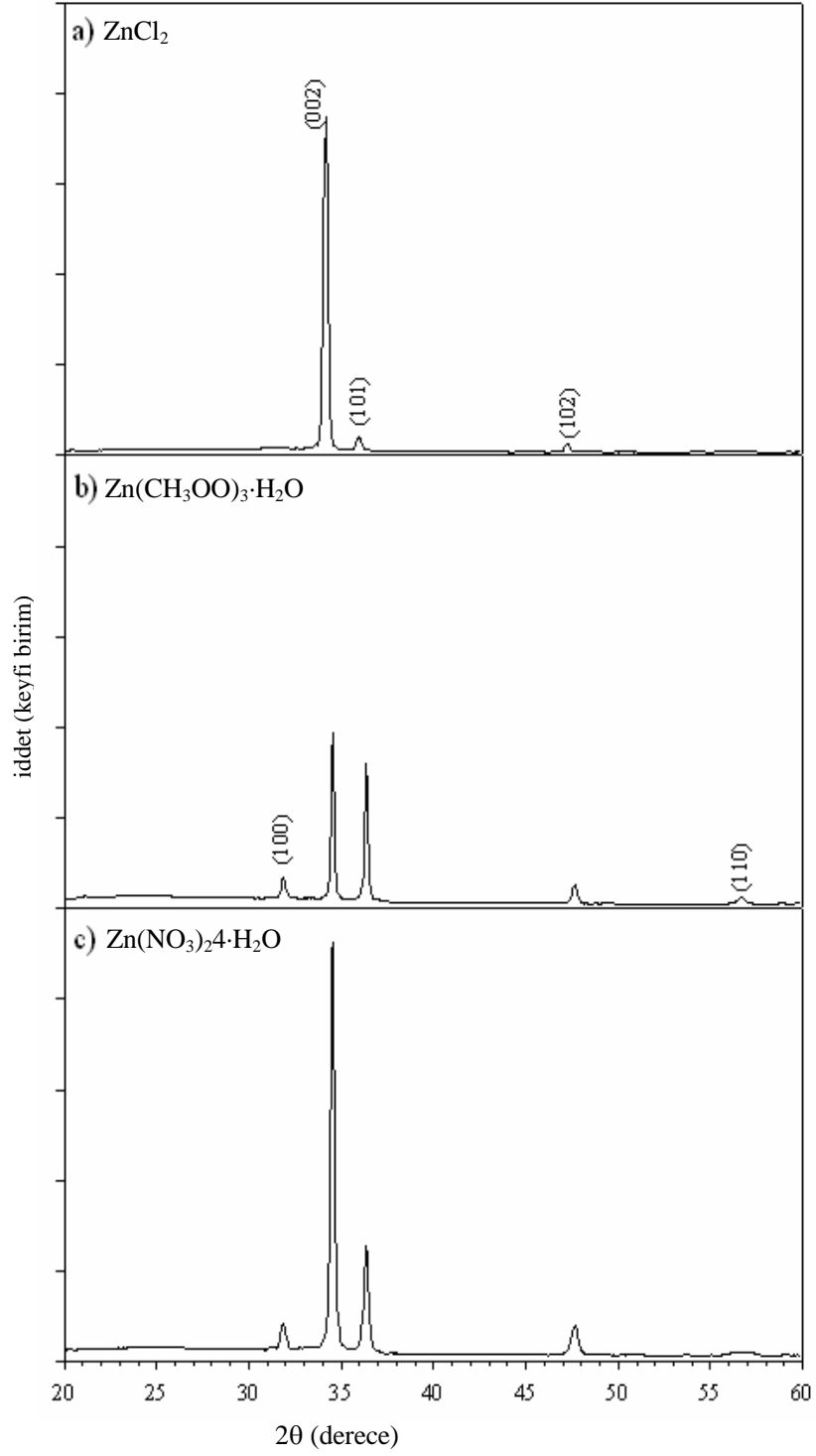
3.2 X-I ışınları Kırınım Analizleri

Bu çalışmada ZnO filmlerinin X-ışını kırınım desenleri ekil 3-1'de gösterilen Rigaku D/Max-III-C serisi X-ışını kırınım cihazında $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ dalga boylu $\text{CuK } \alpha_1$ ışını kullanılarak 3° 2θ 70° aralığında incelendi.



ekil 3-1 Rigaku D/Max-III-C marka X-ışını difraktometresi

ekil 3-2 de farklı çözeltiler kullanılarak 550°C elde edilen ZnO filmlerinin X-ışını kırınım desenleri gösterildi. Bu kırınım desenleri incelenip, elde edilen filmlerin indislemeleri ASTM kartlarından bakılarak yapıldı bu kartlar kullanılarak numunelerin X-ışını kırınım deseninde gözükten piklerin yönelimleri belirlendi. Elde edilen bütün ZnO filmlerinin hegzagonal (wurtzite) yapıda oldukları ve tercihli yönelimlerinin (002) olduğu anlaşıldı.



ekil 3-2 ZnO ince filmlerin X-ışını kırınım desenleri.

Çinko klorür çözeltisi ile elde edilen filmin (002) pikinin diğer filmlerinkinden bir miktar sola doğru kaydı görüldü. Bu numunede (101) ve (102) piklerinin, diğer yöntemlerle üretilenlerinkinden daha zayıf olduğu görülmektedir.

Çinko asetat çözeltisi kullanılarak elde edilen ZnO filminde ise (002) pikinin azaldığı ve filmin rastgele büyüdüğü görülmektedir. Burada (002) pikinin azalmasıyla, çinko klorür çözeltisinden nispeten daha kuvvetli (101) piki olduğu ve ilave olarak (100) ve (110) -pikleri de ortaya çıkmıştır.

Çinko nitrat çözeltisi kullanılarak elde edilen ZnO filminde ise (002) pikinin yeniden arttığı ve ana pik olduğu görüldü.

Filmlerin kristalle mesinde meydana gelen farklılıkların kullanılan çözeltilerin doğasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2.1 Örgü Sabitleri

Kırınım deseninde, maksimum piklere karşılık gelen açı değerleri kullanılarak, Bragg yasası formülünden düzlemler arası mesafe d hesaplanabilir. ZnO kristali hekzagonal yapıda olduğundan

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

formülü ile a ve c örgü parametreleri bulunur. ZnO'nin (002)-piki için $h=k=0$ ve $l=2$ değerleri yerine yazıldığında $c=2d$ gibi sade bir bağıntı elde edilir. Buradan, ZnO filmlerinin örgü parametresi kolayca hesaplanır. Farklı çözeltiler kullanılarak elde edilen ince filmlerin örgü parametreleri Çizelge 3-1'de verilmiştir.

Çizelge 3-1 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin örgü parametresi.

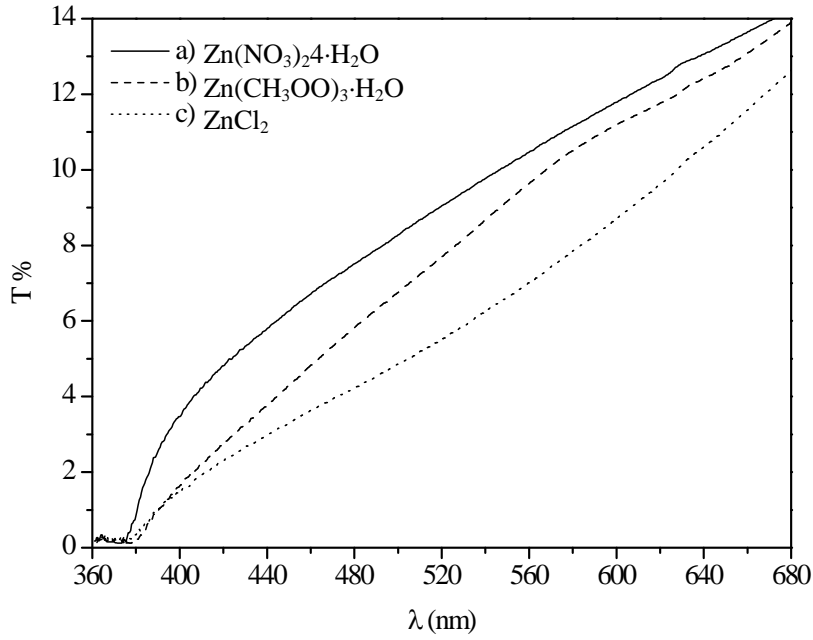
Kullanılan Çözelti	<i>c</i> Örgü Parametresi (nm)
ZnCl ₂	0.520
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	0.518
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.518

Hesaplanan örgü parametrelerinin ASTM kartları ile uyum içerisinde ve saf ZnO filminin örgü sabitine yakın bir değerde olduğu görüldü.

3.3 Temel Soğurma Analizleri

3.3.1 Filmlerin Optik Sabitlerinin Belirlenmesi

Püskürtme yöntemi ile elde edilen ZnO ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için yapılan bu çalışmada filmlerin oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları, 190-1100 nm arasında tarama bölgesi olan Shimadzu UV-1601 PC UV-VIS ultraviyole spektrometre cihazında ölçüldü. Ölçümlerde, numunelerin optik geçirgenlik değerlerinin, alttaban soğurmasından bağımsız olmasını sağlamak için öncelikle sistemin zemin düzeltilmesi yapılarak camdan geçen ışınım normalize edildi. Püskürtme yöntemi ile elde edilen ZnO ince filmlerin optik geçirgenlik değerlerinin dalga boyuna göre değişim grafiği ekil 3-2 de gösterildi.



ekil 3-3 Filmlerin optik geçirgenli inin dalga boyuna göre de i im grafi i.

Grafikler incelendi inde, numunelerin optik geçirgenlik de erlerinin, 360-380 nm arasında oldukça dü ük oldu u, 380 nm dalgaboyundan ba layarak hızlı bir ekilde arttı ı görüldü. ZnO kayna ı olarak çinko nitrat kullanıldı nda geçirgenli in 380-400 nm dalgaboyları arasında hızlı bir artı gösterdi i, di er çözeltilerden elde edilen filmlerde ise do rusal bir artı mın oldu u gözlemlendi. Aynı zamanda çinko nitrat çözeltisi ile üretilen filmin geçirgenli i bu çalı madaki di er filmlerin geçirgenliklerinden daha iyi oldu u görüldü.

3.3.2 ZnO nce Filmlerin Yasak Enerji Aralıkları

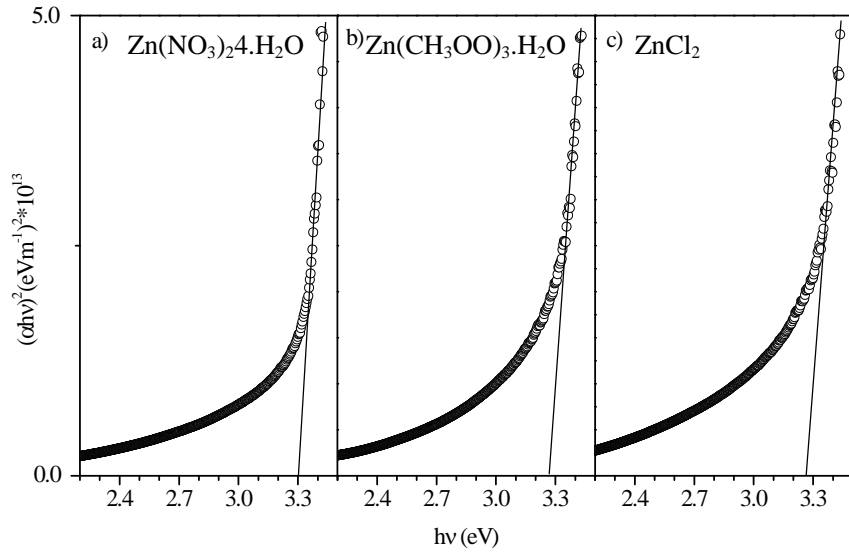
Farklı çözeltilerde hazırlanan ZnO filmlerinin oda sıcaklı nda elde edilen so urma spektrumlarından yararlanarak

$$\alpha hv \approx (hv - E_g)$$

3-2

Ba ntısı kullanılarak $(\alpha hv)^2$ 'nin, (hv) 'ye göre de i im grafikleri ekil 3-4'de çizildi. Denklem 3-2'deki n de eri $n=2$ ise malzeme do rudan band geçi i aralı ma n de eri $n=1$ ise malzeme dolaylı band geçi aralı ma sahiptir. Bu grafiklerin lineer kısımlarının uzantısının hv eksenini $(\alpha hv)^2=0$ 'da kesti i noktanın enerji de erleri, filmlerin yasak enerji aralıkları olarak alındı.

Filmlerin bant yapısının do rudan band geçi li mi yoksa dolaylı band geçi li mi oldu unu anlamak için her bir film için $(\alpha hv)^{1/2}$ 'nin hv 'ye göre de i im grafikleri de çizildi.



ekil 3-4 Farklı çözeltiler kullanılarak üretilen ZnO filmler için $(\alpha hv)^2$ nin (hv) 'ye göre de i im grafi i.

Bütün filmler için $(\alpha hv)^2$ nin hv 'ye de i im grafi inin e iminin, $(\alpha hv)^{1/2}$ nin (hv) 'ye göre de i im grafi inin e imine göre daha lineer oldu u ve böylece üretilen ince filmlerinin do rudan band geçi li yapısına sahip oldukları anla ıldı. Filmlerin yasak enerji aralıkları Çizelge 3-2'de gösterildi i gibidir.

Çizelge 3-2 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin yasak enerji aralıkları

Kullanılan Çözelti	Yasak enerji aralı ı (eV)
ZnCl ₂	3,26
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	3,27
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	3,30

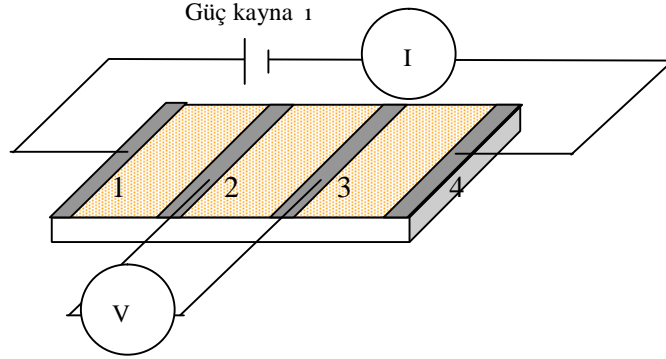
Filmlerin yasak enerji aralıkları incelendi inde üretim a amasında farklı çözeltiler kullanılmasına ra men yasak enerji aralıklarının birbirine yakın oldu u görüldü. Yasak enerji aralı ndaki küçük farklılıkların ise deney hatalarından kaynaklandı ı tahmin edildi.

Bir malzemenin bant aralı ı, özel bazı uygulamalarda kullanılacak malzeme seçimini belirleyen önemli bir kontrol parametresidir. Bu açıdan bakıldı nda, elde edilecek filmlerin bant aralı ını film hazırlama artlarına göre belirleyebilmek büyük bir avantajdır. ZnO'nun bant aralı ının 3,2 eV oldu u göz önüne alındı nda, üretilen numunelerin band aralı ının, literatürde belirtilenden de erden bir miktar a a ı oldu u anla ılmaktadır.

3.4 Elektriksel İletkenlik Analizleri

Elektriksel iletkenlik de erleri, standart dört nokta yöntemi kullanılarak hesaplandı. Elde edilen filmlerin karanlık ortamdaki dirençlerini ölçmek için küçük alanlı ve e it aralıklı dört kontakt numunenin düzlemsel yüzeyine ekil 3-5'teki gibi yerle tirildi ve ekildeki (1) ve (4) no'lu kontaklara bir güç kayna ı ba landı.

Numune üzerinden sabit I akımı geçirilerek (2) ve (3) no'lu kontaklardaki potansiyel fark ölçüldü.



ekil 3-5 Özdirenç ölçümü için kullanılan devreninematik gösterimi

Daha sonra

$$\rho = 2\pi l \frac{V}{I}$$

3-3

formülü kullanılarak numunelerin özdirençleri hesaplandı. Elde edilen özdirenç de erleri Çizelge 3-3'de verildi.

Çizelge 3-3 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin özdirenç de erleri.

Kullanılan Çözelti	Özdirenç (cm)
ZnCl ₂	13,0·10 ³
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	7,1·10 ³
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	5,7·10 ³

Elektriksel özdirenç de erleri incelendi inde, SEM mikro rafları ile uyumlu bir ekilde çinko klorür çözeltisi kullanılarak üretilen numunelerin özdirencinin, di er çözeltilerin özdirencinden daha büyük oldu u görüldü. Bunun, hegzagonal

yapıdaki kristalle mede tane sınırları arasındaki mesafeden kaynaklandı ı
dü ünülmektedir.

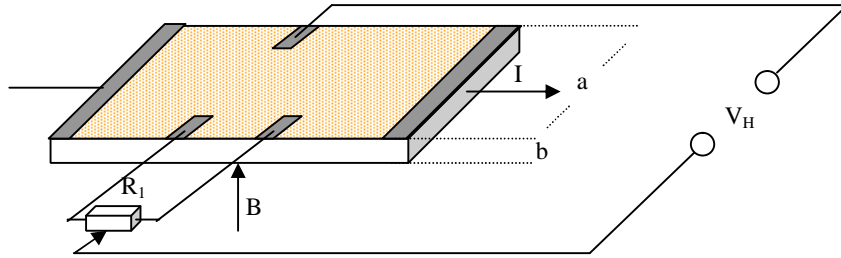
3.5 Ta ıyıcı yo unlukları Analizi

Bu alı mada, ekil 3-6'daki deneysel düzenek yardımıyla Hall voltajı
ölld. Hall gerilimini do ru ölçebilmek için akımın ve manyetik alanın yönü
dikkate alınarak toplam dört Hall voltajı ölld. Bunlar, $V_H(+I, +B)$, $V_H(-I, +B)$,
 $V_H(+I, -B)$ ve $V_H(-I, -B)$ voltajlarıdır. Buna göre Hall voltajı

$$V_H = \frac{1}{4} [V_H(+I, +B) + V_H(-I, +B) + V_H(+I, -B) + V_H(-I, -B)]$$

ifadesinden hesaplandı.

Numunelerin ta ıyıcı yo unlukları ise Hall voltajı ölçümlerinden
faydalanılarak bulundu.



ekil 3-6 Hall voltajı ölçümü için yapılan tasarlanan deneysel düzenek.

ekil 3-6'de görüldü  gibi Hall uunda bulunan numune manyetik alan
içersine yerle tirildi ve numune üzerinde olu an akım ve voltaj de erleri dijital
multimetreler yardımıyla bilgisayara aktarıldı. Bilgisayara gelen bu veriler Visual

Basic 6.0 programlama dilinde hazırlanan bir program yardımıyla de erlendirildi. Buna göre farklı çözeltiler kullanılarak elde edilen ZnO ince filmlerinin ta ıyıcı yo unlukları Çizelge 3-4'de gösterildi i gibidir.

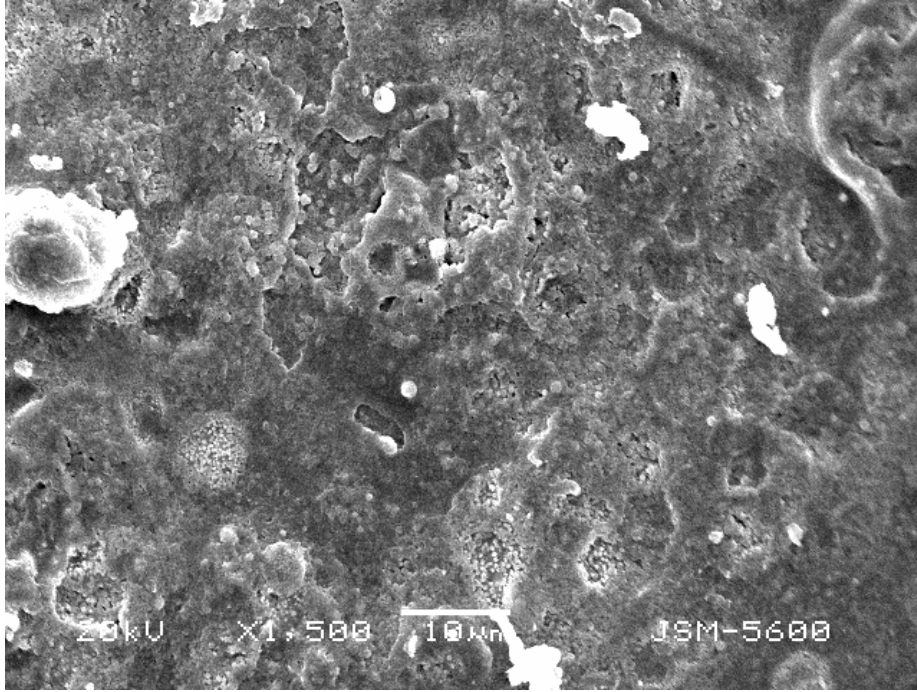
Çizelge 3-4 Farklı çözeltiler kullanılarak hazırlanan ZnO filmlerin ta ıyıcı yo unlukları

Kullanılan Çözelti	Ta ıyıcı Yo unlukları (cm⁻³)
ZnCl ₂	9,3 · 10 ¹³
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	10,0 · 10 ¹³
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	11,0 · 10 ¹³

Farklı çözeltiler kullanılarak üretilen ZnO filmlerin ta ıyıcı yük yo unlukları incelendi inde, filmlerin n-tipi oldukları ve ta ıyıcı yük yo unluklarının özdirençleriyle uyum içinde oldu u görüldü.

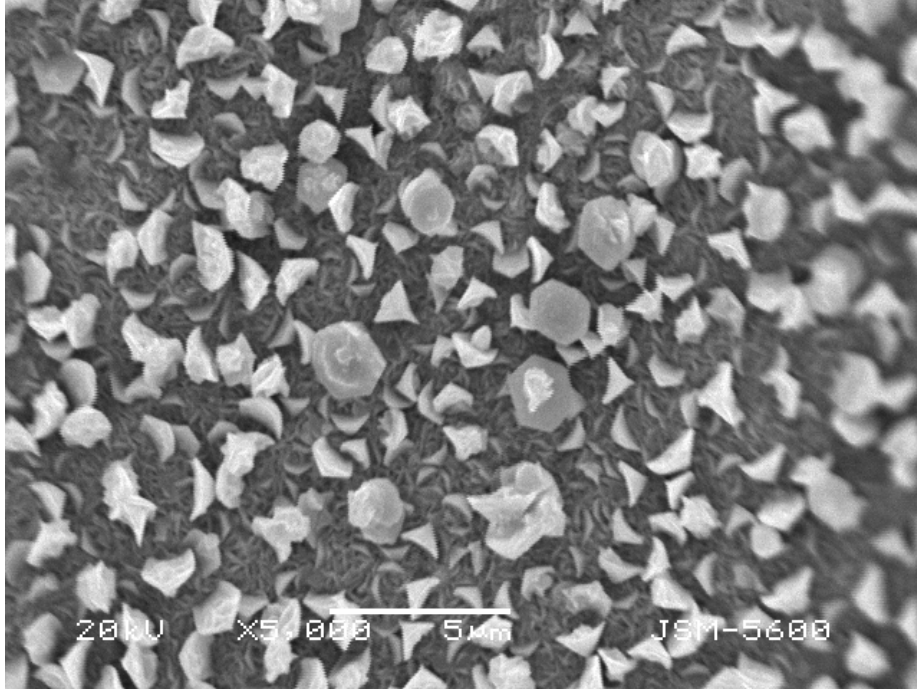
3.6 SEM Görüntü Analizleri

Üretilen numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleri incelendi. ekil 3-7’de çinko nitrat çözeltisi kullanılarak hazırlanmış ZnO ince filmlerin SEM mikrografı görülmektedir. Burada ZnO ince filminin düzensiz bir yüzey morfolojisine sahip olduğunu ve taneciklerin pek olmadığını görülmektedir.



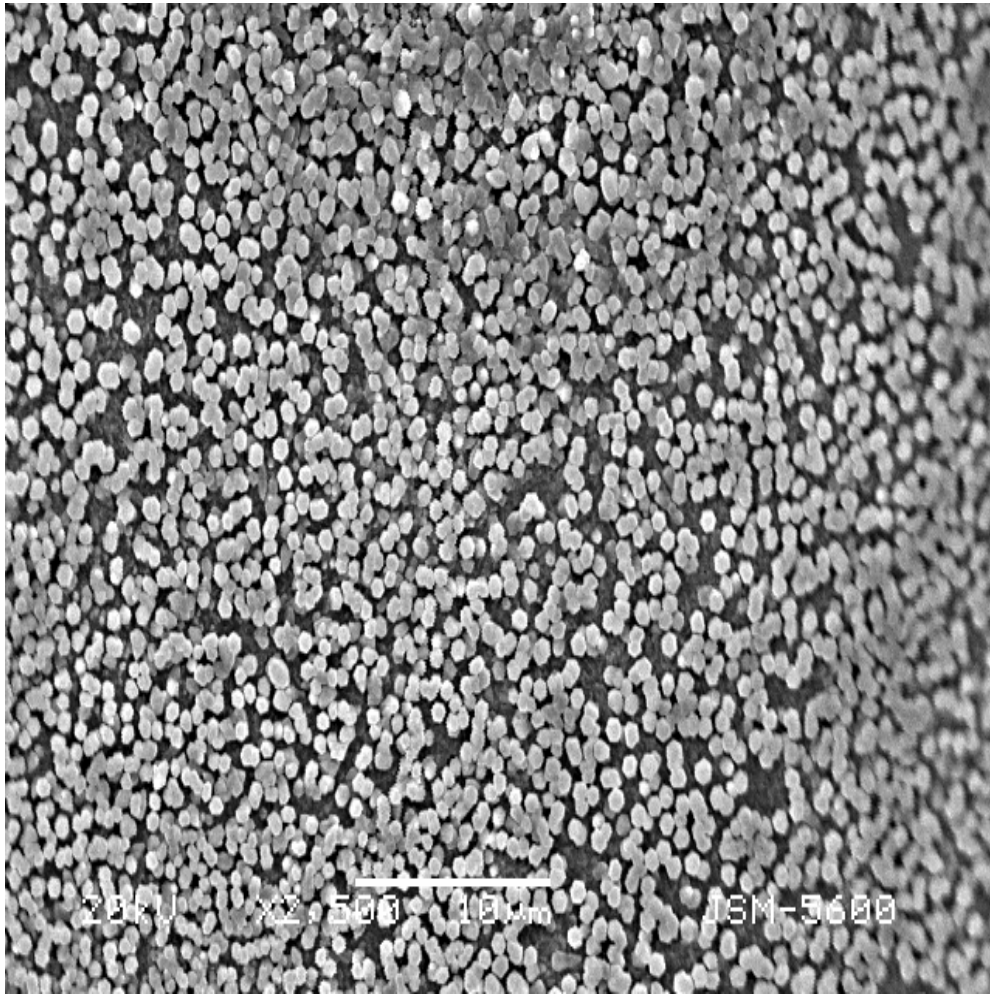
ekil 3-7 $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ çözeltisi ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı

ekil 3-8'de ise çinko asetat çözeltisi kullanılarak hazırlanmış ZnO ince filmlerin SEM mikrografı görülmektedir. Burada ZnO ince filminin belirli bölgelerinde hegzagonal kristallerin olduğu görülmekte ve ilk numuneye göre belirgin bir şekilde tane büyümleri dikkati çekmektedir.



ekil 3-8 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı

ekil 3-9'da ise çinko klorür çözeltisi kullanılarak hazırlanmış ZnO ince filmlerin SEM mikrografı görülmektedir. Burada, ZnO ince filmde oldukça belirgin bir şekilde c-ekseni yönünde yönelmiş hegzagonal kristaller ortaya çıkmıştır. Bunun x-ışını kırınım desenleri de oldukça net bir şekilde desteklemektedir. Film yüzeyinde oluşan ZnO hegzagonal çubukların (rod) numune yüzeyine dik olarak büyüdüğü ve yarıçaplarının da yaklaşık olarak 1 µm civarında olduğu görülmektedir.



ekil 3-9 ZnCl₂ çözeltisi ile hazırlanan ZnO filminin SEM mikrografı

4 SONUÇ

Bu çalı mada püskürtme yöntemiyle, farklı çözeltiler kullanılarak üretilen ince filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri araştırıldı. ZnO kaynağı olarak çinko klorür ($ZnCl_2$), çinko asetat $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ve Çinko nitrat $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ kullanıldı.

XRD ölçümlerine göre farklı çözeltilerde üretilen ZnO ince filmlerin hegzagonal yapıda kristalle tıkları ve tercihli yönelimlerinin (002)-düzleminde olduğu görüldü. Her üç yöntemle üretilen ZnO ince filmlerde, (002)-pikine ilâveten, hegzagonal yapıya ait (100), (101), (110) ve (102) gibi pikler tespit edildi. Çinko asetat çözeltisiyle elde edilen ZnO ince filmin, diğer çinko nitrat ve çinko klorür çözeltisi kullanılarak üretilen filmlere göre tercihli yöneliminin az olduğu ve rastgele büyüdüğü görüldü. Filmlerin özdirenç değerimleri incelendiğinde, çinko klorür çözeltisi ile üretilen ZnO ince filmin özdirençinin diğer çözeltilerle üretilen filmlerden daha büyük olduğu görüldü. Buna yüzey morfolojilerinden de görüldüğü gibi, tane sınırlarında oluşan katkı (extrinsic) tuzaklarının neden olduğu tahmin edilebilir. Taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitedeki değerimlerin, özdirenç ile uyum içerisinde olduğu görüldü.

ZnO ince filmlerin yüzey yapıları incelendiğinde ise farklı çözeltilerde büyütülen filmlerin yüzey yapılarının tamamen farklı olduğu görüldü. Çinko nitrat çözeltisi kullanılarak üretilen filmlerin düzensiz bir yapıya sahip ve tanelerin belirsiz olduğu görüldü. Çinko asetat çözeltisi kullanıldığında ise rastgele dağılmış hegzagonal benzeri tabaka yapılarının olduğu belirlendi. Çinko klorür çözeltisinden büyütülen filmlerin yüzey şekillerinde ise düzenli bir yapıda büyümüş hegzagonal

çubukların oluştuğu görüldü. Bu çubukların *c*-ekseni yönünde ve yaklaşık olarak 1 µm çapında oldukları anlaşıldı.

Filmlerin optik geçirgenlik spektrumlarında geçirgenlik değerlerinin düşüklüğü görüldü. Geçirgenlikteki bu azalmanın temel sınırlarında oluşan saçılmalardan kaynaklandığı düşünüldü. Bununla birlikte, yüksek geçirgenliğe sahip ZnO ince filmler, literatürde kimyasal püskürtme yöntemi kullanılarak 500 °C altlık sıcaklığında üretilmektedir. ZnO filmlerin yasak enerji aralıkları incelendiğinde, üretilme esnasında farklı çözeltiler kullanılmasına karşın yasak enerji aralıklarının birbirine yakın olduğu görüldü. Filmlerin yasak enerji aralıkları, saf ZnO ince filminin sahip olduğu yasak enerji aralığı (3.30 eV) kadardır. Filmlerin yasak enerji aralığının, saf ZnO yarıiletken örneğine yakın çıkması, stokiometrinin iyi seçilmesi ile açıklanabilir.

KAYNAKLAR

1. Neamen D. A., "Semiconductor Physics and Devices", Mc. Graw Hill Company, 2003.
2. Kelly M. J., "Low Dimensional Semiconductors", Clarendon Pres Oxford, 1995.
3. Kınıkolu N., "Malzeme Bilimi ve Mühendisliği", Litaretür yayıncılık, 2001.
4. Hook J. R., "Solid State Physics", Çeviri "Katıhal Fiziği", Köksal F., Litaretür yayıncılık, 1999.
5. Runyan W.R., "Semiconductor Measurements and Instrumentation", Graw Hill Company, 1998.
6. Sapoval B., Hermann C., "Physics of Semiconductors", Springer Verlag, 1995.
7. Mc Kelley, D. A., "Semiconductor Physics and Devices", Harper and Row Press New York, 1966.
8. Aygün E. ve Zengin D.M., "Kuantum Fiziği", Bilim Yayınevi, 1994.
9. Tyagi M.S., "Introduction to the semiconductor Materials and Devices", John Willey and Sons, 1991.
10. Kamerski L.L., "Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices", Academic Pres, 1980.
11. J.I. Pankove, "Optical Progress in Semiconductors", Dover, New York, 1975.
12. Shur, M., "Physics of Semiconductor Devices", New Jersey, 1990.
13. Karaoğlu B., "Katıhal Fiziğine Giriş", Güven, 1996.
14. Kittel C., "Introduction to solid state physics", John Wiley&Sons, New York, 1996.
15. Chopra K. L., "Thin Films Phenomena", McGraw-Hill Company, 1969.
16. Eckertova. L., "Physics of thin films", Plenum Pres.
17. Ohring, Milton, "The Materials Science of Thin Films", 1991.

18. V. Sikant ve D. R. Clarke, "J Appl Phys.", 83 1998 5447.
19. Haiping Tang, Liping Zhu, Haiping He ve arkadaşları "Preparation and characterization of Al-doped quasi-aligned ZnO submicro-rods "J Appl Phys." 39 2006 2696-2700.
20. Krunk M., Dedova T., Açık Oja I., "Spray Pyrolysis deposition of zinc oxide nanostructured layers" Science Direct 515 2006 1157-1160.
21. Wang Xingzhou, Ding Qingping, Huang Hongbo, Yang Shaoguang. "PL enhancement at the ends/junctions of ZnO micro rods" Science Direct 2007 PLA 16461.
22. Romero R., Leinen D., Dalchiale E.A., Martin F, "The effects of zinc acetate and zinc chloride precursors on the preferred crystalline orientation of ZnO and Al-doped ZnO thin films obtained by spray pyrolysis" Science direct Thin Solid Films 515 2006 1942-1949.
23. A. Tiburcio-Silver, A Sanchez-Juarez, A. Avila-Gargia. Solar Energy Mater Solar energy Cells 1998 3-27.
24. Dela M., Olvera L., Maldonado A. "Thin Solid Films" 411 2002 198.
25. Klug H.P, Alexander L.E, "X-ray Diffraction Procedures for polycrystalline and Amorphous Materials" Willey 1974 687.
26. Van heerden J.L, Swanepoel R. Thin solid Films 299 1997 72.
27. Co kun C. Doktora tezi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2000.
28. Akkoyunlu O. "Çinkooksit Yarıiletken Bileşiminin Elektriksel ve Optik Özellikleri" Yüksek lisans tez. Anadolu Üniv. 2000.
29. Al-ani S.K.J, Al Ramadin Y. Ahmad M.S, Malinconico M. "The optical Properties polymethylmethacrylate polymer dispersed liquid crystals." 1999.
30. Tomakin M. "Kimyasal püskürtme yöntemiyle elde edilen Cd_{1-x}Zn_xS ince filmlerinin bazı yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2003.

31. Fend Z.C., Semiconductor Interface, Microstructures and Diveces, IOP Publishing, 1993.
32. Aksoy S., “Kalay katkılı Çinooksit Filmlerin Yapısal ve Optik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
33. Eren O.,Yüksek Lisans Tezi “Aliminyum Katkılı ZnO ince Filmlerin bazı Özellikleri”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
34. Demirci B., Yüksek Lisans Tezi, “Indium Katkılı ZnO ince Filmlerin bazı Özellikleri”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
35. Güney H. Yüksek Lisans Tezi “Geni Band Aralıklı ZnO’nun Elektrokimyasal Yöntemlerle Tek Kristal büyütülmesi”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.