

T.C.
DICLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y:CdO/p-Si HETEROEKLEMİN ELEKTRİKSEL VE
FOTOELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Murat TOKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Haziran 2015

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DIYARBAKIR

Murat TOKUŞ tarafından yapılan “Y:CdO Heteroeklemin Elektriksel ve Fotoelektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı

Adı Soyadı

Başkan: Doç. Dr.

Mehmet ASLANTAŞ

Üye : Doç. Dr.

Yusuf Selim OCAK

Üye : Doç. Dr.

Ömer ÇELİK

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 16 /06 /2015

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

...../...../2015

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

TEŞEKKÜR

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Doç.Dr.Yusuf Selim OCAK rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Doç.Dr.Yusuf Selim OCAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında her türlü yardımcı benden esirgemeyen, fikirlerinden istifade ettiğim ve benimle birlikte çalışmam boyunca verdiği destek ve katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Sayın Ahmet TOMBAK hocama teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımda bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen Araştırma Görevlisi Sayın Şilan BATURAY hocama, Doktora öğrencisi Derya KAYA'ya ve manevi olarak sürekli yanımda olan ve desteğini esirgemeyen Araştırma Görevlisi Sayın Ömer ERDOĐAN hocama teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her türlü destek ve teşviklerini gördüğüm ve çoğu zaman kendilerini ihmal ettiğim eşime ve kızıma bu süre zarfında hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
KISALTMA VE SİMGELER	IX
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar	9
3.1.1. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	10
3.1.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar	12
3.1.3. Metal /p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı.....	14
3.2. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi	14
3.2.1. Hava Kitlesi	14
3.2.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu	16
3.3. İnce Filmlerin Yapısal ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi	19
3.3.1. X Işını Kırınımı (XRD).....	19
3.3.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM).....	21
3.3.2.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) Çalışma Yöntemleri	21
a. Contact Mode	21
b. Noncontact Mode.....	22
3.4. Deneysel İşlemler	22
3.4.1. Giriş.....	22
3.4.2. Omik Kontakların Oluşturulması.....	22
3.4.3. İnce Filmlerin Oluşturulması ve Karakterizasyonu.....	23
3.4.4. Akım-Gerilim Ölçümlerinin Alınması.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27

4.1.	Giriş	27
4.2.	Y: CdO Filmlerinin Yüzey ve Yapısal Analizleri	27
4.3.	Al/CdO/p-Si ve Al/Y: CdO/p-Si Heteroeklemlerin Akım-Gerilim Karakteristiği	29
4.4.	Diyotların Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi	32
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	35
6.	KAYNAKLAR	37
	ÖZGEÇMİŞ	41

ÖZET

Y: CdO/p-Si HETEROEKLEMİN ELEKTRİKSEL VE FOTOELEKTRİKSEL

ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat TOKUŞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2015

Bu çalışmada (100) yönelimine sahip ve öz direnci 1-10 Ωcm olan p-Si yarıiletkeni kullanıldı. Dönel kaplama metodu kullanılarak ittrium katkılı ve katkısız kadmiyum oksit'in p-Si üzerinde ince filmi hazırlandı. Alüminyum yüksek vakum ortamında, termal olarak buharlaştırıldı. Böylece Al/Y: CdO/p-Si yapısı oluşturuldu.

Al/Y: CdO/p-Si yapılarının oda sıcaklığında ve karanlık ortamda akım gerilim (I - V) ölçümleri yapıldı. I - V grafiğinden bu yapının doğrultucu özellik gösterdiği görüldü. İdealite faktörü ve engel yüksekliği gibi diyot parametreleri, $\ln I$ - V grafiği kullanılarak belirlendi. İdealite faktörü Al/CdO/p-Si yapısı için 2,45 olarak hesaplanırken Al/Y: CdO/p-Si yapılarının idealite faktörünün 1,84 değerine kadar düştüğü başka bir ifadeyle diyotların ideal davranışa yaklaştığı görüldü. Y katkılı CdO aratabakanın engel yüksekliğini arttırdığı gözlemlendi. Norde fonksiyonları kullanılarak $F(V)$ - V grafikleri çizildi. Bu grafikten seri direnç ve engel yükseklikleri hesaplandı.

Ayrıca tüm diyotların 100 mW/cm^2 ışık şiddeti altında I - V ölçümleri yapıldı. Işık şiddeti arttıkça ters beslem akımının da arttığı gözlemlendi. Yapının fotodiyot özelliği gösterdiği anlaşıldı ve diyotun optoelektronik uygulamalarda kullanılabileceği gösterilmiş oldu.

Anahtar Kelimeler: Schottky Diyot, Norde Fonksiyonları, İttrium, Kadmiyum Oksit, Katkılama

ABSTRACT
DETERMINATION OF ELECTRICAL AND PHOTOELECTRICAL PROPERTIES
OF Y: CdO/p-Si HETEROJUNCTION

MSc THESIS

Murat TOKUŞ

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

2015

In this study, p-Si semiconductor with (100) orientation and resistivity of 1-10 Ωcm was used. Yttrium-doped and undoped cadmium oxide thin films were prepared on p-Si by using spin coating method. Aluminium was thermally evaporated in high vacuum environment. Therefore, Al/Y: CdO/p-Si structures were formed.

Current-voltage (I-V) measurements of Al/Y: CdO/p-Si structures were performed in the dark at room temperature. It is noted that the the structures showed rectification feature from I-V graphics. Ideality factors and parameters such as diode barrier height were determined using $\ln I$ -V plot. Ideality factor for Al/CdO/p-Si structure was calculated as 2.45 and the ideality factor for Al/Y: CdO/p-Si structures have fallen to 1.84 value in other words diodes got closer to the ideal behavior. Y-doped CdO interlayer to increased barrier height. $F(V)$ -V graphs were plotted using the modified Norde functions. From this plot, the series resistance and barrier height was calculated.

In addition, *I*-*V* measurements of the Al/Y: CdO/p-Si were repeated under light which had intensity of 100 mW/cm^2 . It was observed that reverse bias current of the diode increased with the light intensity. Therefore, the structure showed fotodiode characteristic and it can be used in optoelectronic applications.

Key Words: Schottky Diode, Norde Function, Yttrium, Cadmium Oksit, Doping

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Katkısız ve Y Katkılı Filmlerin Yüzey Pürüzlülükleri (nm cinsinden)	28
Çizelge 4.2. Al/CdO/p-Si ve Al/Y: CdO/p-Si Heteroeklem Yapılarının Temel Diyot Karakteristikleri	31
Çizelge 4.3. Heteroeklemlerin Fotoelektriksel Ölçüm Sonuçları	34

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu diyotun enerji bant diyagramları a) kontak yapılmadan önceki enerji bant yapısı. b) kontak yapıldıktan sonraki enerji bant yapısı. c) düz beslem uygulanan kontağın enerji bant yapısı ($V>0$). d) ters beslem uygulanan kontağın enerji bant yapısı ($V<0$).	11
Şekil 3.2.	Metal /p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar. a) Kontak yapılmadan önceki enerji bantları. b) Kontak yapıldıktan sonra sıfır beslem ($V=0$) durumundaki enerji bantları. c) Kontak yapıldıktan sonra düz beslem ($V>0$) durumundaki enerji bantları. d) Kontak yapıldıktan sonra ters beslem ($V<0$) durumundaki enerji bantları.	13
Şekil 3.3.	P ⁺ PM yarıiletken diyot yapısının termal dengedeki enerji bant diyagramı	14
Şekil 3.4.	Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterilişi (Ocak 2010)	15
Şekil 3.5.	Kara cisim ışıması, AM0 ve AM1.5 spektrumları gösterimi	16
Şekil 3.6.	a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterilişi b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği	17
Şekil 3.7.	Güneş pillerinde akım-gerilim grafiği	17
Şekil 3.8.	Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterilmesi	18
Şekil 3.9.	Güneş pili üzerine paralel direncin etkisi ($R_s=0$ durumunda)	19
Şekil 3.10.	Güneş pili üzerine seri direncin etkisi ($R_p=\infty$ durumunda)	19
Şekil 3.11.	Termal Buharlaştırma Cihazı	23
Şekil 3.12.	Tavlama İşleminin Gerçekleştirildiği Fırın	24
Şekil 3.13.	İnce Filmin Oluşturulduğu Dönel Kaplama Cihazı	24
Şekil 3.14.	Al/Y:CdO/p-Si/Al Diyotunun Şematik gösterimi	25
Şekil 3.15.	Keithley 2400 Sourcemeter ve Güneş Simülatörü	25
Şekil 4.1.	%2 Y-CdO Yapısına Ait AKM Görüntüsü	27
Şekil 4.2.	%4 Y-CdO Yapısına Ait AKM Görüntüsü	28
Şekil 4.3.	%6 Y-CdO Yapısına Ait AKM Görüntüsü	28
Şekil 4.4.	Katkılı ve Katkısız CdO Filmlerin XRD Desenleri	29

Şekil 4.5.	Al/Y: CdO/p-Si/Al Yapılarına Ait Karanlık Ortamda Ölçülen I-V Grafiği	31
Şekil 4.6.	Al/CdO/p-Si/Al Yapısına Ait Karanlıkta ve Işık Altında Alınan I-V Ölçümleri	32
Şekil 4.7.	Al/%2 Y: CdO/p-Si/Al Yapısına Ait Karanlıkta ve Işık altında Alınan I-V Ölçümleri	32
Şekil 4.8.	Al/%4 Y: CdO/p-Si/Al Yapısına Ait Karanlıkta ve Işık Altında Alınan I-V Ölçümleri	33
Şekil 4.9.	Al/%6 Y: CdO/p-Si/Al Yapısına Ait Karanlıkta ve Işık Altında Alınan I-V Ölçümleri	33

KISALTMA VE SİMGELER

A	: Diyotun etkin alanı
A^*	: Richardson sabiti
AC	: Alternatif akım
$AM 1.5$: Hava kütlesi 1.5
a_s	: Soğurma katsayısı
α_e	: Emisyon katsayısı
C	: Kapasite
$C-V$: Kapasite-Gerilim
DC	: Doğru akım
d	: Uzay yükü bölgesinin genişliği
E_c	: İletkenlik bandının tabanı
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
eV	: Elektron volt
Φ_b	: Schottky engel yüksekliği
$\Phi_b (C-V)$: Kapasite gerilim ile ölçülen Schottky engel yüksekliği
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ	: Yarıiletkenin elektron ilgisi
h	: Planck sabiti
$I-V$: Akım-Gerilim
I_m	: Güneş pili için maksimum akım
I_0	: Ters besleme doyma akımı
J	: Akım yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti
LED	: Işık yayan diyot

m_h^*	: Boşluğun etkin kütlesi
m_n^*	: Elektronun etkin kütlesi
MS	: Metal yarıiletken kontak
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken kontak
n	: İdealite faktörü
$n-Si$: n-tipi silisyum kristali
N_a	: Alıcı konsantrasyonu
N_c	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu
N_d	: Verici konsantrasyonu
$p-Si$: p-tipi silisyum kristali
q	: Elektronun yükü
R_p	: Paralel direnç
R_s	: Seri direnç
S	: Güneş pilinin etkin alanı
T	: Mutlak sıcaklık
V_{b0}	: Difüzyon potansiyeli
V_{diff}	: Difüzyon potansiyeli
V_m	: Güneş pili için maksimum gerilim
V_n	: Yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki fark
V_{oc}	: Açık devre gerilimi

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS=Metal-Semiconductor) kontakların bütün yarıiletken tabanlı devre elemanlarının oluşumunda yer almaları, onlara büyük önem yüklenmesine neden olmuştur. MS kontakların elektriksel özelliklerinden yeterince faydalanmak ve uygun kontaklar hazırlayarak elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanabilmesi için onların karakteristik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Rhoderick 1988). Üretilen bir devre elemanının istenilen performansta çalışabilmesinin ön koşulu devre yapısına ait bütün özelliklerinin bilinmesi ve doğabilecek olumsuzlukların giderilmesidir. Bunlardan dolayıdır ki; yarıiletken teknolojisinde, temel elektronik yapı elemanlarının, özellikle diyotların, fiziksel ve elektronik özelliklerinin araştırılması önem arz etmektedir (Sze 1981, Rhoderick 1988, Kılıçoğlu 1988, Bozkurt ve ark. 1997, Nozu ve ark. 1999, Kaneto ve ark. 2001).

Çeşitli yarıiletken elemanlarından üretilen metal-yarıiletken (MS) yapıların üzerindeki çalışmalar uzun zamanlardan beri devam etmekte olup; bu çalışmalardan bazıları yeni yarıiletken malzemelerin yapılması; bazıları da yarıiletkenlerin elektronik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerinden faydalanılarak yeni metal-yarıiletken devre elemanlarının geliştirilmesi ile ilgilidir (Ocak 2010). Bu devre elemanları kullanılarak, lazer yazıcılar, fotokopi makineleri, güneş pilleri, optik bilgi sistemlerinden CD-ROM ve DVD, LED uygulamaları, nükleer santral kontrol sistemleri gibi pek çok aygıt geliştirilmiştir (El-Nahass ve ark. 2005).

Schottky diyotların teknolojik önemlerinden dolayı, elektriksel karakteristik özelliklerinin anlaşılmasına yönelik yapılan çalışmalar gittikçe artmaktadır. Schottky engel diyotların elektriksel iletkenlik özelliklerinin çoğunluk taşıyıcıları ile sağlanması, bu diyotların yüksek frekanslarda ve düşük düz beslemde çalışabilmelerini sağlamaktadır. Bundan dolayı p-n eklemli diyotlara nazaran daha avantajlıdırlar. Çünkü p-n eklemelerinde azınlık taşıyıcılar akımı oluşturmaktadır. Schottky diyotların GHz mertebesinde anahtarlama hızına sahip olması, Schottky engel diyotların optoelektronikte, telekomünikasyon alanında kullanılmasının başlıca nedenidir. Ayrıca, bu yapılar birçok tümleşik devre elemanının oluşturulmasında da yer almaktadırlar (Aydın 2003).

Schottky diyotların elektriksel özelliklerinin belirlenmesinde ağırlıklı olarak onların ara yüzey özellikleri kullanılır. Schottky diyotların metal-yarıiletken (MS) ara yüzeyinde oksit tabaka oluşur. Bu tabaka Schottky kontakları metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapıya çevirmekte ve diyot karakteristiğine kuvvetle etki etmektedir.

Metal-Oksit-Yarıiletken yapısı MOS olarak adlandırılır. Klasik MOS kapasitör Metal-Oksit-Yarıiletken'den oluşan bir yapıdır. Bu yapı bir yarıiletken alt yüzey, ince bir oksit tabakası ve en üstte geçit olarak adlandırılan bir metal kontakten oluşmaktadır. İkinci metal tabakası yarıiletkenin diğer yüzeyine omik kontak olarak kaplanmıştır. Metali yarıiletkenden izole eden ve yapıyı Metal-Yalıtkan-Yarıiletken yapıya dönüştüren, Metal ile yarıiletken arasında oluşturulan yalıtkan oksit tabakadır (Bozer, 2013).

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

Modern fotovoltaik ve optoelektronik cihazlarda umut verici özellikler gösteren ZnO ve CdO yarıiletken filmleri geçirgen iletken oksitlerdir (Ferro ve ark, 2000). Geçirgen iletken oksitler (Transparent Conducting Oxides- TCO) yarıiletken optoelektronik cihaz teknolojisinde, mimari pencerelerde, ince film fotovoltaiklerinde, akıllı pencerelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Lokhande ve Uplane, 2001; Li ve ark, 2001).

Optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı geçirgen iletken oksit yarıiletken filmler yoğun bir şekilde çalışılmakta, elektronik ve fotovoltaik devrelerde oldukça ilgi çekmektedir. Kadmiyum oksit (CdO) yarıiletken bileşiği periyodik tablonun II. Grup elementlerinden olan Cd ile VI. Grup elementlerinden olan O' den oluşan II-VI grup bileşiğidir.

Heteroeklemler,1930'lu yıllarda keşfedildiklerinden beri plastik malzemelerin ve metal yüzeylerin renklendirilmesinde, giyim sanayinde boyar madde olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Liu ve ark.2004). Bunların sahip oldukları kimyasal ve termal özellikler sayesinde modern optoelektronik uygulamaların en önemli parçasıdırlar (Tian ve ark. 2010).

Öncelikle laboratuvar ortamında hazırladığımız p-Si yarıiletkeni klasik metotlarla temizleyip mat yüzeyine termal buharlaştırma yöntemi ile, 200 nm kalınlığında Al ince

filmi oluşturuldu. Daha sonra, 570 °C sıcaklığındaki fırında azot gazı ortamında 3 dakika süreyle tavlandı. Böylece aygıtın omik kontağı hazırlanmış oldu. Daha sonra p-Si'nin parlak yüzeyine dönel kaplama (spin coating) cihazı kullanılarak katkısız CdO ve %2, %4, %6 oranlarında İtiryum katkılı CdO ince filmleri oluşturuldu. Sonra tekrar vakum cihazına yerleştirilen yapıların üstüne Al buharlaştırılarak Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si aygıtları hazırlandı. Aygıtların karanlık ortamlarda alınan akım-gerilim (*I-V*) grafiği çizilerek incelendi ve bu aygıtların doğrultucu özelliğe sahip olduğu gözlemlendi. *I-V* dataları kullanılarak diyotların, idealite faktörü, engel yüksekliği, paralel direnci ve seri direnci hesaplandı. Ayrıca, güneş similatörü altında yapılan *I-V* ölçümleri incelendi. Oluşturulan ince filmlerin yüzey ve yapısal özellikleri AKM ve XRD metodları ile incelendi.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde temel ihtiyaçlarımızın karşılanmasında kullanılan telefon, bilgisayar, yazıcı, dvd, tv, radyo, telsiz, uydular, navigasyon, klima, otomobil gibi alet ve araçlar elektronik bilim dalının gelişmesiyle oluşmuşlardır. Braun'un (1874), sülfat kristallerinde elektriksel iletkenliğinin asimetrik olduğunu keşfetmesiyle beraber tüm bu teknolojik gelişmelerin temeli atılmıştır. Braun'un bu keşfi MS kontaklarının başlangıcı olarak bilinmektedir. Braun'un bu keşfinden sonra Pickard (1906), silisyum kullanarak metal-yarıiletken kontağına dayalı bir detektör patentini aldı. Pierce (1907), metal teli yarıiletken yüzeye nokta kontak oluşturmuş ve elde ettiği MS eklemine doğrultucu özelliklerini incelemiştir (Neamen 2003).

1931 yılında başta Schottky olmak üzere, Störmer ve Waibel MS kontakların doğrultma özellikleriyle ilgili ilk çalışmayı yapmışlardır (Schottky 1931). Wilson ise Kuantum mekaniğini ilk olarak MS diyotlara uygulayan kişi olmuştur (Wilson 1932). Wilson, yaptığı çalışmalar sonucunda kuantum mekaniksel tünellemeyi ve doğrultma için ters polariteyi bulmuştur.

Schottky ve Mott birbirlerinden bağımsız olarak 1938 yılında yaptıkları çalışmalarla doğrultma mekanizmasının elektronların potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon şeklinde geçişiyle açıklanabileceğini ileri sürdüler. Bu teoriye göre, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki nicelik farkı oluşan potansiyel engelin nedenidir. Bu model ile metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin elektron ilgisinin farkı alınarak potansiyel engelin büyüklüğü elde edilir (Rhoderic ve Ark. 1988).

Schottky daha sonra yaptığı çalışmalarda engel yüksekliğinin, metalin iş fonksiyonu haricinde, metal ile yarıiletken kontağın hazırlanma yöntemlerine bağlı olduğu sonucuna varmıştır. Schottky-Mott teorisi, ideal diyotlar için hazırlanmış bir teoridir. Oysaki laboratuvar ortamında yapılan MS kontaklarda bir ara yüzey oluşur. Bu ara yüzeyin elektronik özellikleri, diyotun karakteristik özelliklerini etkilemektedir. Bu durum beraberinde yeni bir açıklama ihtiyacını getirmiş ve Bardeen yeni bir model üzerinde çalışmış ve geliştirmiştir. Bardeen, bu modelinde MS yüzeylerde yeterli sayıda yerel elektronik hallerin olması durumunda, potansiyel engel yüksekliği metalin iş fonksiyonundan bağımsız olacağını savunmuştur (Bardeen 1947).

Rhoderick ve Card'ın yaptığı çalışmalar, Bardeen'i destekleyen çalışmaların ilkleridir. Rhoderick, Card ve Bardeen MS kontağın ara yüzey hal yoğunluğunu

2. KAYNAK ÖZETLERİ

belirlediler ve bu ara yüzey hal yoğunluğu ile arayüzey tabakasının $I-V$ karakteristiklerinin, idealite faktörü üzerine etkilerini açıkladılar (Rhoderic ve Card 1971).

Mönch engel yüksekliğinin homojensizliğinden dolayı idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin diyottan diyota farklılık gösterebileceğini göstermiştir (Mönch 1987).

Cheung, daha sonra ideal ve ideal olmayan diyotlar üzerinde, doğru beslem $I-V$ grafiklerini kullanarak, Schottky diyotlarda engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direncini hesaplamak için farklı bir hesaplama yöntemi uyguladı. Bu uygulama sonralarında ise seri direncin yanı sıra, paralel direncin hesaplanması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Cheung ve Cheung 1986).

Hassas deneyler yapılmasına rağmen MS diyotlarında çok ince bir tabaka oluşmuştur. Diyot özelliklerini etkileyen bu ara yüzey (yalıtkan) tabaka, MS diyotunu MIS (Metal-insulator-semiconductor) diyotuna dönüştürür. Ara yüzey tabakasının elektroniksel özellikleri diyot karakteristiğine önemli etkileri vardır. Cowley ve Sze, Schottky diyotlarına ara yüzeylerin etkilerini ilk olarak inceleyen kişilerdir. Yaptıkları bu çalışmalarla ara yüzeylerin kalınlığının, idealite faktörüne ve engel yüksekliğine nasıl etkilerinin olduğunu, doğru beslem $I-V$ grafiğini inceleyerek açıklamışlardır (Cowley ve Sze 1965).

Ara yüzey durumlarının, Schottky kontaklarının elektriksel davranışlarını nasıl etkilediğini Tseng ve Wu 1987'de incelediler. Ara yüzey hallerinin Schottky kontaklarının $I-V$ davranışı üzerine etkilerini inceleyen Tseng ve Wu yaptıkları çalışmalarla bu karakteristiklerden, ara yüzey hallerinin enerji dağılımını ve ara yüzey hallerinin sığasını hesapladılar. Rhoderick, Horvarth ve Card onlardan bağımsız olarak ara yüzey hallerinin diyot karakteristiğine etkilerini incelediler. Rhoderick, Horvarth ve Card'ın yaptıkları çalışmalarla ara yüzey durum dağılımı ve ara yüzey tabaka kalınlığının düz ve ters beslem $I-V$ karakteristiğinden elde edileceğini gösterdiler (Crowell 1966).

Chattopadhyay ve Daw MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) diyotlarının, $I-V$ karakteristiklerinin ve diyotların engel yüksekliğinin oksit kalınlığına bağlılığının, Cowley ve Sze'nin engel yüksekliği modeline uyduğunu bulmuşlardır. Dahası, ara yüzeyde oluşan oksit tabakasının kalınlığa göre, engel yüksekliğinin değişimini

incelediler (Chattopadyay 1995).

Türüt ve Sağlam Au-Sb/Al Schottky diyotlarının I - V grafiğindeki doğrusallıktan sapmayı, ara yüzey hallerinin artık sığası yardımıyla açıklanabileceğini göstermiş oldular. (Türüt ve Sağlam 1992).

CdO yarıiletken filmi n-tipi yarıiletken olup kristal yapısı NaCl (FCC) yapısına benzemektedir. Ayrıca 2,3–2,7 eV direkt geçişli yasak enerji aralığına sahiptir (Ma, Ye ve Wang, 2003). CdO' nun yasak enerji aralığı diğer TCO'lar karşılaştırıldığında daha dardır ve diğer TCO'lardan beş ile on kat daha fazla yüksek elektron mobilitesine sahiptir (Li ve ark, 2001).

CdO yarıiletken bileşiği son yıllarda, güneş pillerinde, transparan elektrotlarda, fototransistörlerde, gaz sensörlerde, fotodiyotlarda, fotovoltaik ve optoelektronik devrelerde yansıma yapmayan kaplamalarda kullanılmaktadır (Jayakrishan ve Hodes, 2003; Zhao ve Morel, 2002; Lokhande ve Uplane, 2001; Ashrafi ve Kumana, 2002; Ferro ve Rodriguez, 2001).

Ocak ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, metilen mavisini MS diyotunda ara yüzey tabakası olarak kullanmışlardır. Bu diyotun I - V ölçümlerini almışlardır. Sn/p-Si MS diyotunun hesaplamalarında, metilen mavisinin engel yüksekliğini büyük oranda değiştirdiğini, bundan dolayı diyot karakteristiğine büyük etkilerinin olduğunu bulmuşlardır (Ocak ve ark. 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada katkısız ve İtiryum katkılı CdO ince filmleri ile heteroeklemler oluşturulup karakterize edilmiş, İtiryum katkısının heteroeklemlerin elektriksel ve fotoelektriksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, başlangıçta, İtiryum katkılı CdO ince filmleri p-Si yarıiletkeni üzerinde oluşturulmuştur. Oluşturulan ince filmlerin yüzey ve yapısal özellikleri atomik kuvvet mikroskobu ve x-ışınları kırınımı ile incelenmiştir. Daha sonra oluşturulan yapılar üzerine Al metali buharlaştırılarak metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si yapıları elde edildi. Elde edilen bu diyotların, elektriksel ve fotoelektriksel özellikleri ile birlikte akım-gerilim ($I-V$) grafiği çizilerek incelendi.

Bu bölümde, metal-yarıiletken kontakların fiziksel özellikleri ve kontak noktasında oluşan elektriksel olaylar termoyonik emisyon teorisi kullanılarak anlatılacaktır. Oluşturulan MIS yapıların kapasite özellikleri ve ara yüzey durumları açıklanacaktır. Ayrıca bir diyotun fotovoltaiik karakterizasyonunun nasıl yapıldığı açıklanmaya çalışılacaktır. Çalışmada kullanılan atomik kuvvet mikroskobu ve x-ışınları kırınımı yöntemlerinden de bahsedilecektir.

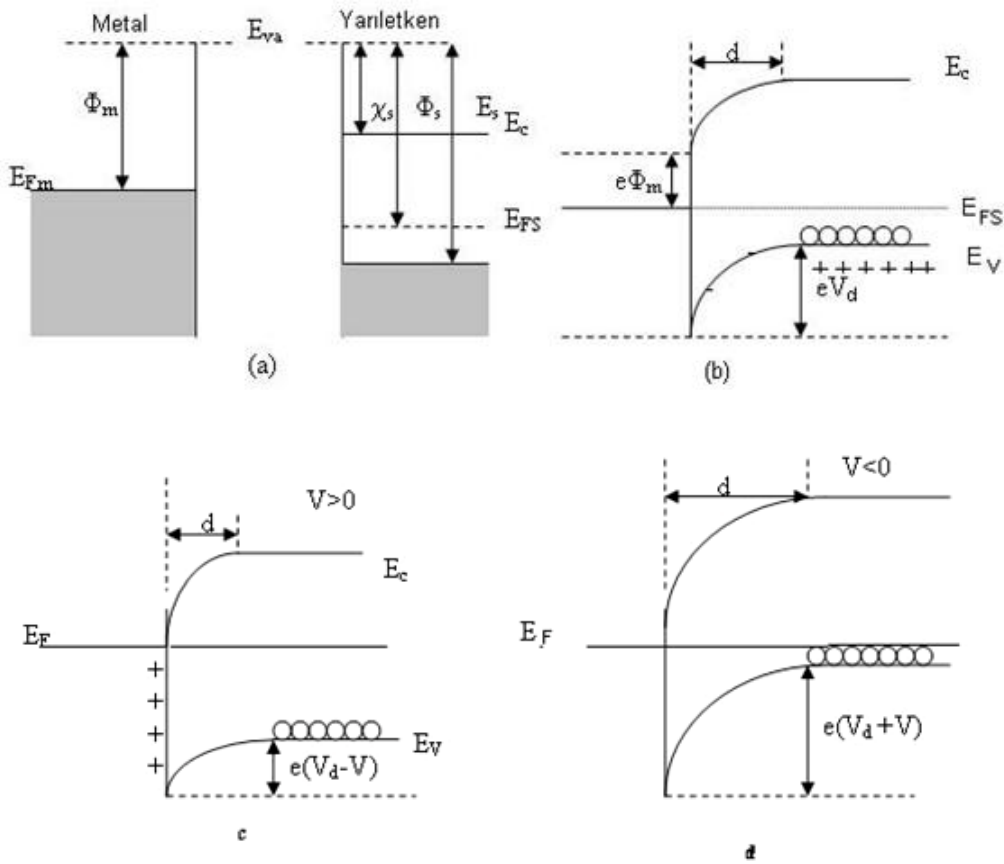
Bu bölümün sonunda ise, yapılan deneylerin tüm basamakları, hesaplanma metodları ve çizilen grafikler açıklanacaktır.

3.1.Metal-Yarıiletken Kontaklar

Schottky diyotların, karakteristik parametrelerinin, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin araştırılabilmesi için kristale uygun kontakların uygulanması gerekir. İyi bir kontak, kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemesinin, en az dirençle temas etmesidir. Kontakın ideal olması için, kontak malzemelerinin yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olması gerekir. Kontak haline getirilen maddeler arasında, elektrokimyasal potansiyelleri aynı seviyeye gelinceye kadar bir yük alışverişi meydana gelir. Metal-yarıiletken kontaklar, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına (Φ_m ; metalin iş fonksiyonu, Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonu) bağlı olarak omik ve doğrultucu kontak (Schottky kontak) olmak üzere iki kısımda ele alınır. p-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ ise omik kontak eğer $\Phi_m < \Phi_s$ ise doğrultucu kontak meydana gelir. n- tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda ise omik kontak $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda ise doğrultucu kontak meydana gelir.

3.1.1. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metaller, yarıiletkenler ile kontak haline getirildiğinde, bu iki madde arasında yüklerin yeniden dağılımı meydana gelir. Yük dağılımı ise her iki maddenin Fermi seviyeleri yani elektrokimyasal enerjileri aynı seviyeye gelinceye kadar devam eder ve bu şekilde denge durumuna ulaşılmış olur. Bir metal yarıiletken kontakta doğrultucu kontak demek, yük taşıyıcıların bir doğrultudan diğer doğrultuya göre daha rahat geçebilmesidir. Dolayısıyla doğrultucu kontakta, bir doğrultudaki akım diğer doğrultuya göre daha rahat bir şekilde geçer.



Şekil 3.1. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu diyotun enerji bant diyagramları

kontak yapılmadan önceki enerji bant yapısı. **b)** kontak yapıldıktan sonraki enerji bant yapısı. **c)** düz belsem uygulanan kontakın enerji bant yapısı ($V > 0$). **d)** ters belsem uygulanan kontakın enerji bant yapısı ($V < 0$).

Kontak yapılmadan önce, metalin ve bir yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Şekil 3.1a)'da verilmiştir. Eğer kontak yapıldıktan sonra, voltaj uygulanmamışsa enerji

bant diyagramı şekildeki (Şekil 3.1b) gibi olacaktır. Enerji bant yapısının (Şekil 3.1c) gibi olması için kontak yapılıp düz belsem uygulanması ($V>0$) gerekir. Enerji bant yapısının (Şekil 3.1d) gibi olması için kontak yapılıp ters belsem uygulanması ($V<0$) gerekir.

Bir yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden daima $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıda olur. Kontak yapıldıktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar, metalden yarıiletkene elektron akışı olur. Bunun sonucunda, yarıiletken tarafındaki holler, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki negatif yüklü iyonize haline gelmiş akseptörler, d kalınlığındaki uzay yük tabakası içerisinde yayılır. Yarıiletkenin gövdesindeki enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındaki holler için yüzey engeli:

$$eV_{diff} = \Phi_s - \Phi_m \quad (3.1)$$

olur. Buradaki V_{diff} , difüzyonun potansiyelidir. Yarıiletkenin içindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır. Kontakın metal tarafındaki holler için engel yüksekliği ise:

$$e\Phi_b = E_s - \Phi_m \quad (3.2)$$

Termal uyarılma yapıldığında, yarıiletkendeki bazı boşluklar potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanır ve metalin içine geçer. Metalde termal olarak oluşan bazı boşluklar aynı şekilde, engeli aşacak kadar enerji kazanır ve yarıiletken içine geçer. Bu şekilde, kontakta engelden geçen zıt yönlü iki I_0 akımı meydana gelir. Bir yarıiletkene V gerilimi uygulanırsa (Şekil 3.1b), soldan sağa akan boşluk akımında değişiklik olmaz, fakat sağdan sola akan boşluk akımı $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar bir değişiklik meydana gelir. Bu sebepten dolayı yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü eV kadar düşer ve bunun sonucuna bağlı olarak sağdan sola yani yarıiletkenden metale geçen boşluklar için engel yüksekliğinde eV kadar azalma olur. Sonuç olarak sağdan sola akım doğrultusu (yarıiletkenden metale doğru geçen boşlukların meydana getirdiği akım) pozitif olarak kabul edilse, karakteristik akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

ifadesiyle elde edilir. Eğer bu ifadede $eV \gg 3kT$ olursa 1 sayısı ihmal edilebilir. Bu ifade ise, doğrultucu kontakın akım denklemi ifadesidir. Bu denklemde R_s seri direnç

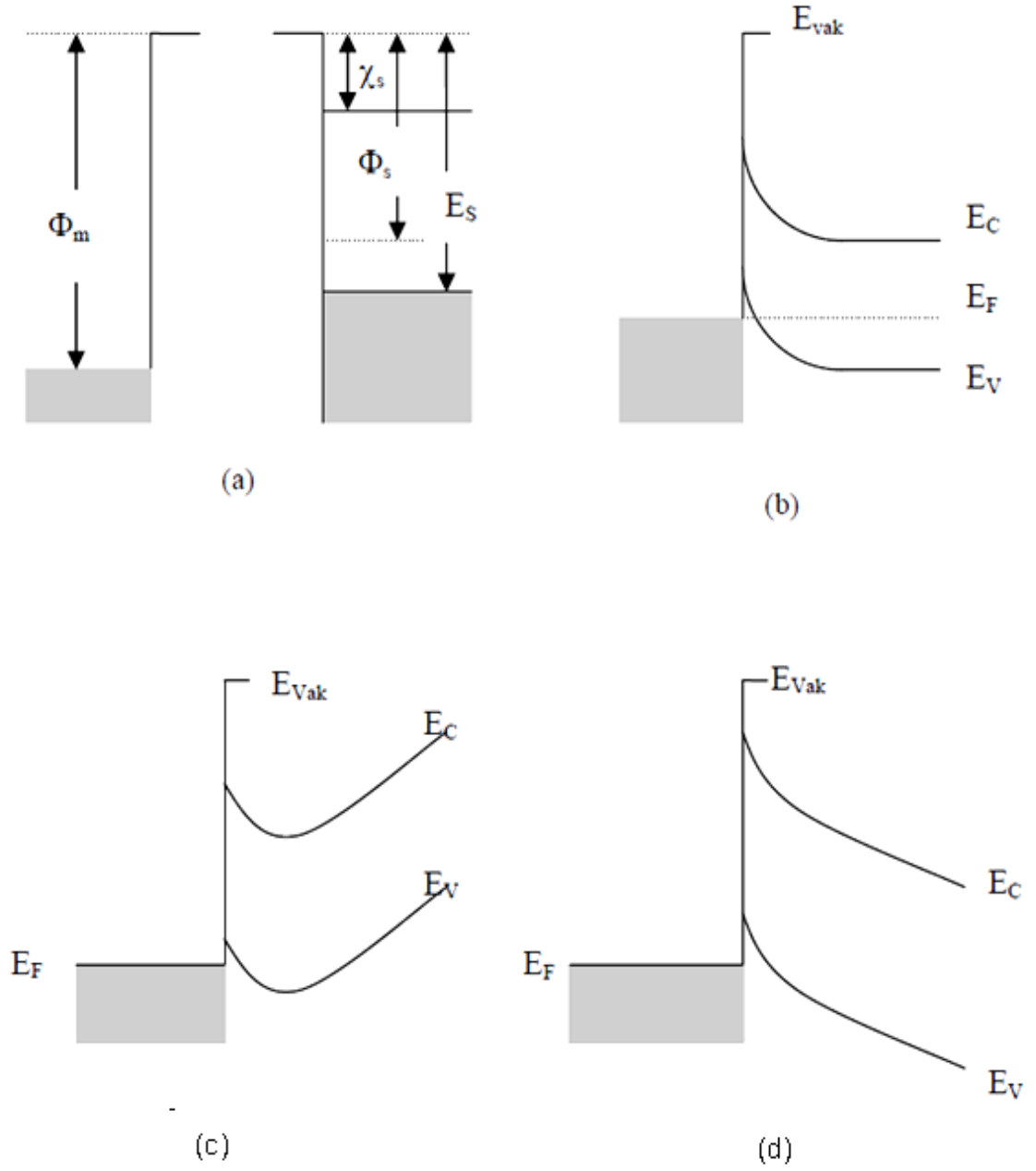
I_0 doyma akımı, k Boltzmann sabiti, V uygulanan potansiyel ve T Kelvin cinsinden sıcaklık ifadesidir.

3.1.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Omik kontaklar üç farklı yöntem kullanılarak elde edilir.

1. Engel yüksekliği düşük olan bir metal-yarıiletken, eklem oluşturmak suretiyle elektronların her iki yönde de geçiş yapabileceği doğrultucu olmayan bir kontak ile elde edilebilir.
2. Engel yüksekliği yüksek olan metal-yarıiletken eklem ise, arasındaki elektronların tünelleme yapabileceği dar bir potansiyel engeli oluşturmak suretiyle doğrultucu olmayan bir kontak ile elde edilebilir. Bu tünelleme engeli, yarıiletken yüzeyini aşırı tiplilik (n^{++} veya p^{++}) gösterecek şekilde katkılanmak suretiyle elde edilebilir.
3. Termal difüzyonla dar bant aralıklı ve taban malzeme ile aynı özellikte bir alaşım tabakası oluşturmak sureti ile omik kontak elde edilebilir.

$\Phi_m > \Phi_s$ durumunu göz önüne alalım. Şekil 3.2a' da görüldüğü gibi bir yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıda olur. Kontakta sonra ise, bir yük alışverişi meydana gelir. Yarıiletkenlerdeki elektronlar, geride pozitif yüzey yükü (oluşan boşluklardan dolayı) bırakarak ve metal tarafında bir negatif yüzey yükünü oluşturarak metal tarafına geçerler. Bunun sonucuna bağlı olarak yarıiletkendeki Fermi seviyesi Şekil 3.2b'deki gibi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı kayar. Boşluk konsantrasyonunun artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi haline gelir ve bu yüzden elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolay bir şekilde geçerler. Bu yük hareketi, boşlukların yarıiletkenden metale akışına karşılık gelmiş olur. Metal tarafına geçen boşluklar, yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı hemen nötralize olurlar. Ters belsem ($V < 0$) durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak meydana gelen boşluklar da kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçerler. Böyle her iki doğrultuda da akımı kolayca geçirebilen kontaklar, omik kontaklar olarak adlandırılırlar.



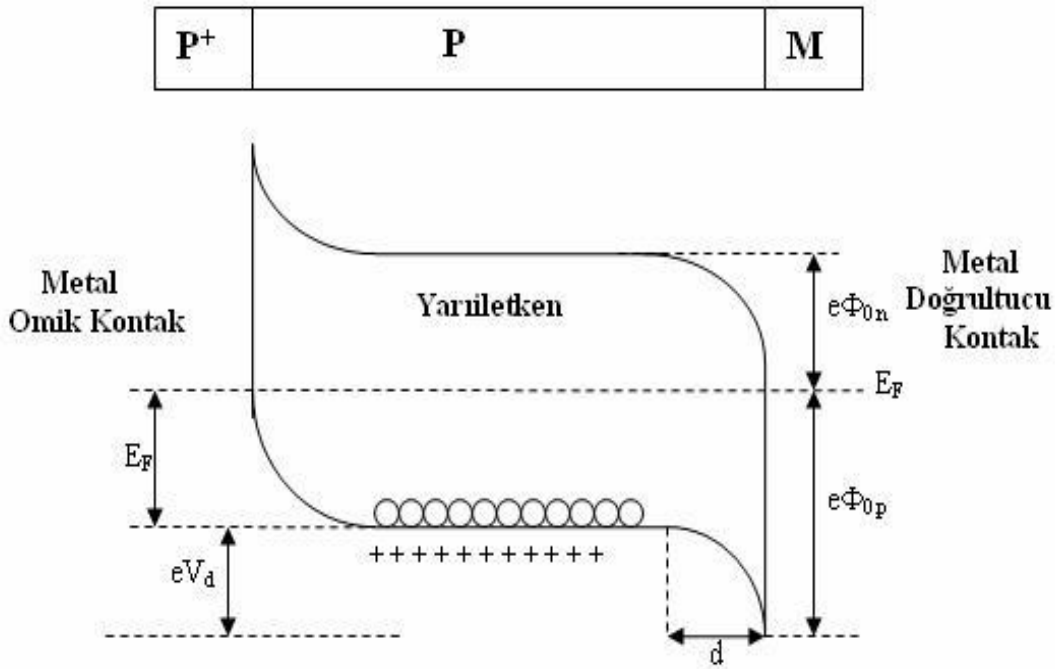
Şekil 3.2. Metal /p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar. a)Kontakt yapılmadan önceki enerji bantları. b)Kontakt yapıldıktan sonra sıfır beslem ($V=0$) durumundaki enerji bantları. c)Kontakt yapıldıktan sonra düz beslem ($V>0$) durumundaki enerji bantları. d)Kontakt yapıldıktan sonra ters beslem ($V<0$) durumundaki enerji bantları.

3.1.3.Metal /p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı

Metal p-tipi yarıiletken metal (P^+PM) yapısı, p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine uygulanan PM doğrultucu kontağı ile diğer yüzeyine uygulanan boşluk bakımından çok zengin omik kontağından oluşur. Termal dengede, böyle bir yapının enerji bant diyagramı Şekil-3.3'deki gibi gösterilir. P^+ omik kontak tarafına, $V>0$ olacak şekilde gerilim uygulanırsa, bu yapı doğru belsemde olmuş olur. Eğer P^+ tarafına $V<0$ olacak şekilde bir gerilim uygulanırsa, bu yapı ters belsemde olmuş olur. P^+PM yapısı, diyot özelliğine sahip bir yapıdır. Böyle bir yapı kısaca yarıiletken diyot olarak ifade edilir. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi boşluklar için bariyer yüksekliği (Φ_{po}):

$$e\Phi_{po} = eV_d + E_F \quad (3.4)$$

ifadesinden elde edilir.



Şekil 3.3 P^+PM yarıiletken diyot yapısının termal dengedeki enerji bant diyagramı

3.2. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi

3.2.1. Hava Kütlesi

Güneşin yüzeyi, 5762 K kara cisim radyatörünün spektrumu ile aynı özelliklere sahiptir. Güneş, dünyadan oldukça uzak olduğundan dolayı dünya tarafından emilime uğrayan ışınların paralel geldiği varsayılır.

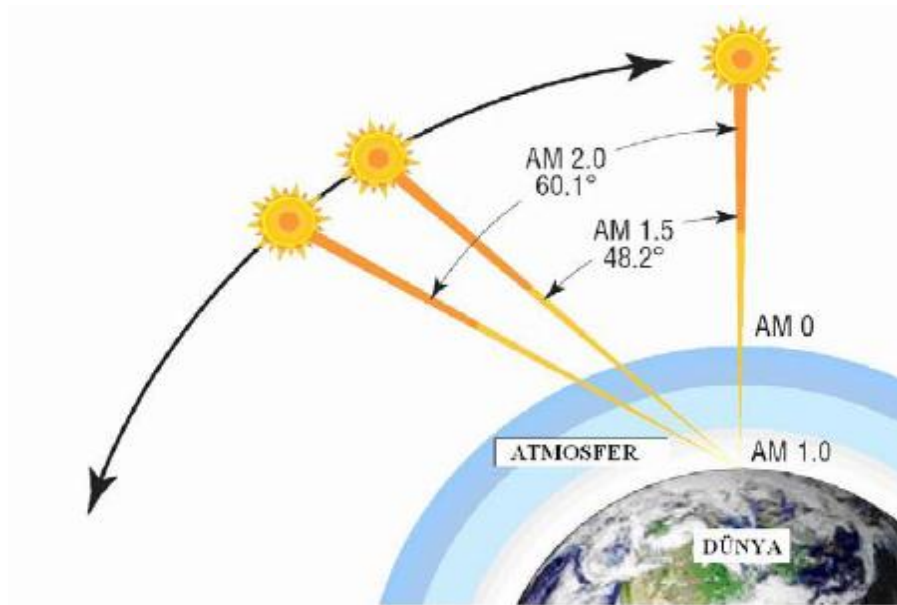
Atmosfer üzerinde, ışıının yoğunluğu yaklaşık olarak 1353 W/m^2 dir ve bu ışıının spektral dağılımı sıfır hava kitlesi (AM0) olarak kabul edilir. Hava kitlesi, dünya yüzeyine ulaşan ışıının spektrumunun ve yoğunluğunun atmosfer tarafından ne kadar etkilendiğini gösteren ölçü hava kitlesi ölçüdüdür. Hava kitlesi (Air Mass)

$$\text{Air Mass} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (3.5)$$

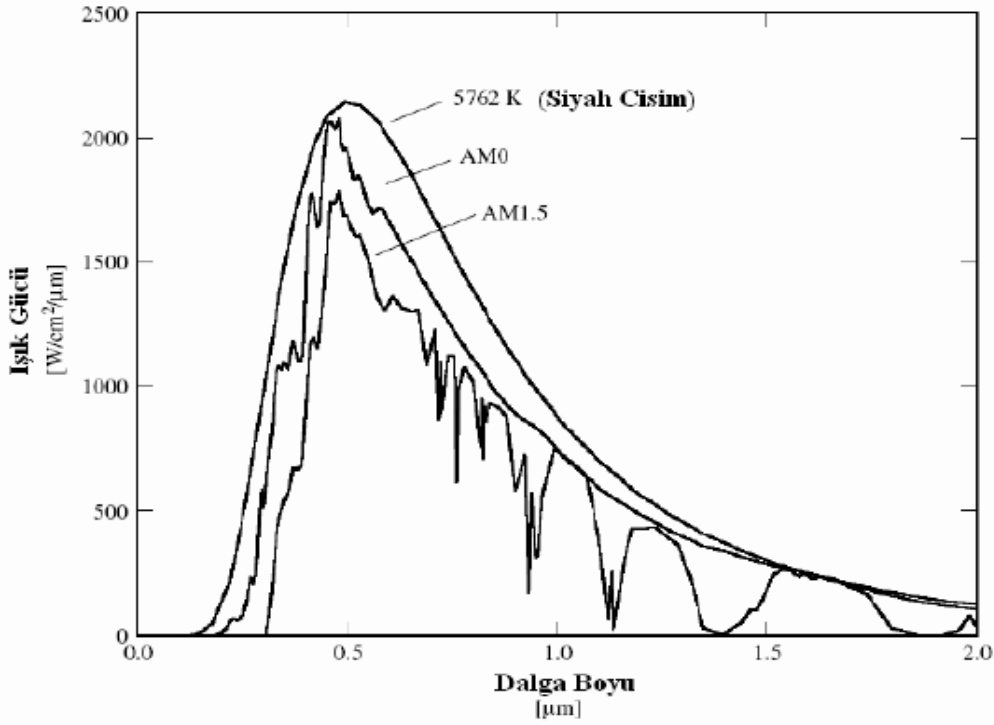
Şeklinde ifade edilebilir. Burada θ ışıının geliş açısı olarak kabul edilir. Green, hava kütlesinin daha kolay bulunması için aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Green 1992).

$$\text{Air Mass} = \sqrt{1 + (L/H)^2} \quad (3.6)$$

buradaki H cismin boyu ve L gölge boyu olarak kabul edilir. Güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılmasında standart olarak AM1.5 spektrumu ve toplam 1000 W/m^2 güce sahip ışık kullanılır. Şekil 3.4 hava kitlesi numaralarına göre güneş ışıının dünyaya gelişini ve Şekil 3.5 kara cisim ışımasını, AM0 ve AM1.5 spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 3.4. Hava kitle numarasına göre ışıının dünyaya geliş açılarının gösterilişi (Ocak 2010)



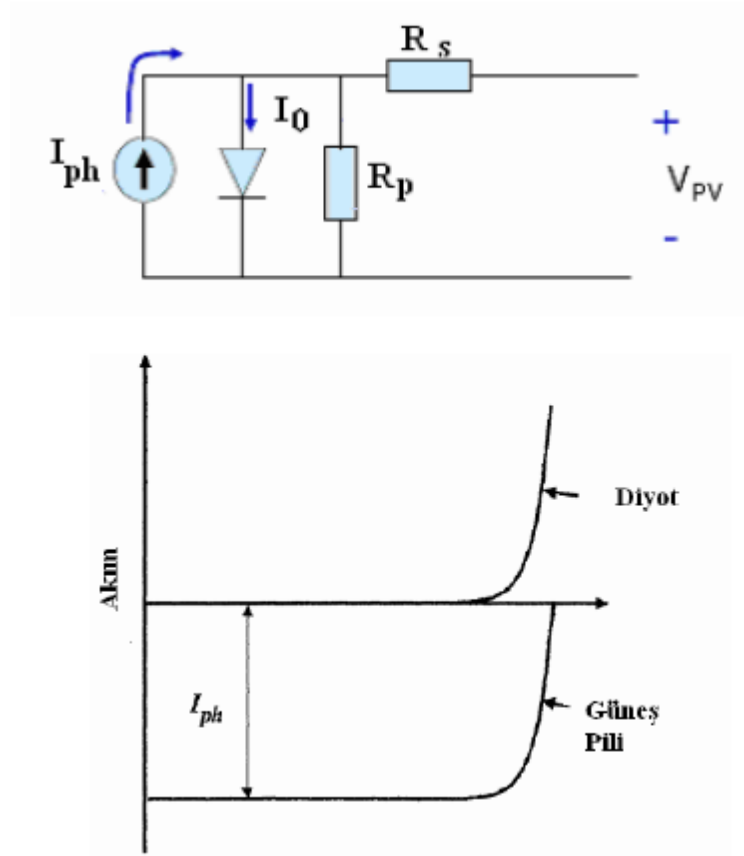
Şekil 3.5. Kara cisim ışması, AM0 ve AM1.5 spektrumları gösterimi

3.2.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu

Güneş pillerinde fotovoltajik enerji dönüşümünde iki basamak bulunur. Bunlardan birincisi, soğurulan ışık tarafından elektron-boşluk çiftlerinin oluşması ve bu elektronların güneş pilinin negatif terminaline ve boşlukların pozitif terminale doğru hareket etmesidir. Böylece elektriksel güç elde edilmiş olur. Bir güneş pili Şekil 3.6a'daki gibi doğrultucu bir diyota bağlanmış bir akım kaynağı açıklanabilir. Şekil 3.6b'de ise diyot ve güneş piline ait akım gerilim grafiklerinin üst üste binmesi gösterilmiştir. Bir pilin akım gerilim karakteristiği Shockley tarafından

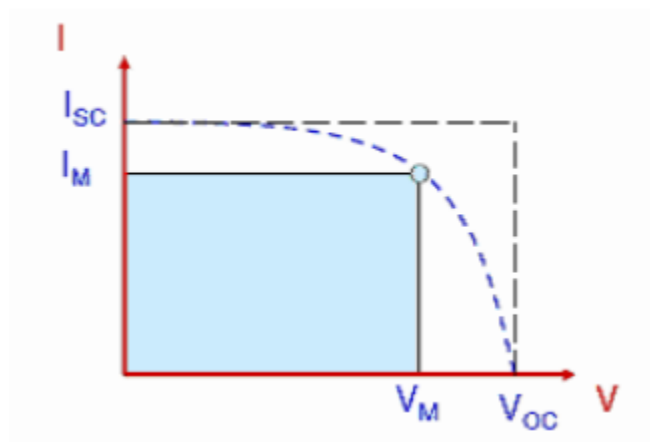
$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.7)$$

şeklinde açıklanmıştır (Shockley 1950). Burada gösterilen T mutlak sıcaklık, k Boltzmann sabiti, q elektron yükü ve V pilin iki terminali arasına uygulanan gerilim olarak ifade edilir. Buradaki I_0 doyma akımını ifade eder ve karanlık altında güneş pilinin klasik doğrultucu kontak gibi davrandığını gösterir.



Şekil 3.6. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterilişi b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği

I_{ph} ışık tarafından oluşturulan bir akımdır ve pil üzerine düşürülen foton akışı ile ilişkisi vardır. Grafikte gösterilen V_m ve I_m ifadeleri sırasıyla maksimum gücün elde edildiği akım ve gerilim değerleridir.

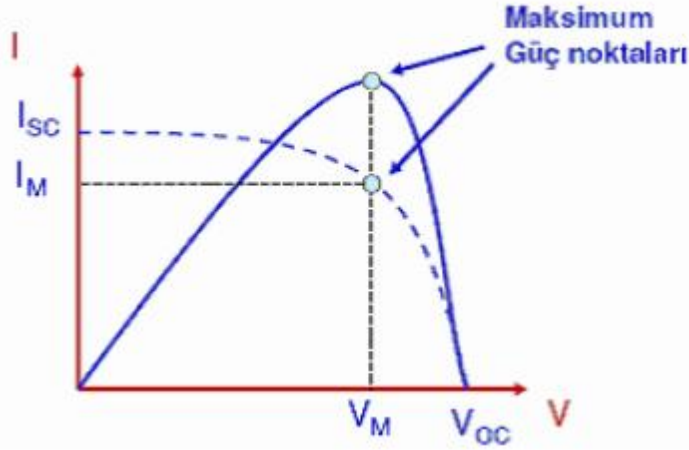


Şekil 3.7. Güneş pillerinde akım-gerilim grafiği

Pil tarafından üretilen güç ise şekil 3.8'de gösterilmiştir. Pilden elde edilen maksimum güç;

$$P_{max} = I_{max}V_{max} \quad (3.8)$$

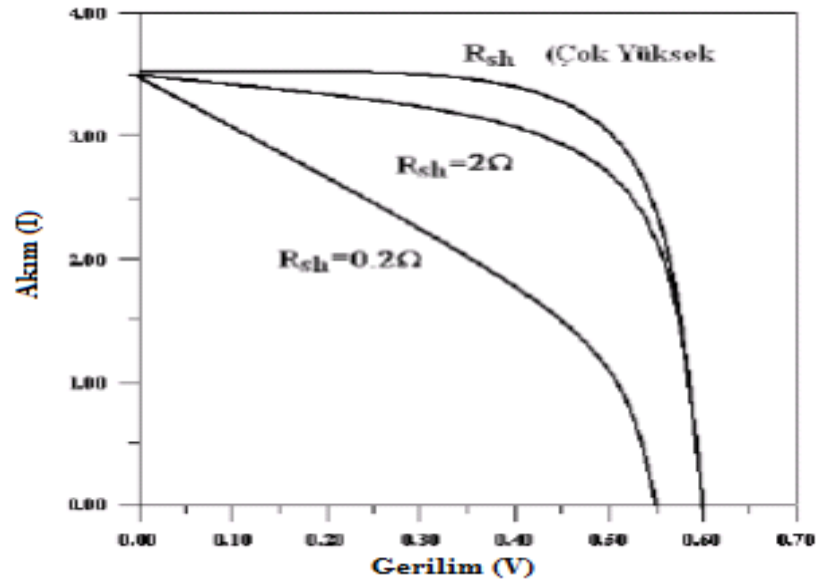
olarak ifade edilir. Güneş pilinin enerji dönüşüm verimi (η), pil devreye bağlandığında soğurulan ışık enerjisinin, elektrik enerjisine çevrilme yüzdesi olarak açıklanır. Burdaki ifade pilden elde edilen maksimum gücün pil üzerine düşürülen ışığın gücüne oranıdır.



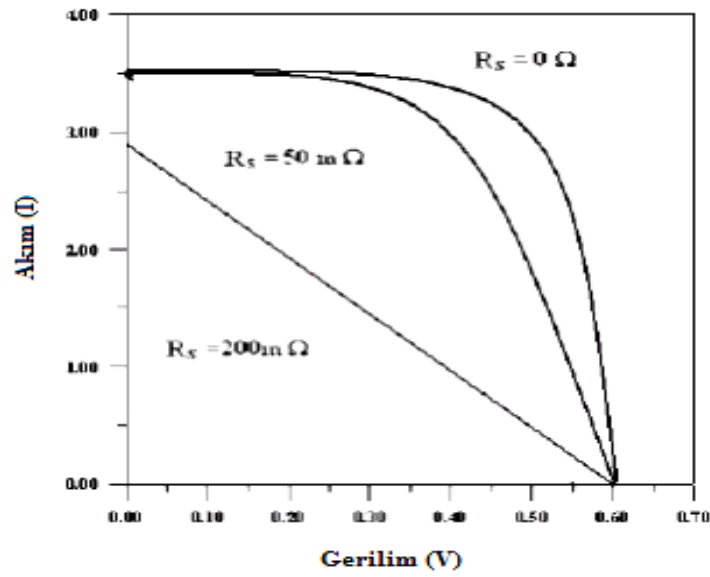
Şekil 3.8. Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterilmesi

Şeklinde gösterilir. Burada P_{in} pil yüzeyine düşürülen ışığın güç ve S pilin etkin alanıdır. Bundan dolayı ölçümlerde kullanılan simülatörün ışık gücü ile pilin etkin alanının çarpılması ile net güç elde edilir. Güneş pillerinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre ise doluluk oranıdır. Bu terim, elde edilen maksimum gücün açık devre gerilimi ile kısa devre akımlarının çarpımına oranıdır ve (3.8) formülü ile gösterilir (Gray 2003).

Bir güneş pilinin doluluk oranı, bu pilin seri ve paralel direncinden doğrudan etkilenir. Paralel direncin artması ve seri direncin düşmesi sonucu doluluk oranını artar ve dolayısıyla pilin verimi de artmış olur. Şekil.3.9 ve şekil 3.10'da güneş pillerinde doluluk faktörüne ve dolayısıyla pil verimine seri direnç ve paralel direncin etkilerini göstermektedir.



Şekil 3.9. Güneş pili üzerine paralel direncin etkisi ($R_s=0$ durumunda)



Şekil 3.10. Güneş pili üzerine seri direncin etkisi ($R_p=\infty$ durumunda)

3.3.İnce Filmlerin Yapısal ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi

3.3.1.X Işını Kırınımı (XRD)

Röntgen'in 1885'te keşfedilişinden bu yana, x ışınları önce tıpta tanı amaçlı kullanıldı. Daha sonra bunu fizik ve malzeme bilimi uygulamaları takip etti ve bugün hemen hemen her alanda kullanılmaktadır.

Doğal ve yapay yoldan elde edilen maddeleri anlamak için onların kristal yapılarının ayrıntılı biçimde anlaşılması gerekmektedir. Bu bilgi fizik, kimya, biyoloji ve malzeme bilimi gibi araştırmaların temelini oluşturmaktadır. X ışınları kırınımı tekniği çeşitli deneysel ve metotlar için anahtar bir seçimdir.

İnorganik maddelerin ve katı maddelerin çoğu kristal yapıdadır. X ışınlarının bir kristal maddeyle etkileşmesi sonucunda kırınım denilen bir esnek çarpışma meydana gelir. Klasik elektromanyetik teori ile esnek x ışını saçılması tam olarak tanımlanabilir. Değişen manyetik alandaki bir elektron, alanla aynı frekansta titreşir. Bir x ışını bir atoma çarptığında, atomun etrafındaki elektronlar gelen ışınla aynı frekansta titreşmeye başlar.

X ışını kırınımı metodu yarıiletkenlerin yapısal özelliklerini tayin etmede kullanılan en kuvvetli tekniklerden biridir. Bu teknikte bir numune hizalanmış x ışını (dalga boyu yaklaşık olarak 0,5 ve 2 Å seviyesinde) demetine maruz bırakılır. Burada saçılan x ışınları uygun bir detektörle tespit edilir. Daha sonra numune konumu, detektör ve numunenin özel kristal yapısı gibi faktörlere dayalı olarak XRD deseni kaydedilir. Böyle bir desende saçılma açısının bir fonksiyonu olarak saçılmış x ışını yoğunluk çiziminde pikler vardır. (Bu piklerin saçılmış x ışınlarının yapıcı girişimi sonucu olduğuna dikkat edilmelidir.) XRD' de x ışınları kristal malzeme içinde Bragg Yasası'na göre kırınım yapar.

Mevcut bulunan fazlarda, kristal yapı, kusurlar, kristalit boyutlar ve kristal yönelimi hakkında bilgi edinilebilir. XRD'nin rutin uygulamalarından biride faz belirlemedir ve burada hesaplanmış (ve pik yoğunluğu) kırınım spektroskopisi ile literatürde verilen ve bilinen standartlar için karşılaştırma yapılır. Kristalografik yönlerin göreceli pik yoğunlukları ile tercihli tanecik yönelimi çıkarılabilir. XRD metodunun en belirli avantajları; analiz hava ortamında yapılır ve geniş yüzeyli örnekler küçük bir hazırlıkla kullanılabilir (Yacobi 2003).

Laue x ışını kırınımının keşfinden hemen sonra, x ışını kırınımı desenlerini elektromanyetik dalgaların atomlardaki elektronlar tarafından saçılmasını göz önüne alarak teorik çıkarımına girişmiştir. Bir başka çıkarım ise x ışınlarının atomik düzlemde

yansıtıldığını kabul eden Bragg tarafından yapılmış ve bu yaklaşıma göre Laue'nin yaklaşımı daha kesin olmakla birlikte Bragg'inkiyle aynı sonuçları verir.

3.3.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM)

Atomik kuvvet mikroskobu, sıvı yada katı örneklerin yüzey topografisini nanometre (nm) seviyesinde görüntüleyebilen ve ölçebilen bir sistemdir. Örnek ile iğne arasındaki kuvvet etkileşimi sonucu kaldıraç mekanizması nm ölçeğinde hareket eder. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığı ile derlenerek ya örneğin görüntüsü elde edilir ya da iğne ile örnek arası etkileşimler ölçülür (Doğan 2004).

AKM çalışma ilkesi özellikleri ve kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

1. Hassas bir iğnenin yüzeyi taramasıyla, yüzeyin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntüsü elde edilir.
2. Örneğin iletken olma koşulu yoktur.
3. Örnek hazırlama, kullanım kolaylığı ve kapladığı hacim ile SEM'e alternatif bir mikroskobik tekniktir.
4. Hava, sıvı, vakum ortamlarında görüntüleme yapılabilir.
5. Biyolojik örnekler, kaplamalar, seramikler, kompozitler, camlar, metaller, polimerler ve yarıiletkenler gibi materyallerin yüzeyleri ayrıntılı görüntülenebilir ve elektriksel yük, manyetiklik, hidrofilik gibi çeşitli özellikleri belirlenebilir.

3.3.2.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) Çalışma Yöntemleri

a) Kontakt Mode: Bu yöntem ilk geliştirilen yöntemdir. Bu modda cantilever'in ucundaki iğneyle yüzey arasında hafif bir fiziksel dokunma vardır. İyonik itme başrol oynamaktadır. Normal havada cantilever ve yüzeyin temasında örnek yüzeyi nitrojen ve su buharının ince bir tabakasıyla kaplıdır. Bu yüzey gerilimi yüzünden örnek üzerinde ekstra bir güç oluşturmaktadır. Sıvı içinde alınan örneklerde bu olmamakta birlikte sürtünme hatası ortaya çıkmaktadır.

b) Noncontact Mode: Bu yöntemde, AKM atomik kuvvetlerinin yardımıyla cantilever'in eğilmesinden örneğe dokunmadan topografik görüntüyü oluşturur. Bunun için iğne örnekten 50-150 Angstrom uzakta tutulur. Bu uzaklıkta prob ve örnek arasında Wander Waals kuvvetleri etkin olmaya başlayacaktır. Bu kuvvetler göreceli olarak zayıf olduğu için iğne saniyede 100000 defa titreşerek bu etkileşimin saptanmasını kolaylaştırır. Bu Yöntemin en büyük avantajı iğnenin hasar görmemesi ve yumuşak materyallerin daha doğru ölçülmesidir.

3.4. DENEYSEL İŞLEMLER

3.4.1.Giriş

Bu bölümde, önce Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si yapılarını oluşturmada kullanılan CdO ve İtiryum katkılı CdO ince filmin yarıiletken üzerine büyütülmesi, büyütülen filmin yapısal özelliklerinin incelenmesi üzerinde durulacaktır. Daha sonra oluşturulan heteroeklemlerin elektriksel ve fotoelektriksel özelliklerinin nasıl belirlendiği açıklanacaktır.

3.4.2. Omik Kontakların Oluşturulması

Diyotların üretimine ilk önce yarıiletkenlerin temizlenmesi başlandı. Bu çalışmada, 1-10Ωcm dirence sahip bor (B) katkılı, 1cm x1cm ölçülerinde, p-Si yarıiletkeni alttaş olarak kullanıldı. Yarıiletken, yüzeyindeki organik kirlilikten temizlenmesi için, trikloroetilen'de 5 dakika boyunca kaynatıldı. Daha sonra sırasıyla metanol ve asetonda ultrasonik olarak 10 dakika titreştirildi. Yüzeydeki oksit tabakalardan kurtulmak için, p-Si alt taşlar HF:H₂O (1:10) seyreltik çözeltisine 30 saniye süre ile daldırıldı. Yapılan her aşamadan sonra, deiyonize suyla durulandı. Daha sonra, azot (N₂) gazıyla kurutuldu.

p-Si alt taşların mat yüzeylerine termal buharlaştırma yöntemi ile 200 nm Al film oluşturuldu ve oluşturulan yapılar 570 C sıcaklığa ayarlanmış kuvars fırında, Azot gazı ortamında 3 dakika tavlandı. Böylece, yapımızın omik kontak bölümü hazırlanmış oldu.

Omik kontak işleminden sonra, muhtemel oksitlenmeye karşı, yapımızın parlak yüzeyi seyreltik HF:H₂O (1:10) çözeltisiyle temizlendi. Daha sonra deiyonize suda yıkanıp, azot (N₂) gazıyla kurutuldu.



Şekil 3.11. Termal Buharlaştırma Cihazı

3.4.3. İnce Filmlerin Oluşturulması ve Karakterizasyonu

Anorganik filmin oluşturulması için, etanol sıvısı kullanılarak 5×10^{-2} molarlık kadmiyum asetat çözeltisi ile yine etanol sıvısı kullanılarak 1×10^{-2} molarlık İtiryum asetat çözeltisi hazırlandı. Çözeltilerin tamamen karışması için bir gün boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Daha sonra uygun ortamlarda kadmiyum oksit çözeltisinin içine İtiryum çözeltisi katkılındı ve 1 gün boyunca magnetik karıştırıcı yardımıyla tamamen karışması sağlandı.

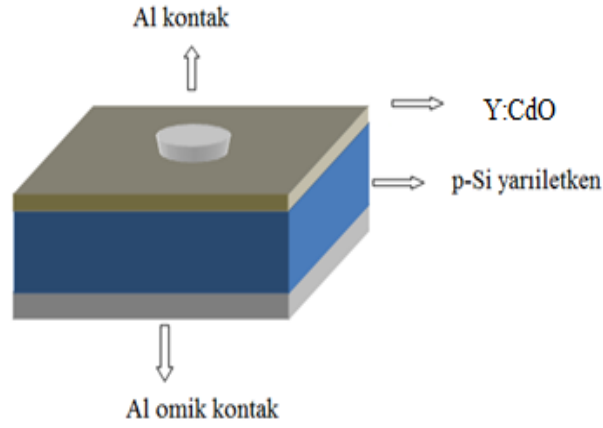


Şekil 3.12. Tavlama İşleminin Gerçekleştirildiği Fırın

Daha önce alttaş olarak kullanılmak üzere temizlenen p-Si alttaşlar spin coating cihazına, parlak yüzey üstte kalacak şekilde yerleştirilip, cihaz dakikada 1000 tur atacak şekilde ayarlandı. Hazırlanan çözelti yavaşça damlatılarak numunenin üzerinde ince film oluşması sağlandı. Yapıların daha iyi kristallenmesi ve kadmiyum oksit filmlerin oluşması için 500 °C’de hava ortamında 1 saat tavlandı.



Şekil 3.13. İnce Filmin Oluşturulduğu Dönel Kaplama Cihazı



Şekil.3.14. Al/Y: CdO/p-Si/Al diyotunun şematik gösterimi.

3.4.4. Akım-Gerilim Ölçümlerinin Alınması

Elde edilen Al/Y: CdO/p-Si yapılarının, elektriksel karakterizasyonunun hesaplanması için, ilk önce bu yapının akım-gerilim (I - V) ölçümleri alındı. Keithley 2400 sourcemeter cihazı kullanılarak yapılan ölçümler ve elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarıldı. Bu ölçümler sonucunda, yapımızın doğrultucu özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

Işık altında yapılan I - V ölçümlerinde, diyotun ışığa karşı duyarlı olduğu görüldü.



Şekil 3.15. Keithley 2400 Sourcemeter ve güneş simülatörü

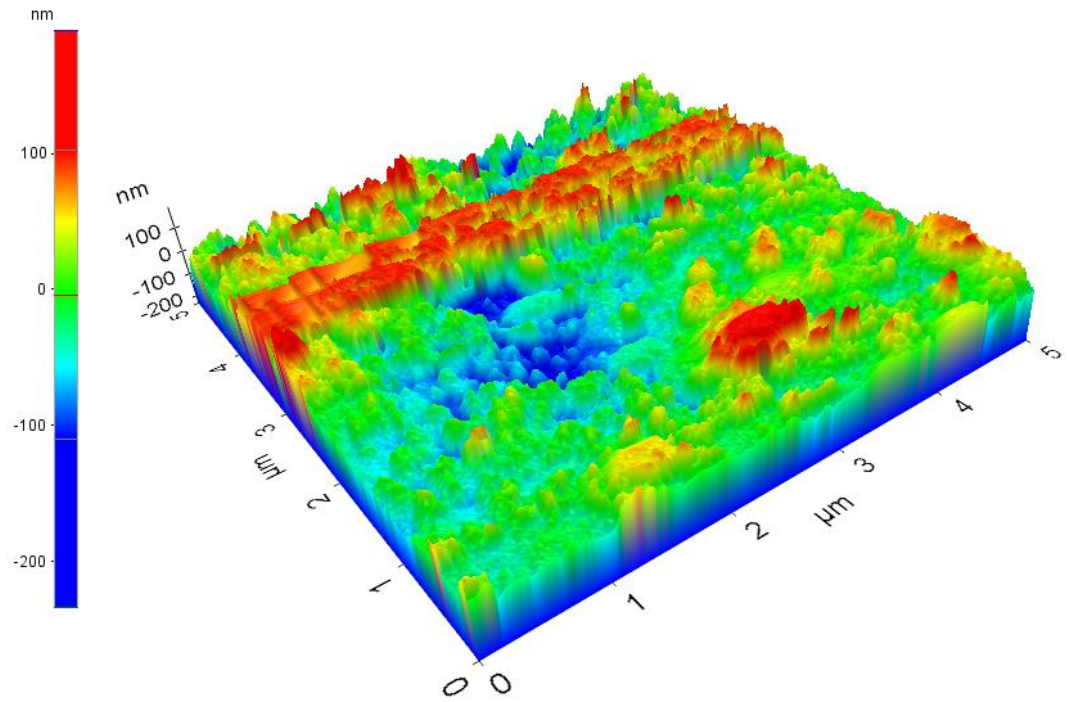
4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Giriş

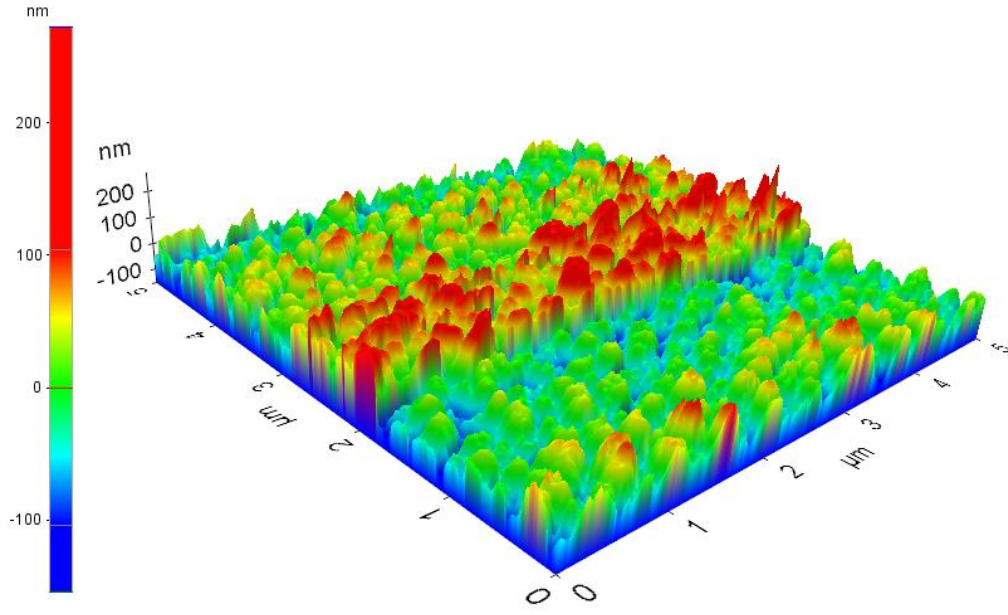
Bu bölümde İtiryum katkılı kadmiyum oksit bileşiği kullanılarak hazırlanan Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si diyotlarının yapısal, elektriksel ve fotoelektriksel özellikleri incelenecektir.

4.2.Y:CdO Filmlerinin Yüzey ve Yapısal Analizleri

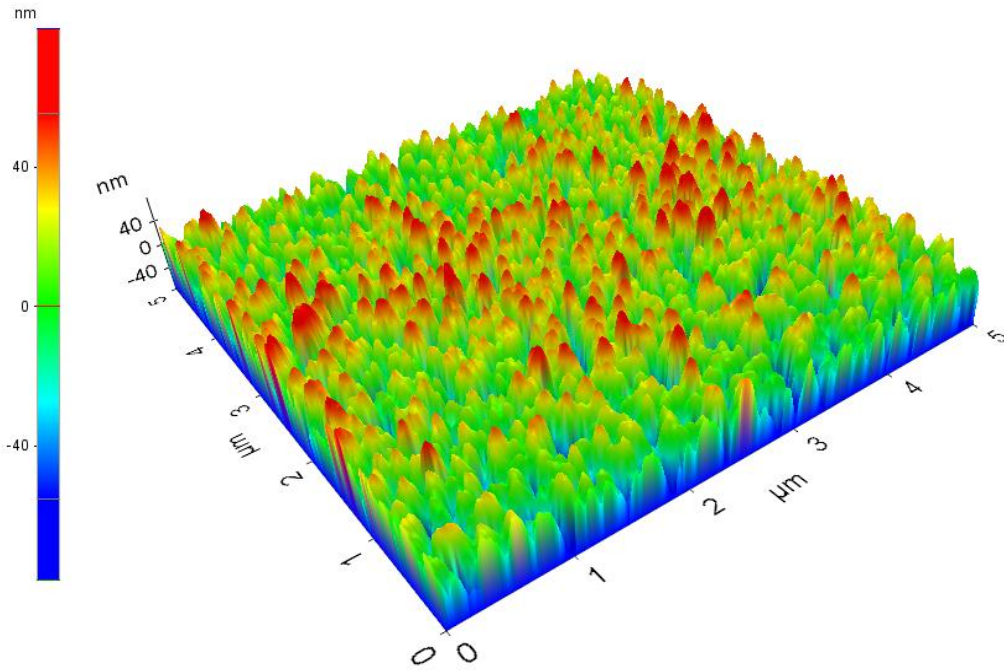
Y:CdO filmlerin yüzey morfolojileri atomik kuvvet mikroskobu (AKM) yardımıyla incelendi. Yüzey morfolojisi heteroeklemlerin elektriksel özelliklerini, kontak yapısını değiştirmek suretiyle etkiler. Yüzey morfolojisi aynı zamanda filmlerin optik özelliklerindeki doğrudan etkiler. Filmlerin $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ AKM görüntüleri şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'te verilmiştir. İtiryum katkı oranı arttıkça tanecik büyüklüklerinin arttığı gözlemlenmiştir. AKM verilerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere katkı oranı arttıkça filmlerin yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.



Şekil 4.1. %2 Y-CdO Yapısına Ait AKM Görüntüsü



Şekil 4.2. %4 Y-CdO Yapısına Ait AKM Görüntüsü

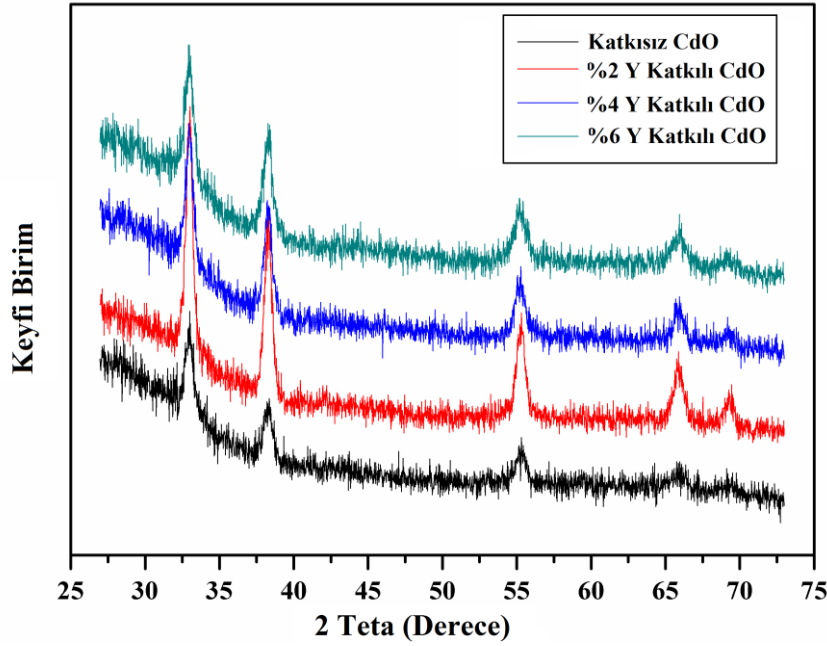


Şekil 4.3 %6 Y-CdO yapısına ait AKM Görüntüsü

Çizelge 4.1. Katkısız ve Y Katkılı Filmlerin Yüze Pürüzlülükleri (nm Cinsinden)

Katkısız CdO	%2 Y Katkılı CdO	%4 Y Katkılı CdO	%6 Y Katkılı CdO
52.74	54.30	53.12	28.21

Şekil 4.4'te Y katkılı ve katkısız CdO filmlerin XRD desenleri verilmiştir. 32,9, 38,23 ve 65,87 açılara karşılık gelen sırasıyla (111), (200) ve (311) düzlem yansımaları görülmüştür ki bu da filmlerin çoklu kristal yapıda olduklarını göstermektedir. Zayıf piklerin şiddeti katkı oranı arttıkça azalmaktadır. Bu, katkı oranının kristal yapıyı bozduğunu göstermektedir. Kristal yapıdaki bu bozulmalar, katkı atomları ve Cd atomlarının boyut farkından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.4. Katkılı ve Katkısız CdO Filmlerin XRD Desenleri

4.3. Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si Heteroeklemlerin Akım-Gerilim

Karakteristiği

Yapılan akım-gerilim (I - V) ölçümlerinde hazırlanan Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si yapılarının doğrultucu özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Belirli bir V potansiyeli altında tutulan bir diyottan geçen akım;

$$I = I_0 \exp \left[\frac{e(V - IR_s)}{nkT} \right] \quad (4.1)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada V uygulanan gerilim, q elektronik yük, R_s seri direnç, n boyutsuz idealite faktörü, k boltzman sabiti, T mutlak sıcaklık ve I_0 doyma akım değeridir. I_0 'ın değeri ise aşağıdaki gibi gösterilir.

$$I_0 = AA^* \exp \left(-\frac{e\Phi_b}{kT} \right) \quad (4.2)$$

Bu denklemde A diyotun yüzey alanı, A^* Richardson sabitidir ve Φ_b ise engel yüksekliğidir. Bir diyotun idealite faktörü değeri $\ln I-V$ grafiğinin lineer bölgesinin eğiminden

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (4.3)$$

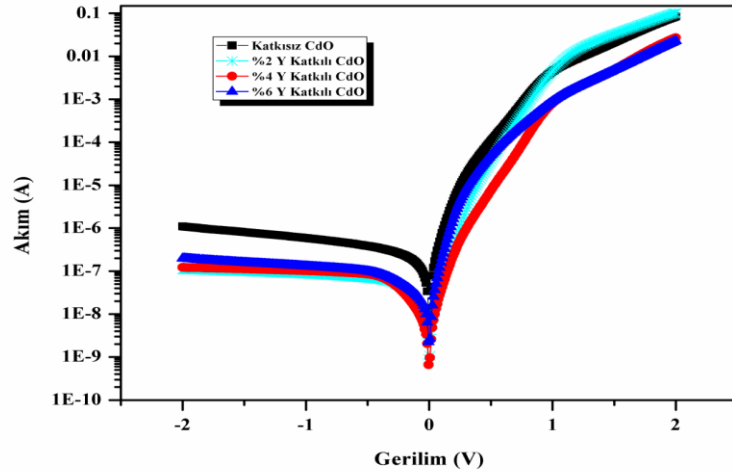
ifadesi yardımıyla hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda oda sıcaklığında elde edilen sonuçlar denklem 4.3 kullanılarak idealite faktörü hesaplanmıştır. Üretilen diyotlardaki bu ideallikten sapmalar genellikle kullanılan ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direncin etkisine bağlanır (Ocak, 2010). Bazı araştırmacılar ideallikten sapmanın nedeni olarak organik ara tabaka ile ikinci bir mekanizmanın ara yüzeyde oluşmasını gösterirken, bazı araştırmacılar ise tükenim bölgesinde elektron ve deşiklerin tekrar birleşmesi veya uygulanan gerilim ile difüzyon akımının artmasına bağlamışlardır (Yakuphanoglu 2007)

Diyota ait engel yükseklikleri $\ln I-V$ grafiğinin I eksenini kestiği noktadaki doyma akım değeri olan I_0 ;

$$\Phi_b = \frac{kT}{e} \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.4)$$

İfadesi kullanılarak hesaplanır. Şekil 4.5 grafiğinden elde edilen engel yükseklikleri katkısız ve %2, %4 ve %6 Y katkılı CdO aratabakalı yapılar için sırasıyla 0,68, 0,75, 0,72 ve 0,73 eV olarak hesaplandı.

Yüksek gerilim değerlerinde $I-V$ grafiğinin linerlikten sapmasının nedeni seri direnç etkisinden kaynaklanmaktadır. Eğer diyotun seri direnci esas alınırsa farklılıklar ortaya çıkar. Grafiğin doğru kısmı, $kT/e \ll V \ll IR$ aralığını vermesi beklenir. Direnç çok büyük olduğunda, doyma akımının güvenilir değeri çok küçüktür. Ayrıca gerilimin büyük olduğu yerde bu aralık kullanılırsa, diyotun rekombinasyon akımı, toplam akımın önemli bir parçası olabilir.



Şekil 4.5. Al/Y:CdO/p-Si/Al yapılarına ait karanlık ortamda ölçülen I-V grafiği

Norde 1979 yılında, engel yüksekliği ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metod önermiştir. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şu şekilde ifade edilir.

$$F(V, \gamma) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{V}{R_s A_d A^* T^2}\right) \quad (4.5)$$

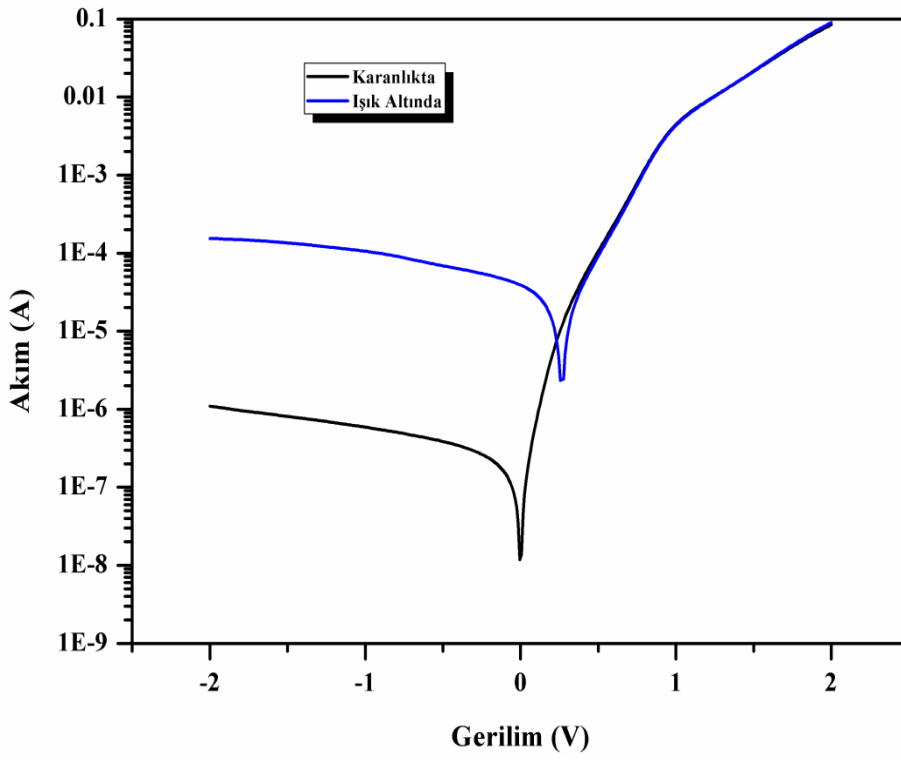
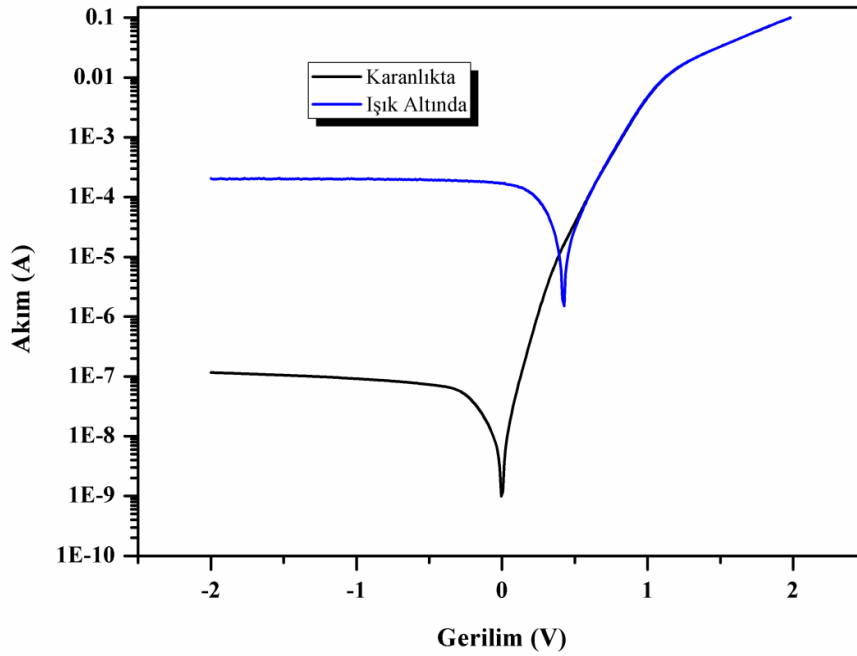
Bu eşitlikte A_d ifadesi diyodun etkin alanı, R_s ise diyot için seri dirençtir.

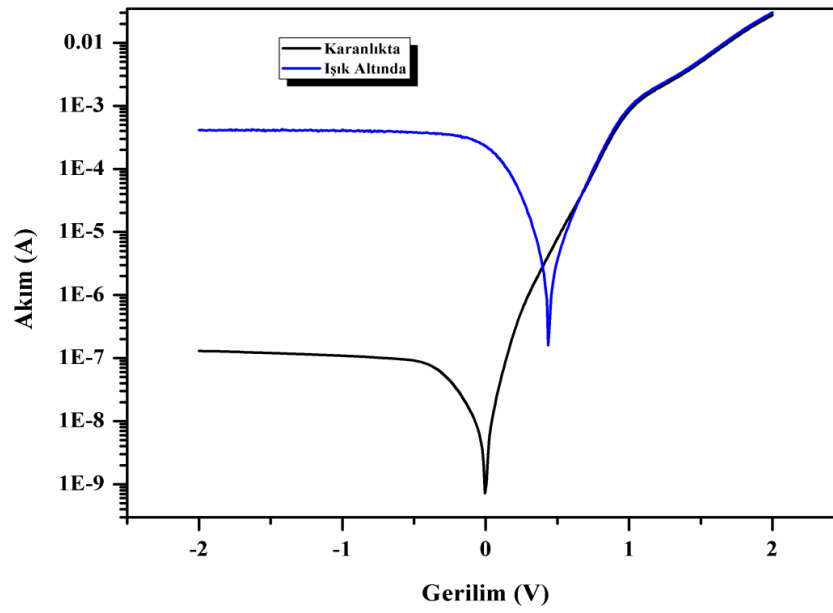
Norde'nin kullandığı bu metod, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup; Bohlin ideal olmayan durumlar için geliştirilmiş Norde metodunu kullanarak seri direnç ve engel yüksekliği değerlerinin hesaplanabileceğini göstermiştir (Bohlin 1986).

Çizelge 4.2. Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si Heteroeklem Yapıların Temel Diyot karakteristikleri

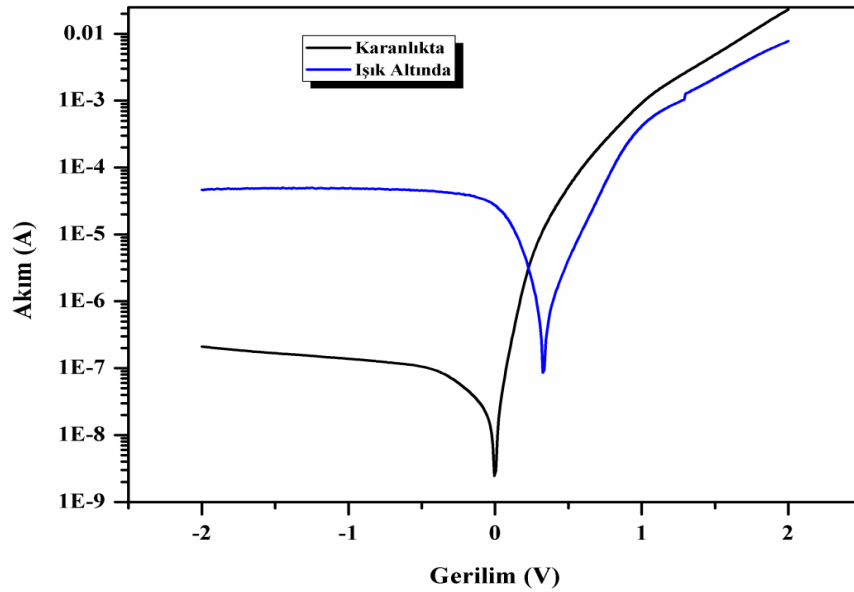
Örnek Adı	İdealite	Doyma	Engel Yüksekliği		Seri Direnç	Doğrultma Oranı ($\pm 2V$)
	faktörü	Akımı (nA)	(eV)		(k Ω)	
	$\ln I-V$	$\ln I-V$	$\ln I-V$	Norde	Norde	
p-Si/CdO/Al	2,45	160,34	0,68	0,72	1,2	75064
p-Si/2Y:CdO/Al	2,10	10,193	0,75	0,81	2,041	859446
p-Si/4Y:CdO/Al	3,69	38,819	0,72	0,90	0,024	212714
p-Si/6Y:CdO/Al	1,84	23,768	0,73	0,79	1,573	109515

4.4.Diyotların Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi

Şekil 4.6. Al/CdO/p-Si/Al yapısına ait karanlıkta ve ışık altında alınan *I-V* ölçümleriŞekil 4.7. Al/2% Y: CdO/p-Si/Al yapısına ait karanlıkta ve ışık altında alınan *I-V* ölçümleri



Şekil 4.8. Al/4% Y: CdO/p-Si/Al yapısına ait karanlıkta ve ışık altında alınan I - V ölçümleri



Şekil 4.9. Al/6% Y: CdO/p-Si/Al yapısına ait karanlıkta ve ışık altında alınan I - V ölçümleri

Oluşturulan diyotların fotoelektriksel karakterizasyonunu gerçekleştirebilmesi için yapılarının I - V ölçümleri global filtreye sahip güneş simülatörü altında ışık kullanarak gerçekleştirildi. Yapılan ölçümlerde katkı miktarının heteroeklem yapısının ışığa karşı duyarlılığını değiştirdiği görüldü. Temel fotoelektriksel parametreler açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}) ve yapının ışığa duyarlılığı hesaplandı ve

Çizelge 4.3'te gösterildi. Diyotun ışığa duyarlılığı -2 V'da 100 w/m^2 ışık altındaki ve karanlık ortamların akım değerlerine oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3.Heteroeklemlerin Fotoelektriksel Ölçüm Sonuçları

Örnek Adı	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	İşık Tepkisi ($I_{ışık}$ altında/ $I_{karanlık}$)
p-Si/CdO/Al	265	0,039	140
p-Si/2Y: CdO/Al	426	0,171	1762
p-Si/4Y: CdO/Al	436	0,220	3017
p-Si/6Y: CdO/Al	325	0,027	220

Buna göre %4 itriyum katkılı CdO ile oluşturulan heteroeklemin ışığa duyarlılığının ve açık devre geriliminin ve kısa devre akımının en fazla olduğu görülmüştür.

5-SONUÇ ve ÖNERİLER

Teknolojideki muazzam ilerleme sayesinde, bilim insanlarının bu alanlardaki ilgileri artmıştır. MS ve MIS yapılar üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar, hızla artış göstermektedir. Bu çalışmaların çoğu, yeni yarıiletken malzemelerin özellikle organik malzemelerin geliştirmeye ilgili olmaktadır. Dahası, geliştirilen yeni devre elemanlarının elektronik özelliklerinin belirlenip, uygulama alanlarının tespit edilmesine yönelik yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir.

Bu tezde İtrium katkılı Kadmiyum Oksit heteroeklemi kullanılarak hazırlanan yapılar ele alınmıştır. Bunun için öncelikle laboratuvar ortamında kimyasal olarak temizlenen (100) yönelimine sahip p-Si yarıiletken malzemesi tercih edildi. Yarıiletkenin mat yüzeyine Al metali yüksek vakum ortamında buharlaştırılıp, kuarz fırında tavlandı. Böylece omik kontağı hazırlanan yapının üzerine İtrium katkılı Kadmiyum Oksit ince filmleri p-Si yarıiletkeni üzerinde oluşturuldu. Daha sonra yüksek vakum ortamında Al metali buharlaştırılarak Al/CdO/p-Si ve Al/ Y:CdO/p-Si yapıları elde edildi.

Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si yapılarının karanlık ortamda yapılan $I-V$ ölçümlerinden yapıların doğrultucu özelliğe sahip oldukları görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda idealite faktörünün 2,45 ile 1,84 arasında olduğu hesaplandı. İdealite faktörü, ideal diyotlar için 1'dir. Bulduğumuz idealite faktörünün 1 den büyük olmasının nedeni, kullandığımız ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direnç etkisine dayandırılabilir. Bu sonuç organik ara tabaka ile ikinci bir mekanizmanın ara yüzeyde oluşmasına, tüketim bölgesinde elektron ve deşiklerin tekrar birleşmesi veya uygulanan gerilim ile difüzyon akımının artmasına bağlanmıştır.

Araştırmalar sonucunda Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si diyotlarının $\ln I-V$ eğrileri yüksek voltaj değerlerinde lineerlikten saptığı görülmüştür. Bunun nedeni seri direnç etkisine bağlıdır. Çünkü Seri direnç değeri ve engel yükseklik değeri Norde tarafından geliştirilen hesaplama metoduna göre yapılmaktadır. Seri direnç değeri 1,2 k Ω ile 1,573 k Ω arasında olduğu, engel yüksekliği ise 0,72 eV ile 0,79 eV arasında olduğu hesaplanmıştır.

Hazırlanan Al/CdO/p-Si ve Al/Y:CdO/p-Si diyotlarının ışığa karşı duyarlılığını ölçmek için AM 1,5 filtreye sahip güneş similatörü kullanıldı ve 100 mW/cm² gücünde ışık şiddetine sahip ışık kaynağı altında ölçülmüştür. Elde edilen tüm yapıların akım gerilim ölçümleri yapılmıştır.

6. KAYNAKLAR

Aydın, M. E. 2003. Metal/yarıiletken ve Metal/oksit/yarıiletken Pb/p-Si ve Pb/n-Si Schottky engel diyotlarının karakteristik parametreleri ve arayüzey hallerinin enerji dağılımının belirlenmesi, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

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

Bachrach, R. Z.,1984 Interface Chemistry And Structure of Schottky Barrier Formation In Metal Semiconductor Schottky Barrier Junctions And Their Applications. B. L. Sharma, New York, Plenum

Bozkurt, A. Erçelebi, Ç. Toppare. 1997. L. Synthetic metals, 87, 219-223.

Card, H.C. Rhoderick, E.H. 1971. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 4,1589.

Cheung, N.W. 1986. *J.Appl.Phys. Let.* , 49, 85-87.

Cowley ve Sze, 1965,Card ve Rhoderic 1971,Sze 1981,Chrung ve Cheung 1986

El-Nahass, M. M., Abd-El-Rahman, K. F., Farag, A.A.M., Darwish, A.A.A. 2005.

Organic Electronics, 129-136.

Gray J.L. 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Luque A., Hegedus, S. *John Wiley & Sons, Ltd.*

Jang M. and Lee, J. 2002 Analysis of Schottky Barrier Height in Small Contacts Using a Thermionic-Field Emission Model. *ETRI Jounarnal*, 24,6

Jayakrishan, R. Ve Hodes, G. 2003, Non-aqueous electrodeposition of ZnO and CdO films, *Thin Solids Films* 440, 19-25.

Ketenci, E. 2010. CdO: F Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir.

Kılıçoğlu, T. 1988. Anodik oksitli Al/SiO₂/Si Yapılarının Elektronik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Li, X., Gessert, T., Dehart, C., Barnes, T., Moutinho, H., Yan, Y., Young, D., Young, M., Perkins, J. ve Coutts, T. 2001, A comparison of composite transparent conducting oxides based on the binary compound CdO and SnO₂, NCPV Program Review Meeting, Conference Paper, No:CP-52034089 National Renewable Energy Laboratory, Colorado, ABD.

Lokhande, B.J. ve Uplane, M.D. 2001, Effect of deposition temperature on spray deposited cadmium oxide films, *Materials Research Bulletin*, 36, 439-447.

Ma, D. ve Ye, Z. ve Wang, L. 2003, Deposition and characteristics of CdO films with absolutely (200)-preferred orientation, *Materials Letters* 58, 128131.

Mott, N.F. 1971. Davis E.A. Electronic Processes in Non Crystalline Materials, Clarendon Pres, London.

Mott, N.F. 1938. Proc. Cambridge Philos. Soc., 34, 568

Mönch ,W. 1987. The American Physical Society , 58 (12) 1260. Cheung, S.K.

Neamen, D. A. 2003. Basic Principles, Semiconductor Physics And Devices, McGraw Hill, N.Y.

Nozu, S.; Matsuda, K.; Sugino, T. 1999. Plasm. Jpn. *J. Appl. Pyhs.* 38, 295-297.

Ocak Y. S., 2010. Al/metil Kırmızısı/p-si Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu Doktora Tezi Dicle Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü - Diyarbakır

Ocak, Y.S. Kulakçı, M. Kılıçoğlu, T. Turan, R. Akkılıç, K.2009. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of a Sn/Methylene Blue/p-Si Schottky diode, *Synthetic Metals*,159, 1603-1607.

P.A. Lane, J. Rostalski, C. Giebeler, S.J. Martin, D.D.C. Bradley, D. Meissner, 2000. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 63, 3.

Rhoderick E.H. 1988. Williams R.H. Metal-Semiconductor Contacts, Claredon Pres,Second Edition, Oxford.

Schottky, W. 1938. Naturwissenschaften, 26, 843

Schottky, W. Störmer, R. Waibel, F. 1931. Zeits f. Hochfrequenztechnik, 37,162 .

Shirakawa, H. 1977. Louis, E.J.; MacDiarmid, A.G.; Chiang, C.K. Heeger, A.J. *Chem. Comun*, 578.

Tseng. H.H. Wu, C.Y. 1987. Solid State. *Electron*, 30, 383-390.

Turton, R. 2005. Katıların Fiziği, (Çeviren: Yoğurtçu, Y.K.), Aktif Yayınevi, Erzurum, 436 s

Tuy , T. Q., and Mojzes I 1990 Theoretical Explanation Of The Control Of The Schottky Barrier Height Using And Ultrathin Interface Metal Laye. *Appl. Phys. Lett*, 56,17

Türüt, A. and Sağlam, M. 1992.Determination Of The Density Of Si-Metal Interface States And Excess Capacitance Caused by Them. *Physica B*,179-285-2.

W. Shockley, 1950. Electrons and Holes in Semiconductors, D. Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

Wilson,A.H. 1932. Proc.Roy.Soc.London, SeriesA, 48, 136.

X. Tian, Z. Xu, F. Zhang, S. Zhao, G. Yuan, J. Li, Q. Sun, Y. Wang. 2010. *Curr. Appl. Phys.* 10, 129.

Yakuphanoglu, F. Kandaz, M. Yaraşır, M. N. Şenkal, F. B. 2007. *Physica B*, 235-238.

Zhao, Z., Morel, D.L. and Ferekides, C.S. 2002, Electrical and optical properties of tin-doped CdO films deposited atmospheric metalorganic chemical vapor deposition, *Thin Solid Films*, 413 , 203-211.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat TOKUŞ

Doğum Yeri : Bingöl

Doğum Tarihi: 28.09.1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu

Lise : Elazığ Hankendi Lisesi

Lisans : Dicle Üniversitesi /2007-2012

Yüksek Lisans : Dicle Üniversitesi/2013-2015

Çalıştığım Projeler :114F363 numaralı TÜBİTAK Projesi, Eş Zamanlı Reaktif Magnetron Saçtırma Yöntemiyle Cu_2ZnTiS_4 Ve $Cu_2ZnTi(S,Se)_4$ İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Bu Filmlerin Güneş Gözesi Üretiminde Kullanılması