T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK TABANLI DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI AKIM-GERİLİM KARAKTERİZASYONU

FATMA ÖZKAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Haziran 2013

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Fatma ÖZKAHRAMAN tarafından yapılan "Organik Tabanlı Diyotların Sıcaklığa Bağlı Akım-Gerilim Karakterizasyonu" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mehmet DOĞRU

Üye : Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 27 / 06 /.2013

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

27 /06/2013

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜRLER

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma sayın Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK danışmanlığında yürütülmüştür. Tezimin hazırlama aşamasında, gerek ders aşamasında gerek uygulama aşamasında destek ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK'a teşekkür ederim

Batman Araştırma görevlisi Ahmet TOMBAK'a, tezimin hazırlama aşamasında ve deneysel basamaklarda verdiği destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından 10-FF-116 nolu proje ile desteklenmiştir. DÜBAP'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans ders aşamasındayken aynı dersleri aldığım ders arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Fatma ÖZKAHRAMAN

(Haziran 2013)

İÇİNDEKİLER

ÖZET …….iii
ABSTRACT ……..iv
SİMGE ve KISALTMALAR …….....v
ŞEKİLLER DİZİNİ……....vii
1-GİRİŞ ……..…1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ……4
3. MATERYAL ve METOT…….9
3.1.Metal-Yarıiletken Kontaklar ……9
3.1.1. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar ……9
3.1.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar …….11
3.1.3.Metal /p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı ……..13
3.1.4. Schottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkiler ……...14
3.1.5.Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi …… 16
3.1.6. Norde Fonksiyonları ile Schottky Diyot Parametrelerinin Belirlenmesi ….18
3.1.7. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlarda Schottky kapasitesi …… 21
3.2 Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi ……..24
3.2.1 Hava Kitlesi ……24
3.2.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu …….26
3.3 Deneysel İşlemler …… 30
3.3.1.Giriş ……..……30
3.3.2. Coumarin 30 Bileşiğinin Bazı Özellikleri ……..…..30
3.3.3.Yarıiletkenin temizlenmesi……..……30
3.3.4.Diyotların hazırlanması ……..….... 31
3.3.5.Akım-Gerilim ve Kapasite Gerilim ölçümlerinin alınması ……..…...33
4. BULGULAR ve TARTIŞMA …….…....35
4.1.Giriş …….…....35
4.2. Al/Coumarin 30/p-Si/Al Yapısının Akım-Gerilim karakteristiği …….……35
4.3. Al/Cumarin 30/p-Si Yapısının *C-V* Özelliklerinin İncelenmesi ……40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER …… 43
6. KAYNAKLAR ……45
7. ÖZGEÇMİŞ …… 52

ÖZET

ORGANİK TABANLI DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI AKIM-GERİLİM KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA ÖZKAHRAMAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
2013

ÖZET

Bu tezde, (100) yönelimine sahip p-Si ve $C_{21}H_{12}N_3O_2$ formülüne sahip Coumarin 30 molekülü kullanılarak Al/Coumarin 30/p-Si yapısı oluşturuldu.

Al/Coumarin 30/p-Si yapısının akım-gerilim (*I-V*) ölçümleri 300-380 K aralığında alındı ve yapının doğrultucu kontak özelliği gösterdiği gözlemlendi. Diyotun idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel özellikleri *I-V* verileri kullanılarak 300-380 K aralığında incelendi. Sıcaklık artar iken idealite faktörünün ve seri direncin azaldığı ve engel yüksekliğinin azaldığı gözlemlendi. Al/Coumarin 30/p-Si yapısının engel yüksekliğinin klasik Al/p-Si metal-yarıiletken (MS) kontağından daha yüksek olduğu Coumarin 30 aratabakası ile Al/p-Si MS kontağının engel yüksekliğinin arttırıldığı görüldü. Yapının *I-V* ölçümleri aynı zamanda oda sıcaklığında 100 mW/cm^2 ışık altında gerçekleştirildi. Yapının fotodiyot özelliği gösterdiği gözlemlendi.

Ayrıca diyotun oda sıcaklığında kapasite-gerilim (*C-V*) ve kapasite-frekans (*C-f*) ölçümleri gerçekleştirildi. C^2-*V* eğrisi kullanılarak yapının elde edilen engel yüksekliği değerinin *I-V* verileri ile elde edilenden yüksek olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Coumarin 30, organik-inorganik heteroeklem, engel yüksekliği

ABSTRACT

TEMPERATURE DEPENDENT CURRENT-VOLTAGE CHARACTERIZATION OF ORGANIC-INORGANIC DIODES

MSc THESIS

Fatma ÖZKAHRAMAN

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE
2013

In this thesis, Al/Coumarin 30/p-Si structure was formed using p-Si wafer with (100) orientation and Coumarin 30 with $C_{21}H_{12}N_3O_2$ molecular formula.

Current-voltage (*I-V*) characteristics of Al/Coumarin 30/p-Si were measured between 300 and 380 K and it was seen that the structure has rectifying behaviour. Electrical properties of the diode such as ideality factor, barrier height and series resistance were analyzed in the range of 300-380 K using *I-V* data. It was seen that when the temperature increases the both ideality factor and series resistance decreases and barrier height increases. It was observed that the barrier height of Al/Coumarin 30/p-Si structure was higher than the conventional Al/p-Si metal/semiconductor (MS) contact and the barrier height of Al/p-Si MS contact was Coumarin 30 interlayer increases the Al/p-Si MS contact. The *I-V* measurement of the device was also carried out at room temperature under a light with 100 mW/cm^2 illumination. Photodiode property of the structure was observed.

Furthermore, capacitance-voltage (*C-V*) and capacitance-frequency (*C-f*) measurements of the diode were carried out at room temperature. It was seen that the barrier height value obtained from C^2-*V* plot was higher than the one obtained using *I-V* data.

Keywords: Coumarin 30, organic-inorganic heterojunction, barrier height

SİMGE ve KISALTMALAR

TE	Termoiyonik emisyon
UV	Mor ötesi
V_{bi}	Difüzyon potansiyeli
V_m	Güneş pili için maksimum gerilim
V_n	Yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki fark
V_{oc}	Açık devre gerilimi
d	Uzay yükü bölgesinin genişliği
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
E_c	İletkenlik bandının tabanı
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ph}	Foton enerjisi
Ev	Değerlik bandının tavanı
eV	Elektron volt
ε_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ε_0	Boşluğun dielektrik sabiti
Φ_b	Schottky engel yüksekliği
$\Phi_{b\ (C\text{-}V)}$	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
I_{sc}	Kısa devre akımı
IR	Kızıl ötesi
ITO	İndiyum kalay oksit
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
η	Güneş pilinin verimi
p-Si	p-tipi silisyum kristali
p++	Aşırı katkılanmış p-tipi yarıiletken
q	Elektronun yükü
RF	Radyo Frekansı
R_p	Paralel direnç
R_s	Seri direnç
S	Güneş pilinin etkin alanı
T	Mutlak sıcaklık
V_{diff}	Difüzyon potansiyeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

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

a) kontaktan önceki enerji bant yapısı.

b) kontak yapıldıktan sonraki enerji bant yapısı.

c) beslem uygulanan kontağın enerji bant yapısı (V>0).

d) ters beslem uygulanan kontağın bant yapısı (V<0)…….……...…10

3.2. Metal/p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

a)- Kontaktan önceki enerji bantları.

b)- Kontaktan sonraki sıfır beslem (V=0) durumundaki enerji bantları.

c)- Kontaktan sonraki düz beslem (V>0) durumundaki enerji bantları.

d)-kontaktan sonraki ters beslem (V<0) durumundaki enerji bantları……...12

3.3. $P^{+}PM$ yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji bant diyagramı……..….14

3.4. Düz Beslemde Metal Yarıiletken Schottky Kontaklarda İmaj Azalma Etkisine Ait Enerji-Bant Diyagramı……...….....16

3.5. Metal p-tipi yapılarda doğrultucu kontağın potansiyel dağılımı, yük dağılımı…...21

3.6. Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterimi ……..25

3.7. Kara cisim ışıması, AM0 ve AM1.5 spektrumları……...…25

3.8. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterimi

b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği……..26

3.9. Güneş pillerinde denklem 3.49'e karşılık gelen akım-gerilim grafiği…….....27

3.10 Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterimi……..…28

3.11 Güneş pili üzerine paralel direnç etkisi (R_s=0 durumunda) ……..…29

3.12. Güneş pili üzerine seri direnç etkisi (R_p=∞ durumunda) ……..…29

3.13. Coumarin 30 yapısı ……..……..……..……..……..….30

3.14. Termal Buharlaştırma Cihazı…….……..……..31

3.15. Tavlama Fırını…….....…..…32

3.16 İnce filminin kalınlığını ölçtüğümüz Elipsometre cihazı …….……32

3.17. Al/Coumarin 30/p-Si/Al diyotunun şematik gösterimi…….……33

3.18. Keithley 2400 Sourcemeter ve güneş simülatörü …….……...……....34

3.19. *C-V* Ölçümü Yapılan HP 4294A (40 Hz-110 MHz) İmpedans Analizörü.……..34

4.1. Al/Coumarin30/p-Si/Alyapısının *I-V* grafiği…….……36

4.2. Al/Cumarin 30/p-Si yapısına ait karanlıkta ve ışık altında *I-V* ölçümleri ……..….39

4.3.Al/Cumarin 30/p-Si yapısına ait farklı frekanslarda Kapasite ölçümleri ……40
4.4.Al/Coumarin30/p-Si yapısına ait farklı gerilimlerde C^2-V ölçümleri…… 41
Tablo 1: ln$I$-V ve Norde'ye göre farklı sıcaklıklardaki elektriksel parametreler ...…...37

1-GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS) kontaklar, bütün yarıiletken tabanlı devre elemanlarının oluşumunda yer aldıkları için büyük bir öneme sahiptirler. MS kontakların elektriksel özelliklerinden yeterince faydalanmak, uygun kontaklar hazırlayarak elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanabilmek için karakteristiklerinin (elektronik, termal ve optik özelliklerinin) iyi bilinmesi gerekir (Rhoderick 1988). Üretilen bir devre elemanının istenilen performansta çalışabilmesi, devre yapısına ait bütün özelliklerinin bilinmesi ve doğabilecek olumsuzlukların giderilmesine bağlıdır. Bu nedenlerden dolayı, yarıiletken teknolojisinde, temel elektronik yapı elemanlarının (özellikle diyotların) fiziksel ve elektronik özelliklerini araştırmak büyük önem taşımaktadır (Rhoderick 1988, Sze 1981, Kılıçoğlu 1988, Bozkurt ve ark. 1997, Kaneto ve ark. 2001, Nozu ve ark. 1999).

Uzun zamandır, çeşitli yarıiletken elemanlarından üretilen MS yapıların araştırılmasıyla ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bazı araştırmalar, yeni yarıiletken malzemelerin hazırlanması yönünde yapılırken, bazı araştırmalar da bu yarıiletkenlerin elektronik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerden faydalanılarak yeni metal-yarıiletken devre elamanları geliştirmesini amaçlar (Ocak 2010). Bu devre elemanları kullanılarak, lazer yazıcılar, fotokopi makineleri, gaz sensörleri, optik bilgi sistemleri (CD-DVD), güneş pilleri, LED uygulamaları ve nükleer santrallerde kontrol sistemleri gibi pek çok teknolojik aygıtlar geliştirilmiştir (El-Nahass ve ark. 2005).

Elektronik devre elemanları teknolojisinde matal-yarıiletken kontaklar oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu tür yapılardan güneş pilleri, metal-yarıiletken alan etkili transistorlar (MESFET), Schottky diyotlar (SD), yarıiletken dedektörler, varaktörler ve mikro dalga devre elemanı üretilmektedir (Sze, S. M., 1981 ve Ocak, 2010).

İlk metal yarıiletken yapı nokta kontak diyotlarıdır. Bu yapılar yarıiletken malzemenin yüzeyine ince sivritilmiş bir iletken telin kontak haline getirilmesiyle elde edilmiştir .Daha sonra bu kontaklar geliştirilmiş ve ilk olarak metal-yarıiletken yapılar arasında oluşan potansiyel engelinin uygulanan gerilimle değişimi Schottky tarafından

açıklandığı için Schottky kontaklar adlandırılmıştır (Rhoderick E. H. and Williams, R. H. 1988).

Schottky kontaklar, metal-yarıiletken eklemini üzerinde daha homojen kontak potansiyeli ve akım dağılımı elde etmek için yarıiletken yüzeyine sınırlı alanda metal buharlaştırarak oluşturulan düzlemsel kontaklardır. Schottky diyotların nokta kontak diyotlara göre avantajları daha düşük seri direnç, düşük gürültü karakteristiği ve yüksek kapasitelere sahip olmalarıdır. Günümüzde, Schottky doğrultucular cihaz uygulamalarının birçoğuna uygundur, özellikle çoğunluk taşıyıcıların akım iletiminin baskın olduğu cihazlarda hızlı anahtarlanma hızı istenilen durumlarda kullanabilir. Schottky diyotların akım iletimi çoğunluk taşıyıcıları ile sağlanırken bunların akım kazancı fazla ve anahtarlanma hızları p-n eklemlerine daha etkindir.(1,2) (Sze, S. M. 1981)

1977 yılında, ünlü fizikçiler Alan Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa'nın, polimerlerin elektriksel özellikleri üzerine yaptığı çalışmalar bilim camiası için devrim niteliğinde gelişmelere yol açmıştır. Bu çalışmalarından dolayı, 2000 yılında Nobel Kimya ödülüyle onurlandırılmışlardır (Heeger 1977). Bu çalışmalar, organik malzemelerin inorganik malzemeler yerine elektriksel ve optoelektronik aygıt yapımında kullanılabileceği fikrinin gelişmesine sebep olmuştur. Organik malzemelerin, düşük maliyetleri ve kolayca üretilebilir olmaları gibi avantajlarının yanı sıra, farklı amaçlar için farklı özelliklere sahip bileşiklerin sentezlenebilme ihtimali ve geniş alanlara uygulanabilirliği organik tabanlı elektronik ve optoelektronik aletlerin üretiminde, organik maddelere olan ilgiyi arttırmıştır (Ocak 2010). Ayrıca organik malzemelerin esnek yapıları, dokunmatik ekranlı bilgisayar ve cep telefonu teknolojisinin doğmasına neden olmuştur.

Bu tezde laboratuar ortamında p-Si yarıiletkeni klasik metotlarla temizleyip mat yüzeyine saçtırma yöntemi kullanılarak, 200 nm kalınlığında Al ince filmi oluşturuldu ve yapı 570 °C'de 3 dakika azot ortamında tavlandı. Böylece p-Si/Al omik kontak hazırlanmış oldu. Coumarin-30 molekülünün ince filmi dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile p-Si/Al yapısı üzerinde oluşturuldu. Oluşturulan ince filmin kalınlığı

spektroskopik elipsometre yardımı ile 127 nm olarak ölçüldü. Daha sonra elde edilen yapı üzerine 60 nm Al termal yolla buharlaştırıldı. Böylece Al/Coumarin 30/p-Si organik-inorganik hibrit yapısı oluşturulmuş oldu.

Aygıtın karanlık ortamdaki akım-gerilim (*I-V*) grafiği çizilerek incelendi ve aygıtın doğrultucu özelliğe sahip olduğu gözlendi. 300-380 K aralığında *I-V* verileri kullanılarak diyotun idealite faktörü ve engel yükseklikleri hesaplandı. *I-V* ölçümleri ayrıca ışık altında alınarak yapının ışığa karşı tepkisi incelendi. Bunun dışında Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun kapasite gerilim (*C-V*) ölçümleri yardımıyla elektriksel özellikleri incelendi ve elde edilen engel yüksekliği, *I-V* datalarından elde edilen engel yüksekliğiyle karşılaştırıldı.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektronik günümüzde telefon, tv, radyo, telsiz, uydular, navigasyon, klima ve otomotiv sanayi, bilgisayar, yazıcı, dvd gibi en temel ihtiyaçlarımızın karşılandığı bir alandır. Braun'un (1874), sülfat kristallerinde elektriksel iletkenliğinin asimetrik olduğunu keşfetmesi, tüm bu teknolojik gelişmelerin temelini teşkil etmiştir. Braun'un bu keşfi MS kontaklarının başlangıcı sayılır. Pickard (1906), silisyum kullanarak metal-yarıiletken kontağına dayalı bir detektör patentini almıştır. Pierce (1907), metal teli yarıiletken yüzeye nokta kontak oluşturarak elde ettiği MS ekleminin doğrultucu özelliklerini incelemiştir (Neamen 2003).

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

1938 yılında Schottky ve Mott birbirlerinden bağımsız bir şekilde yaptıkları çalışmalarla doğrultma mekanizmasının elektronların potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon şeklinde geçişi ile açıklanabileceğini ileri sürülmüştür. Bu teoride, oluşan potansiyel engelin nedeni metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki nicelik farkıdır. Bu modele göre potansiyel engelin büyüklüğü ise, metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin elektron ilgisinin farkı alınarak elde edilir (Rhoderic ve Ark. 1988).

Fakat, daha sonra yapılan çalışmalarda, Schottky engel yüksekliğinin, metalin iş fonksiyonundan ziyade, metal ile yarıiletken kontağın hazırlanma yöntemlerine bağlı olduğu sonucuna varıldı. Çünkü, Schottky-Mott teorisi, ideal diyotlar için hazırlanmış bir teoriydi. Oysaki laboratuar ortamında yapılan MS kontaklarda bir ara yüzey oluşması kaçınılmazdır. Bu ara yüzeyin elektronik özellikleri, diyotun karakteristiğini çok etkiler. Bu yüzden yeni açıklamalara ihtiyaç duyulmuş ve Bardeen yeni bir model geliştirerek, bu ihtiyacı karşılamıştır. Bardeen'e göre 'MS yüzeylerde yeterli sayıda yerel elektronik hallerin olması durumunda, potansiyel engel yüksekliği metalin iş fonksiyonundan bağmsız olur' (Bardeen 1947).

Bardeen'i destekleyen çalışmaların başında Rhoderick ve Card'ın yaptığı çalışmalar gelir. Bu bilim insanları, MS kontağın ara yüzey hal yoğunluğunu belirleyip, ara yüzey hal yoğunluğu ve arayüzey tabakasının *I-V* karakteristiklerinin, idealite faktörü üzerinde etkilerini açıklar. (Rhoderic ve Card 1971).

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

Sonra ideal ve ideal olmayan diyotlar için, Cheung ve Cheung tarafından, doğru beslem *I-V* grafikleri kullanılarak, Schottky diyotlarda engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç hesaplamak için farklı bir hesaplama yöntemi ileri sürüldü. Sonrasında ise seri direncin yanı sıra, paralel direncin hesaplanması ile ilgili çalışmalar yapıldı (Cheung ve Cheung 1986).

Her ne kadar hassas deneyler yapılsa da, MS diyotlarında çok ince bir tabakanın oluşması kaçınılmaz. Bu ara yüzey (yalıtkan) tabaka, diyot özelliklerine çok etkiler. Ve artık, diyotumuz MS değil MIS (Metal-insulator-semicoductor) diyotuna dönüşmüş olur. Bu ara tabakanın elektroniksel özellikleri, diyot karakteristiğine çok önemli etki eder. Ara yüzeylerin, Schottky diyotlarına etkilerini ilk olarak, Cowley ve Sze incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda ara yüzeyin kalınlığının, idealite faktörüne ve engel yüksekliğine nasıl etki ettiğini, doğru beslem *I-V* grafiğini inceleyerek açıklamaya çalışılmıştır (Cowley ve Sze 1965).

Tseng ve Wu (1987) ara yüzey durumlarının, Schottky kontaklarının elektriksel davranışlarını nasıl etkilediğini incelenmiş. Tseng ve Wu yaptıkları çalışmalarda, ara yüzey hallerinin Schottky kontaklarının *I-V* ve *C-V* davranışı üzerine etkilerini inceleyip, bu karakteristiklerden, ara yüzey hallerinin enerji dağılımını ve ara yüzey hallerinin sığasını hesaplanmıştır. Onlardan bağımsız olarak, Rhoderick, Horvarth ve Card'da ara yüzey hallerinin diyot karakteristiğine etkilerini incelemişlerdir. Bunların dışında Rhoderick, Horvarth ve Card'ın yaptığı çalışmalar 'ara yüzey durum dağılımı ve ara yüzey tabaka kalınlığının' düz ve ters belsem *I-V* karakteristiğinden elde edilebileceğini gösterilmiştir (Crowell 1966).

Türüt ve Sağlam Au-Sb/Al Schottky diyotlarının *I-V* ve *C-V* grafiklerindeki nonlineerliğin, ara yüzey hallerinin artık sığası ile açıklanabileceğini, gösterilmiştir. Ayrıca, yine Türüt ve arkadaşları, Al/n-Si Schottky diyotlarında ideal olmayan, doğru beslem ve ters beslem C-V karakteristiklerine ara yüzey hallerinin yük davranışının etkisini inceleyip, ters beslem karakteristikleri üzerine ara yüzey tabakası ve yükleriyle beraber inversiyon tabakası ve yüklerinin de etkisinin olduğunu gösterilmiştir. (Türüt ve Sağlam 1992).

Chattopadyay ve Daw MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) diyotlarının, *I-V* ve C-V karakteristiklerini, diyotların engel yüksekliğinin oksit kalınlığına bağlılığının, Cowley ve Sze'nin engel yüksekliği modeline uyduğunu buunmuştur. Ayrıca, ara yüzeyde oluşan oksit tabakasının kalınlığa göre, engel yüksekliğinin değişimini incelenmiştir. (Chattopadyay 1995).

Kılıçoğlu ve Asubay Au/n-Si/AuSb ile oluşturdukları Schottky diyotlarda oksit tabakasının idealite faktörü, engel yüksekliği, ara yüzey durumları üzerine etkisini incelemişlerdir. Karataş ve Türüt Au/n-GaAs ile oluşturdukları Schottky diyotlarda ara yüzey dağılımlarını incelenmiştir. Aydın ve arkadaşları, Pb/p-Si Schottky kontaklarda nötral bölgenin direncinin ara yüzey durumları hesabı üzerindeki önemini belirtilmiştir. Çetinkara ve arkadaşları, Au/n-Si Schottky diyotlarında, kontaktan önce yüzeyde oluşan doğal oksidin diyot karakteristikleri üzerine etkisini araştırılmıştır (Kılıçoğlu ve Asubay 2005).

1977 yılında aralarında Heeger, Shirakawa ve MacDiarmid'ın bulunduğu bir grup bilim adamının yaptığı çalışmalar polimerlerin iyot ile katkılanmasının polimerlerin iletkenliğini arttırdığı göstermesi ile, organik bileşiklerin iletkenlikleri üzerine olan ilgi artmıştır (Shakirawa ve ark. 1977). Daha sonra yapılan çalışmalar ile pi (π) bağları açısından zengin ve konjugasyona sahip bileşiklerin, doğal yarıiletken olduğunun görülmesinin ardından, bu bileşiklerle elektriksel ve optik aygıtların üretimi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Organik bileşikler kullanılarak, doğrultucu kontaklar, güneş pilleri, ışık yayan diyotlar (LED), Organik Işık Yayan Diyotlar (OLED) ve transistorlar gibi birçok elektriksel ve optik aygıt üretilmiştir. Yapılan bu çalışmalar, Heeger, Shakirava ve MacDiarmid'a 2000 yılında Nobel ödülü kazandırmıştır.

El-Nahass ve arkadaşları (2005) NiPc/p-Si organik-inorganik heteroeklem elde etmiş ve bu yapının elektriksel ve fotoelektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen NiPc/p-Si yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğunu ve bu yapının doğrultma oranının 1750, seri direncinin 750 Ω ve paralel direncinin 1,7 MΩ olduğunu rapor etmişlerdir. Bu yapıya ait fotoelektriksel özellikler 6 $mWcm^{-2}$ gücünde beyaz bir ışık altında ve oda sıcaklığında incelenmiş ve bu yapının açık devre gerilimi 0,32 V kısa devre akımının 186 μA ve veriminin % 1,11 olduğu görülmüştür.

Chen ve arkadaşlarının (2006) yaptığı çalışmada, CuPc (Bakır Fitalosiyanin) bileşiği kullanılarak hazırlanan diyotlar incelenmiştir. Morötesi ışık altında yapılan *I-V* ölçümlerinde bu diyotların morötesi bölgede fotovoltaik karakter gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu diyotların % 1,03 verimliliğe sahip olduğunu hesaplanmıştır.

Yakuphanoğlu ve arkadaşları (2007) p-Si üzerine CuPc ince filmi oluşturmuş ve vakum ortamında p-Si/CuPc yapı üzerine Au buharlaştırarak, p-Si/CuPc yapının elektriksel ve fotoelektriksel karakterizasyonunu yapmıştır. Aldığı ölçümler sonunda p-Si/CuPc yapının 2.38 idealite faktörü ve 0,71 eV engel yüksekliğine sahip olduğunu görmüştür. 3500 lüks ışık altında aldığı I-V ölçümleri sonucunda, yapının 0,16 V açık devre potansiyeline ve 0,45 μA kısa devre akımına sahip olduğunu hesaplamış ve böylece yapının bir fotodiyot karakterizasyonuna sahip olduğunu göstermiştir.

Yakuphanoğlu ve ark. (2008) P-Si/CoPc/Al yapılar elde etmiş ve bu yapıların elektriksel özellikleri ile, p-Si/Al MS diyotunun elektriksel özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada CoPc organik ara yüzeyin, Al/p-Si kontağın elektriksel özelliklerini önemli oranda modifiye ettiği ve bu yapının idealite faktörünün 1,33 engel yüksekliğinin 0,90 eV ve seri direncinin 314,5 kΩ olduğunu hesaplamışlardır

Ocak ve arkadaşlarının (2009) yaptıkları çalışmada, metilen mavisini MS diyotunda ara yüzey tabakası olarak kullanmış ve bu diyotun *I-V* ve *C-V* ölçümlerini almıştır. Sn/p-Si MS diyotunun yaptıkları hesaplamalarında, metilen mavisinin engel yüksekliğini ciddi oranda değiştirdiğini, dolaysıyla diyot karakteristiğine çok etki ettiğini gösterilmiştir.

Bu tezde dönel kaplama yöntemi ile elde edilen Al/Coumarin 30/p-Si yapısının sıcaklığa bağlı akım-gerilim karakterizasyonu incelenmiştir. Oda sıcaklığında yapının ışığa karşı hassasiyeti incelenmiş, yapının fotodiyot özelliği gösterdiği görülmüştür. Ayrıca farklı frekanslarda yapının *C-V* karakteristiği incelenmiştir. Yeterince yüksek frekansta (500 kHz) alınan *C-V* ölçümleri yardımı ile hesaplanan engel yüksekliği değeri *I-V* verileri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1.Metal-Yarıiletken Kontaklar

Schottky diyotların, karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin araştırılabilmesinin bir yöntemi de, kristale uygun kontakların uygulanabilmesidir. İyi bir kontak kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemesinin, en az dirençle temas ettirmekle anlaşılır. Kontağın ideal olması, kontak malzemelerinin yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olmasıyla doğrudan ilgilidir. Kontak haline getirilen maddeler arasında, elektrokimyasal potansiyelleri aynı düzeye gelinceye kadar bir yük alışverişi olur. 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 incelenir. p-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m<\Phi_s$ ise, doğrultucu kontak, eğer $\Phi_m>\Phi_s$ ise, omik kontak oluşur. n- tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m>\Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_m<\Phi_s$ durumunda ise omik kontak oluşur.

3.1.1. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

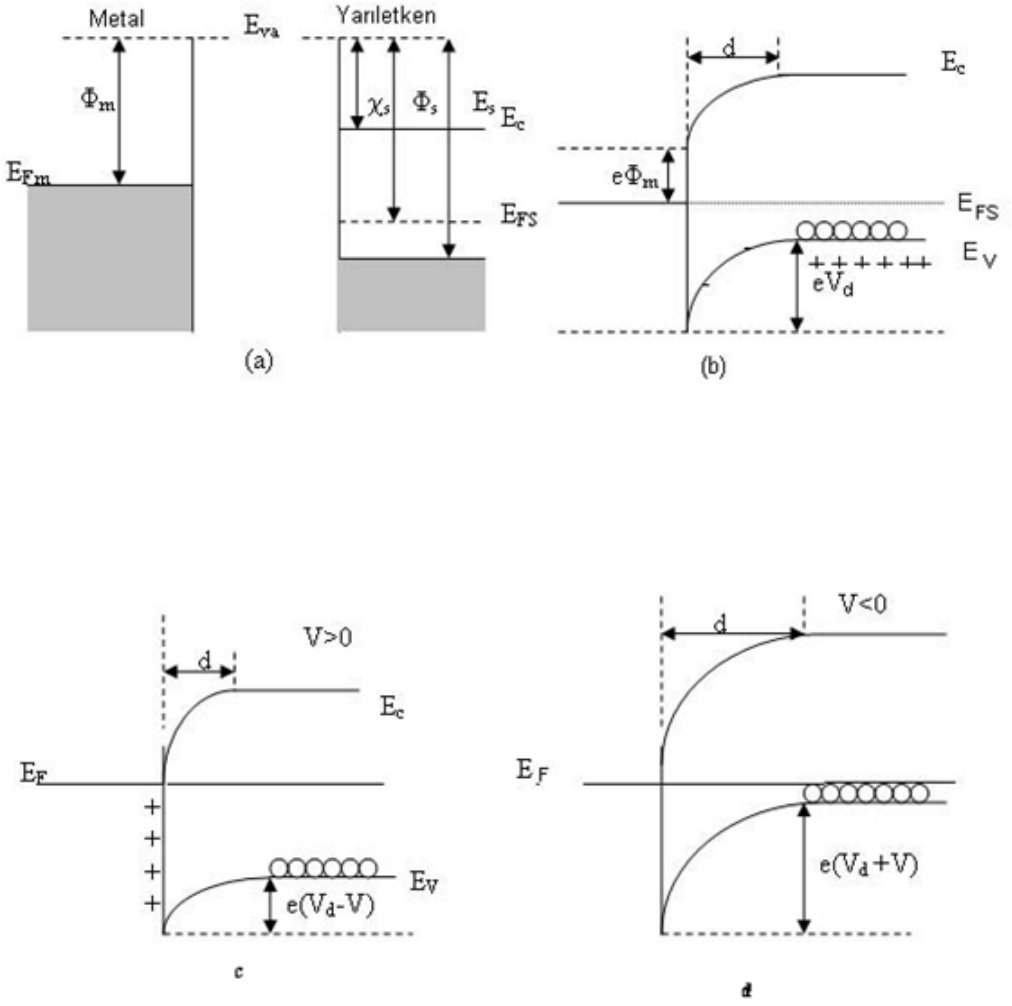
Bir metal, bir yarıiletken ile kontak haline getirildiğinde, bu iki madde arasında yüklerin yeniden dağılımı söz konusu olur. Yük dağılımı, her iki maddenin Fermi seviyeleri (elektrokimyasal enerji) aynı düzeye gelinceye kadar devam eder. Böylece denge durumuna ulaşılmış olur. Bir metal yarıiletken kontakta, yük taşıyıcıları (boşluk ve elektronlar) bir doğrultudan diğer doğrultuya göre daha kolay geçebiliyorsa, bu bir doğrultucu kontaktır. Dolayısıyla doğrultucu kontakta, bir doğrultudaki akım diğer doğrultuya göre daha kolay geçer.

Kontaktan önce (Şekil 3.1a), metalin ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı verilmiştir. Kontak yapıldıktan sonra, voltaj uygulanmamışsa enerji bant diyagramı şekildeki (Şekil 3.1b) gibi olur. Kontak yapılıp düz beslem uygulanırsa ($V>0$) enerji bant yapısı şekildeki (Şekil 3.1c) gibi olur. Kontak yapılıp ters beslem uygulanırsa ($V<0$) enerji bant yapısı şekildeki (Şekil 3.1d) gibi olur.

Yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s-\Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontaktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar, metalden yarıiletkene elektron akışı meydana gelir. Bunun neticesinde, yarıiletken tarafındaki holler, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey

tabakasındaki bu negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler, d kalınlığındaki bir uzay yük tabakası içerisinde dağılır. Yarıiletken gövdedeki enerji seviyeler $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındaki holler için yüzey engeli:

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



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

a) kontaktan önceki enerji bant yapıları. **b**) kontak yapıldıktan sonraki enerji bant yapısı. **c**) düz belsem uygulanan kontağın enerji bant yapısı (V>0). **d**) ters belsem uygulanan kontağın bant yapısı (V<0).

olur. Burada V_{diff}, difüzyon potansiyelidir. Yarıiletken içerisindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır. Kontağın metal tarafındaki holler için engel yüksekliği:

$$e\Phi_b = E_s - \Phi_m \tag{3.2}$$

Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletkendeki bazı boşluklar potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanıp, metalin içine geçebilir. Aynı şekilde metalde termal olarak oluşan bazı boşluklar da, engeli aşacak kadar enerji kazanıp, yarıiletken içine geçebilirler. Böylece, kontakta engelden geçen zıt yönlü iki I_0 akım oluşur. Eğer yarıiletkene bir V gerilimi uygulanırsa (Şekil 3.1b), soldan sağa akan boşluk akımı değişmez, fakat sağdan sola akan boşluk akımı exp(eV/kT) çarpanı kadar değişir. Bundan dolayı yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü eV kadar düşer ve buna bağlı olarak sağdan sola (yarıiletkenden metale) geçen boşluklar için engel yüksekliği eV kadar azalır. Sonuç olarak sağdan sola akım doğrultusu (yarıiletkenden metale doğru geçen boşlukların oluşturduğu akım) pozitif kabul edilse, karakteristik akım;

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

ifadesiyle bulunur. Bu ifadede $eV>>3kT$ olursa 1 sayısı ihmal edilebilir. Bu ifade doğrultucu kontağın akım denklemidir. Bu denklemde I_0 doyma akımı, V uygulanan potansiyel, k Boltzmann sabiti, R_s seri direnç, T Kelvin cinsinden sıcaklık ifadesidir.

3.1.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Omik kontaklar üç farklı yöntem ile elde edilir

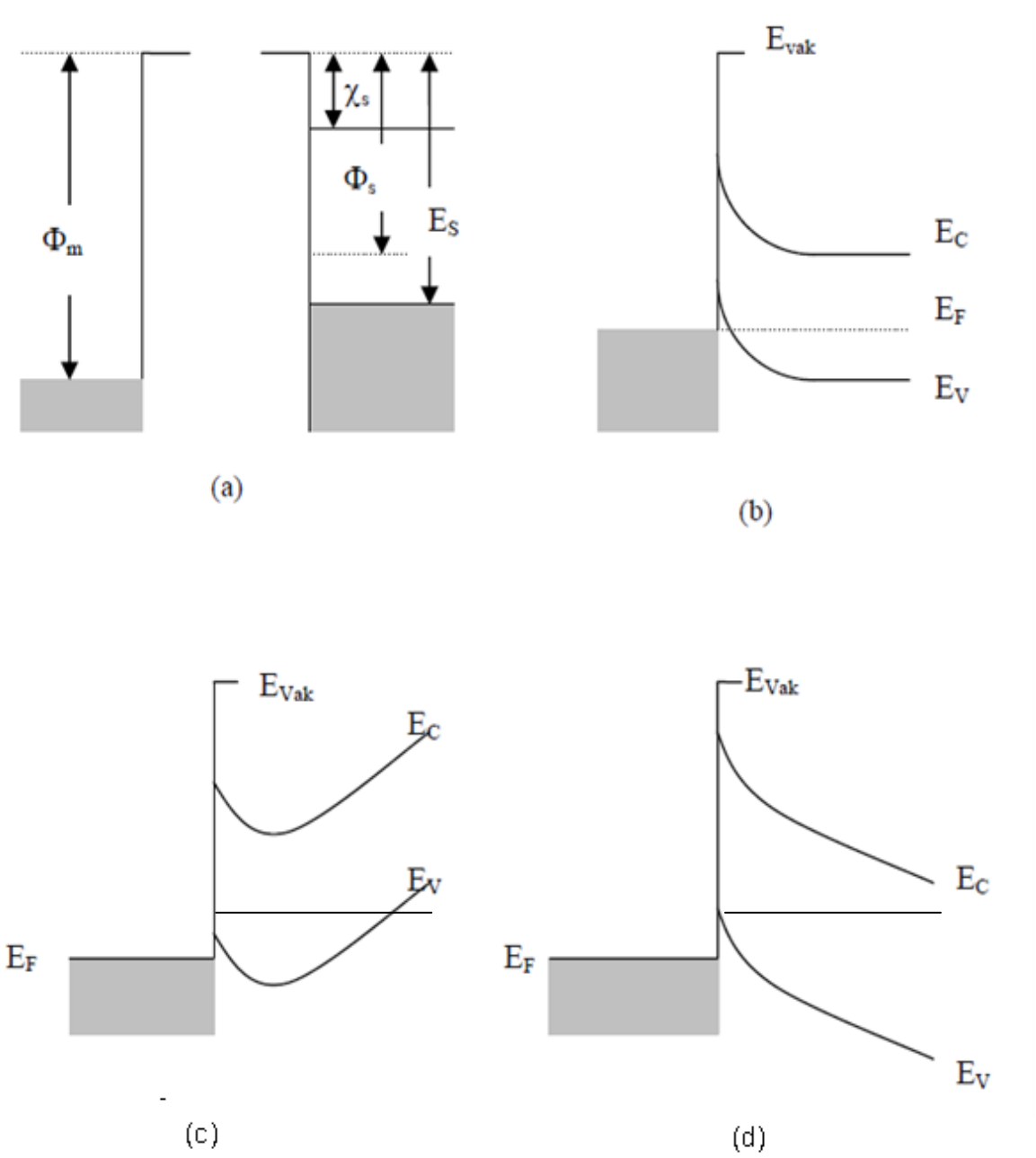
1. Engel yüksekliği düşük olan bir metal-yarıiletken eklem oluşturmak suretiyle elektronların her iki yönde de geçiş yapabileceği doğrultucu olmayan bir kontak oluşturulabilir.

2. Engel yüksekliği büyük metal-yarıiletken eklem ise arasındaki elektronların tünelleme yapabileceği dar bir potansiyel engeli oluşturmak suretiyle doğrultucu olmayan kontak elde edilebilir. Bu tünelleme engeli, yarıiletken yüzeyini aşırı tiplilik

(n^{++} veya p^{++}) gösterecek şekilde katkılamak suretiyle elde edilir.

3. Termal difüzyonla dar bant aralıklı ve taban malzeme ile benzer özellikte bir alaşım tabakası oluşturmak suretiyle omik kontak yapmaktadır.

$\Phi_m > \Phi_s$ durumunu dikkate alalım. Şekil 3.2a' da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontaktan sonra



Şekil 3.2. Metal /p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar. **a)**Kontaktan önceki enerji bantları. **b)**Kontaktan sonraki sıfır beslem (V=0) durumundaki enerji bantları. **c)**Kontaktan sonraki düz

beslem (V>0) durumundaki enerji bantları. **d)**Kontaktan sonraki ters beslem (V<0)

bir yük alışverişi olacaktır. Yarıiletkendeki elektronlar, geride bir pozitif yüzey yükü (boşluklardan dolayı) bırakarak ve metal tarafında bir negatif yüzey yükünü oluşturarak metal tarafına akarlar. Buna bağlı olarak yarıiletkendeki Fermi seviyesi Şekil 3.2b'de durumundaki enerji bantları görüldüğü gibi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı düşer. Boşluk konsantrasyonunun artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi, boşlukların yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen boşluklar, (yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı) hemen nötralize olurlar. Ters belsem (V<0) durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan boşluklar da kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçebilirler. Böyle her iki doğrultuda akımı kolayca geçirebilen kontaklar, omik kontaklar olarak bilinirler.

3.1.3.Metal /p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı

Metal p-tipi yarıiletken metal (P^+PM) yapısı, p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine boşluk bakımından çok zengin P^+P omik kontağı ile, diğer yüzeyine uygulanan PM doğrultucu kontağından meydana gelir. Termal dengede, böyle bir yapının enerji bant diyagramı Şekil-3.3 de görülmektedir. P^+ omik kontak tarafına, V>0 olacak şekilde bir gerilim uygulandığında, yapı doğru beslemde olur. P^+ tarafına V<0 olacak şekilde bir gerilim uygulandığında, yapı ters beslemde olur. P^+PM yapısı, diyot özelliğine sahip bir yapıdır. Böyle bir yapı kısaca yarıiletken diyot olarak adlandırılır. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi boşluklar için engel yüksekliği (Φ_{po}) :

$$e\Phi_{po} = eV_d + E_F \tag{3.4}$$

ifadesinden bulunur.

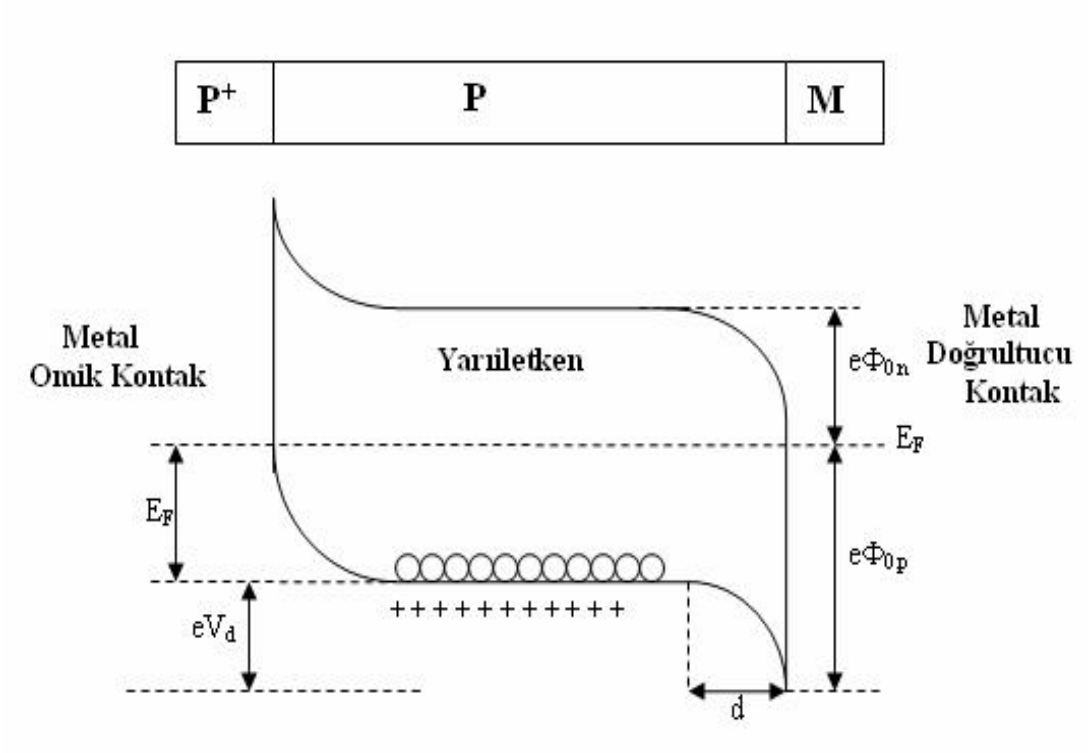
3.1.4. Schottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkiler

İdeal bir metal yarıiletken kontakta engel yüksekliği ile verilir.

$$\Phi_b = \Phi_m - \chi_s \qquad (3.5)$$

bu ifadede Φ_m kontak metalin iş fonksiyonu, χ_s yarıiletkenin elektron yatkınlığıdır. (iletkenlik bandının tabanı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkı).

Bazı etkiler, (3.5) eşitliği ile verilen Schottky engel yüksekliğinde, sapma meydana getirebilir. Bunlardan birisi, katotta emisyon akımının, artan alan kuvvetiyle artmasıdır. Bu etki, Schottky etkisi olarak bilinir ve katodun iş fonksiyonunun, yüzey alan kuvvetine bağlı olduğunu ifade eder. Metalden x uzaklığında, dielektrikteki bir elektron, elektrik alanı oluşturacaktır. Alan çizgileri, metal yüzeyine dik ve metal yüzeyinden içeriye doğru x mesafede lokalize olan +e imaj



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

yükü ile aynı olacaktır. İmaj yükü ile Coulomb etkileşmesinden dolayı elektron üzerine etkiyen kuvvete de imaj kuvveti denir ve

$$F = \frac{-e^2}{4\pi\varepsilon_s (2x)^2} = -eE \qquad (3.6)$$

Denklemiyle ifade edilir. Bu denklemden yola çıkarak potansiyel için aşağıdaki ifade elde edilebilir.

$$-\Phi(x) = + \int_x^\infty E dx = \int_x^\infty \frac{e}{4\pi\varepsilon_s 4(x)^2} dx = \frac{-e}{16\pi\varepsilon_s x} \qquad (3.7)$$

olarak bulunabilir. Burada x, integral değişkeni ve x= ∞ için potansiyeli sıfır kabul ettik. Dış elektrik alan sıfır iken, potansiyel (3.7) ifadesiyle verilmiştir. Eğer dış alan sıfırdan farklı ise, o zaman ilave bir terim gelir ve (3.7) ifadesi şöyle olur:

$$-\Phi(x) = \frac{-e}{16\pi\varepsilon_s x} - Ex \qquad (3.8)$$

(3.8) eşitliği x' in küçük değerleri için geçerliliğini kaybeder ve x sıfıra giderken $\Phi(x) \rightarrow \infty$'a yaklaşır. Eşitlikteki ikinci terim dış alandan dolayı potansiyel engelindeki düşme miktarını ifade eder. Potansiyel engelinin bu düşmesi, Schottky etkisi ya da imaj kuvvet etkisiyle düşmesidir. Schottky engel düşmesini $\Delta\Phi$,

$$\frac{d[e\Phi(x)]}{dx} = 0 \qquad (3.9)$$

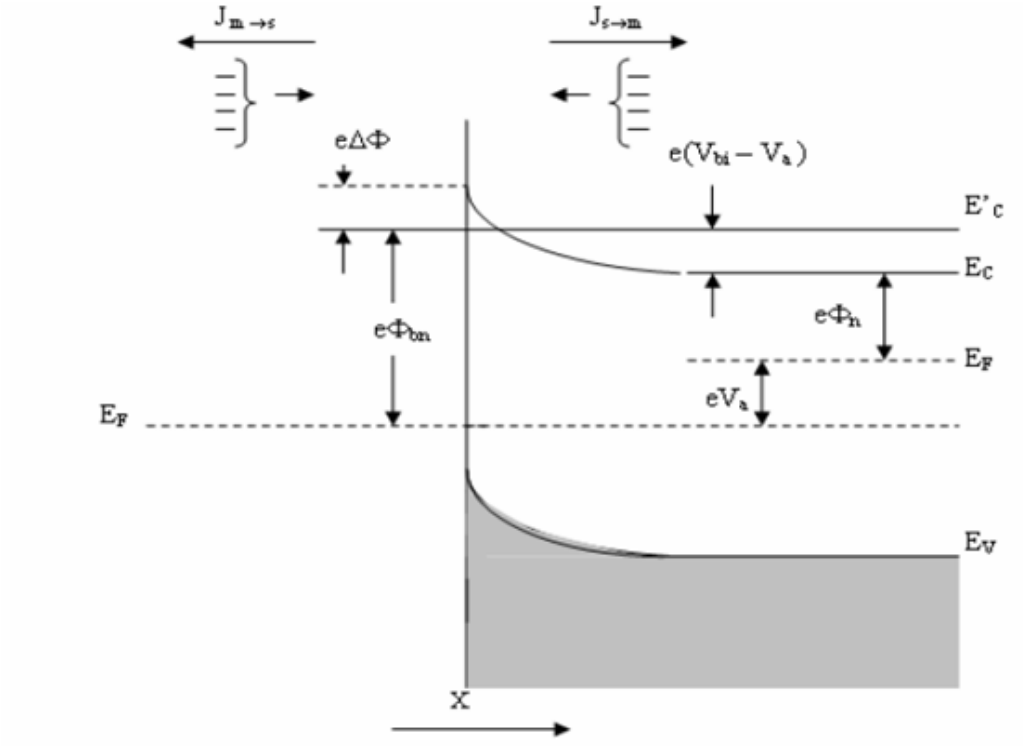
şartından maksimum engelin konumu, x_m' i şu şekilde elde ederiz.

$$X_m = \sqrt{\frac{e}{16\pi\varepsilon_s E}} \qquad (3.10)$$

3.1.5.Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi

Schottky kontaklarda, bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi, termoiyonik alan emisyon teorisi ile açıklanmaktadır. Sıcak bir yüzeyden termal enerjileri nedeniyle taşıyıcıların salınması olayı, termoiyonik emisyon olarak bilinir. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda termoiyonik emisyon teorisi, taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir.

Schottky diyotlarda akım, çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise, boşluklar akımı sağlar. Termoiyonik emisyon teorisi oluşturulurken, Maxwell-Boltzman yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelinin, *kT* enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmaların çok küçük olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.4. Düz beslemde Metal Yarıiletken Schottky kontaklarda imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı

Şekil 3.4 'de V_a büyüklüğünde düz beslem gerilimi uygulanmış bir Schottky kontak görülmektedir. Burada $J_{s\to m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m\to s}$ ise metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğudur. $J_{s\to m}$ akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu nedenle,

$$J_{s\to m} = e\int_{E_c}^{\infty} v_x \, \mathrm{dn} \tag{3.11}$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerji, v_x sürüklenme yönündeki hızdır. Artan elektron konsantrasyonu,

$$J = [\, A^* T^2 \exp(\tfrac{-e(\Phi_{bn})}{kT})] \exp(\tfrac{eV_a}{kT} - 1) \tag{3.12}$$

şeklinde yazılabilir. Burada A^* ifadesi termoiyonik emisyonda etkin Richardson sabiti olup

$$A^* = \tfrac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \tag{3.13}$$

ile verilir. Genel durum için (3.12) ifadesi

$$J = J_0[\exp(\tfrac{eV_a}{kT}) - 1] \tag{3.14}$$

olarak yazılabilir. Burada, J_0 ters doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_0 = A^* T^2 \exp(\tfrac{-e(\Phi_{bn})}{kT}) \tag{3.15}$$

şeklinde ifade edilir. Φ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve $\Phi_{bn}=\Phi_{bo} - \Delta\Phi$ şekline verildiği dikkate alınarak (3.15) ifadesi yeniden

$$I_0 = A^* T^2 exp\left(\frac{-e\Phi_{bo}}{kT}\right) ln\left(\frac{-e\Delta\Phi}{kT}\right) \quad (3.16)$$

şeklinde yazılır. Engel yüksekliğindeki $\Delta\Phi$ değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters beslem gerilimi ile artacaktır. Denklem 3.14 ü *I* akım ifadesi olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$I = I_0[\exp(\frac{eV}{kT}) - 1] \quad (3.17)$$

Bu denklem, ideal diyotlar için geçerlidir. İdeal faktörü *n* olmak üzere, bu denklemi şöyle yazarak genelleştirebiliriz.

$$I = I_0[\exp(\frac{eV}{nkT}) - 1] \quad (3.18)$$

Bir diyotun seri direncine R_s dersek, denklemi nihayet olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$I = I_0[\exp\left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1] \quad (3.19)$$

3.1.6. Norde Fonksiyonları Yardımı ile Schottky Diyot Parametrelerinin Belirlenmesi

İdeal Schottky bariyer diyodu için akım gerilim karakteristiği, denklem 3.17'de ve doyma akımı ifadesi de denklem 3.15 ile daha önce verilmişti. Eğer diyotun seri direnci esas alınırsa farklılıklar ortaya çıkar. Grafiğin doğru kısmı, *kT/e* << *V* << *IR* aralığını verecektir. Direnç çok büyük olduğunda, doyma akımının güvenilir değeri çok küçük olacaktır. Ayrıca gerilimin büyük olduğu yerde, bu aralık kullanılırsa, diyotun rekombinasyon akımı, total akımın, önemli bir parçası olabilir. Extrapole etmek I_s değerini daha az güvenilir yapar.

Seri direnç ile bu problem birçok durumda *F(V)* fonksiyonunun grafiği kullanılarak çözümlenebilir.

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} ln(\frac{1}{A_d A^* T^2}) \quad (3.20)$$

yazılır ve *F(V)*' nin minimum değerinden

$$F(V_0) = \frac{V_0}{2} - \frac{1}{\beta}(\frac{I_0}{A_d A^* T^2}) \quad (3.21)$$

I_o , V_o ve $F(V_o)$'ın ölçülen değerleri kullanılarak,

$$R_s = \frac{kT}{eI_0} \quad (3.22)$$

ve

$$\Phi_b = F(V_d) + \frac{V_0}{2} - \frac{kT}{e} \quad (3.23)$$

elde edilir.

Norde'nin kullandığı bu metot, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup; Bohlin ideal olmayan durumlar için genelleştirilmiş Norde metodunu kullanarak seri direnç ve *n* değerlerinin hesaplanabileceğini göstermiştir (Bohlin 1986).

Denklem 3.19 ile daha önce verilen akım gerilim karakteristiğini göz önüne alarak, seri bir *F(V)* fonksiyonu yazılabilir.

$$F(V,\gamma) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} ln\,(\frac{I}{A_d A^* T^2}) \quad (3.24)$$

Burada *γ, n*'den büyük keyfi bir sabittir. Denklem (3.21) ile (3.22) birleştirilirse

$$F(V,\gamma) = (\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta})V + \Phi_b + \frac{IR_s}{\eta} \quad (3.25)$$

elde edilir. İdeal bir diyot için seri direnç sıfır *F(V,γ)* fonksiyonu düz bir doğru, eğimi *(n-γ)/γn* olacaktır. Diğer bir deyişle sadece bir direnç varsa fonksiyon

$$F(V,\gamma) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{V}{R_s A_d A^* T^2}\right) \quad (3.26)$$

olacaktır.

Bu fonksiyon gerilimin büyük değerleri için *1/γ* eğimi ile düz çizgiye yaklaşacaktır. *γ* sabiti *n*' den büyük olduğu sürece fonksiyon minimuma sahip olacaktır. Denklem 3.24'ün gerilime bağlı diferansiyeli alınırsa,

$$\frac{dF}{dV} = \frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta} + \frac{R_s}{\eta}\left(\frac{dI}{dV}\right) \quad (3.27)$$

ve denklem 3.26' den

$$\frac{dI}{dV} = \frac{\beta I}{\eta} - \frac{\beta R_s I}{\eta}\left[\frac{dI}{dV}\right] \quad (3.28)$$

Denklem 3.26 ve 3.37 birleştirilirse

$$\frac{dI}{dV} = \frac{\frac{\beta I}{\eta}}{1+\frac{\beta R_s I}{\eta}} \quad (3.29)$$

Denklem 3.26 ve 3.28 birleştirilse,

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\eta-\gamma+\beta R_s I}{\gamma(\eta+\beta R_s I)} \quad (3.30)$$

dF/dV=0 minimum değerinde

$$I_0 = \frac{\gamma-\eta}{\beta R_s} \quad (3.31)$$

Denklem 3.25 ve 3.30 kullanılarak

$$F(V_0,\gamma) = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta}\right)V_0 + \Phi_b + \frac{\gamma-\eta}{\beta\eta} \quad (3.32)$$

Burada I_0 ve V_0 değerleri minimumda benzeşirler. Sonuç olarak;

$$\Phi_b = F(V_0, \gamma) + (\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\gamma})V_0 - (\frac{\gamma - \eta}{\beta\eta}) \quad (3.33)$$

$$R = \frac{\gamma - \eta}{\beta I_0} \quad (3.34)$$

elde edilir.

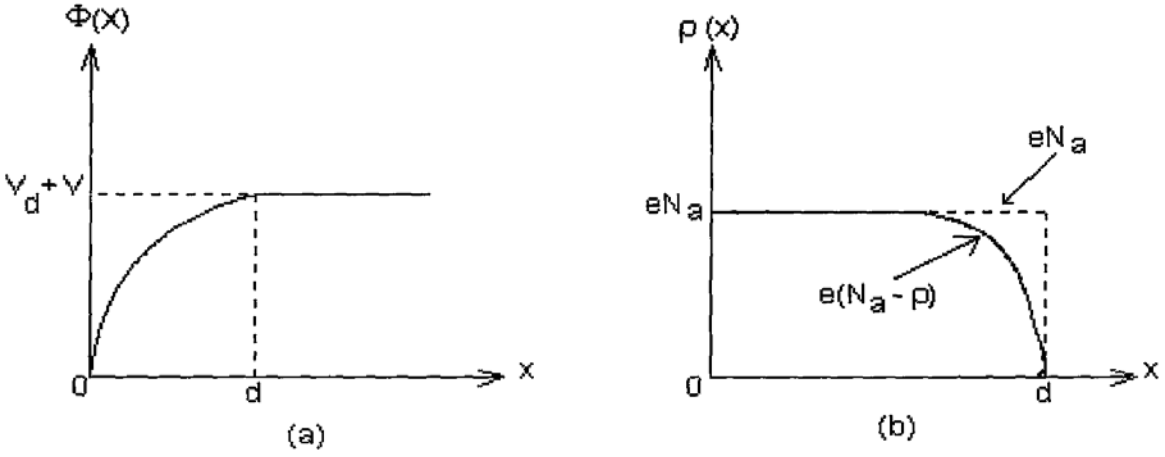
3.1.7. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlarda Schottky kapasitesi

Metal-yarıiletken kontak yapılarda, arınma bölgesi (dipol tabakası), yarıiletken tarafındaki uzay yükleri ve metal tarafındaki yüzey yükleriyle bir kondansatör gibi davranır. Ters belsem durumunda, gerilim arttırıldığında arınma bölgesinin genişliği artar. Yarıiletkende, metale yakın bölümde, bir boşluk yoğunluğu varsa, yeni Fermi seviyesi metaldeki Fermi seviyesi ile çakışacağından boşluk yoğunluğu düşecektir.

Schottky bölgesinin kapasitesi, bu yük değişiminden dolayı değişecektir. Bu özelliklerinden dolayı Schottky diyotları, gerilim kontrollü değişken kapasitörler olarak kullanılabilirler. Schottky bölgesinin kapasitesini bulmak için, diyotun engel tabakasındaki potansiyel dağılımının Poisson eşitliği

$$\nabla^2\Psi(x) = \frac{d^2\Psi}{dx^2} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon_s\varepsilon_0} \quad (3.35)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ziel, 1968). Burada ε_s yarıiletkenin, ε_o boşluğun dielektrik



Şekil.3.5 Metal p-tipi yapılarda doğrultucu kontağın potansiyel dağılımı (a), yük dağılımı (b)

sabiti, $\rho(x)$ konuma bağlı uzay yükü yoğunluğudur. Uzay yükü yoğunluğu,

$$\rho(x) = e(N_a + N_d) \tag{3.36}$$

olarak yazılabilir (Rhoderick and Williams 1988). Burada N_d, yarıiletkenin donor yoğunluğu, N_a, yarıiletkenin akseptör yoğunluğudur. $\Psi(x)$ potansiyel fonksiyonu ile uzay yük yoğunluğu, $\rho(x)$ nun konumuna göre değişimleri yukarıdaki şekil.3.5'te gösterilmiştir.

Engel tabakasının difüzyon potansiyelini V_D ve kontağa uygulanan potansiyeli V temsil etsin. $e(V_D-V)>>kT$ olduğundan $0 \leq 0 \leq d$ aralığında yük taşıyıcılar d uzunluğunda, Debye difüzyon uzunluğu ile verilen bir bölgede kısmi olarak bulunacaklardır. Dolayısı ile p-tipi yarıiletken için $N_a \gg N_d$ olduğundan uzay yük yoğunluğu için

$$\rho(x) \cong eN_a \tag{3.36}$$

olarak yazılabilir. (3.34) ve (3.36) eşitliklerinden,

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} = -\frac{qN_a}{\varepsilon_s\varepsilon_o} \tag{3.37}$$

elde edilebilir. Bu son denklemin çözümü şu sınır değerleri için yapılmalıdır.

1) x =0 için $\Psi(x)$=0

2) $x \geq d$ için $\Psi(x)=V_d$+V

3) $x=d$ için $\frac{d\Psi(x)}{dx}$=0

denklem 3.37 için, üçüncü sınır şartı göz önünde bulundurularak, integral alınırsa

$$\mathrm{E(x)} = -\frac{d\Psi(x)}{dx} = -\frac{eN_a}{\varepsilon_s\varepsilon_o}(\mathrm{x-d}) \tag{3.38}$$

bu eşitlikte birinci sınır şartı dikkate alınarak integral alınırsa,

$$\Psi(x) = -\frac{eN_a}{\varepsilon_s\varepsilon_o}\left(\frac{1}{2}x^2 - \mathrm{xd}\right) \tag{3.39}$$

elde edilir. Bu son denklemin ikinci sınır şartı için çözümü yapılırsa,

$$d = \left[\frac{2\varepsilon_s\varepsilon_o}{eN_a}(V_d \mp v)\right]^{1/2} \tag{3.40}$$

bulunur. Bu bulunan ifade Schottky bölgesinin genişliğidir. Burada *V>0* için, kontak doğru ve *V<0* için kontak ters belsemdedir. Yarıiletkende birim alan başına düşen yük yoğunluğu

$$\mathrm{Q} = -eN_a.d \tag{3.41}$$

ile verilir. (3.40) ve (3.41) denklemlerinden,

$$\mathrm{Q} = -[2\varepsilon_s\varepsilon_o eN_a(V_d \mp v)]^{1/2} \tag{3.42}$$

eşitliği elde edilir. Schottky kapasitesi, (3.42) eşitliğine sahip Q yükünün, uygulanan voltaja göre değişimi olarak tanımlanır. Dolayısı ile kapasite,

$$\mathrm{C} = \frac{\partial Q}{\partial V} \tag{3.43}$$

olarak yazılıp, (3.42) ve (3.43) eşitliklerinden

$$\mathrm{C} = \left[\frac{\varepsilon_s\varepsilon_o eN_a}{2(V_d+V)}\right]^{1/2} \quad \text{veya} \tag{3.44}$$

$$C = \frac{\varepsilon_s \varepsilon_0}{d} \quad (3.45)$$

olarak bulunabilir. Görülüyor ki arınma bölgesi kapasitesi, uygulama voltajı ve Schottky bölgesinin genişliği ile ters, akseptör yoğunluğu ile doğru orantılıdır.

3.2 Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi

3.2.1 Hava Kitlesi

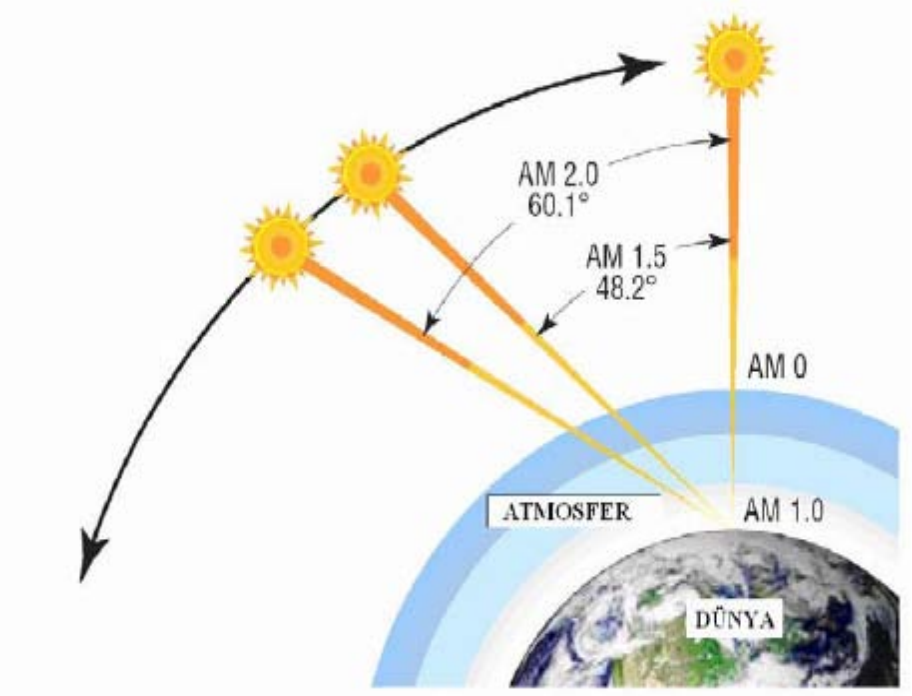
Güneş yüzeyi, 5762 *K* siyah cisim radyatörünün spektrumuna benzer. Güneş, dünyadan oldukça uzaktadır ve bundan dolayı dünya tarafından emilime uğrayan ışınların paralel geldiği kabul edilebilir. Atmosfer üzerinde, ışınım yoğunluğu yaklaşık 1353 W/m^2 dir ve bu ışınımın spektral dağılımı sıfır hava kitlesi (AM0) olarak nitelendirilir. Hava kitlesi, dünya yüzeyine ulaşan ışınların spektrumunun ve yoğunluğunun atmosfer tarafından ne kadar etkilendiğini gösteren bir ölçüdür. Hava kitlesi (Air Mass)

$$Air\ Mass = \frac{1}{\cos\theta} \quad (3.46)$$

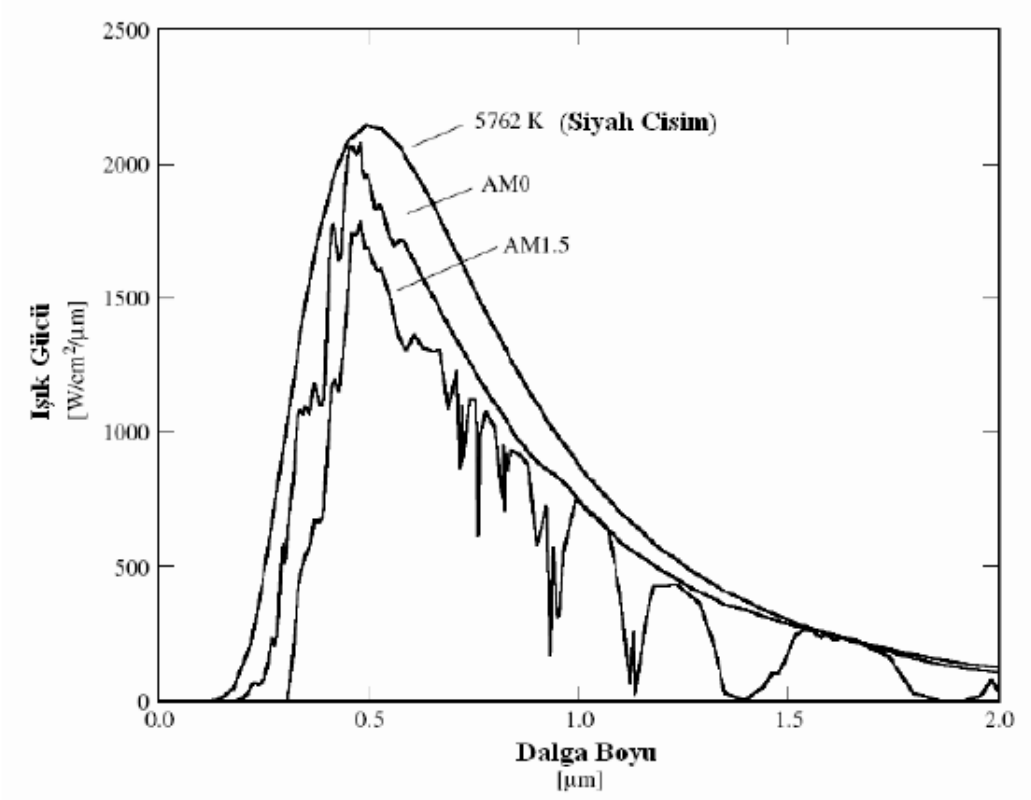
ile ifade edilir. Burada θ ışığın geliş açısıdır. Green, hava kütlesi kolay yoldan bulunması için aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Green 1992).

$$\text{Air Mass} = \sqrt{1 + (L/H)^2} \quad (3.47)$$

burada H cismin boyu ve L gölge boyudur. Güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılmasında standart olarak AM1.5 spektrumu ve toplam 1000 W/m^2 güce sahip ışık kullanılmaktadır. Şekil 3.10 hava kitlesi numaralarına göre güneş ışınlarının dünyaya gelişini ve Şekil 3.11 kara cisim ışımasını, AM0 ve AM1.5 spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 3.6. Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterimi (Ocak 2010)

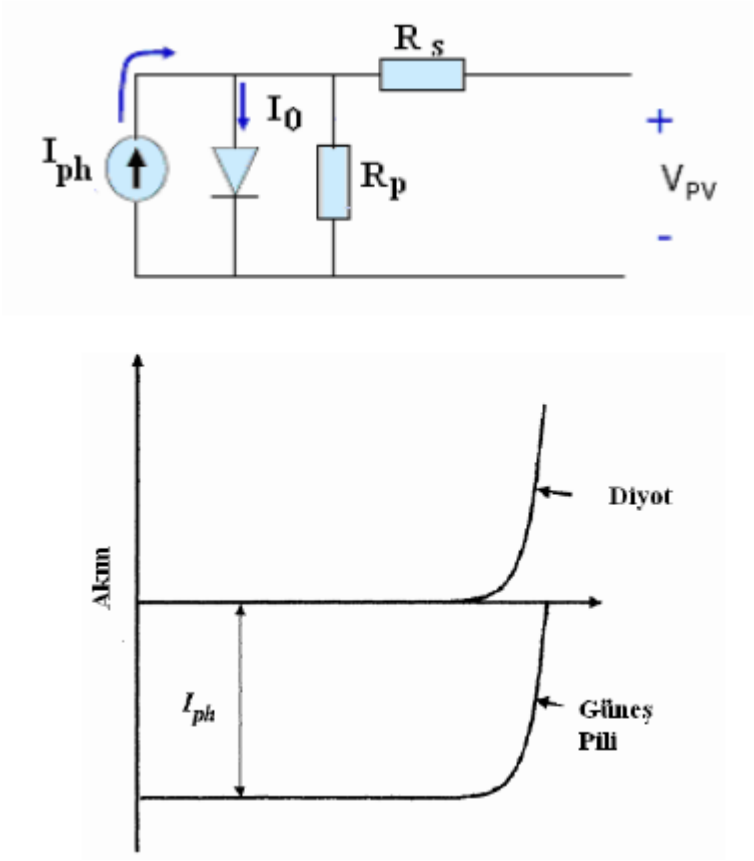


Şekil 3.7. Kara cisim ışıması, AM0 ve AM1.5 spektrumları

3.2.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu

Güneş pillerinde fotovoltaik enerji dönüşümünde iki basamak mevcuttur. Bunlar sırasıyla, soğurulan ışık tarafından elektron-boşluk çiftlerinin oluşması ve elektronların güneş pilinin negatif terminaline ve boşlukların pozitif terminale gitmeleridir. Böylece elektriksel güç elde edilir. Bir güneş pili Şekil 3.13'te gösterildiği gibi doğrultucu bir diyota bağlanmış bir akım kaynağı ile tasvir edilebilir. Şekil 3.13b'de ayrıca diyot ve güneş piline ait akım gerilim grafiklerinin üst üste binmesi şematize edilmiştir. Bir pilin akım gerilim karakteristiği Shockley tarafından

$$I = I_{ph} - I_0[\, exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1] \qquad (3.48)$$



Şekil 3.8. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterimi
b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği

olarak ifade edilmiştir (Shockley 1950). Burada k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, q elektron yükü ve V pilin iki terminali arasına uygulanan gerilimidir. I_0 doyma akımıdır ve karanlık altında güneş pilinin klasik doğrultucu kontak gibi davrandığını ifade eder. I_{ph} ışık tarafından oluşturulan akımdır ve pil üzerine düşürülen foton akışı ile ilişkilidir. Şekil 3.13 denklem 3.49'a karşılık gelen akım-gerilim ifadesini temsil etmektedir. Burada, I_{sc} kısa devre akımıdır ve ışık tarafından oluşturulan I_{ph} değerine eşittir. V_{oc} ise açık devre gerilimidir ve

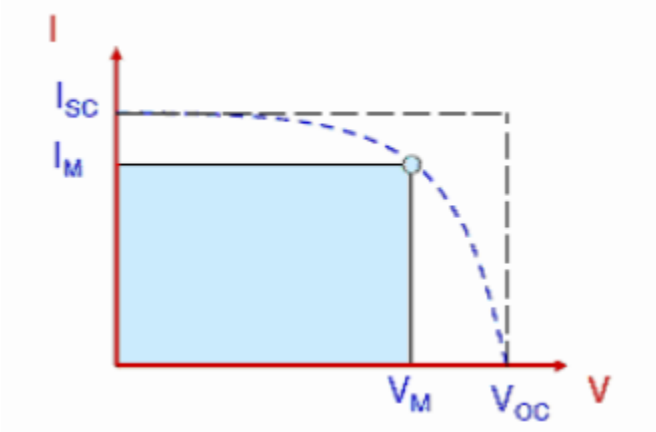
$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln\left(1 + \frac{I_{ph}}{I_0}\right) \tag{3.49}$$

ile ifade edilir. Grafikte ifade edilen I_m ve V_m ifadeleri sırasıyla maksimum gücün elde edildiği akım ve gerilim değerleridir. Pil tarafından üretilen güç şekil 3.14'de gösterilmektedir. Pilden elde edilen maksimum güç

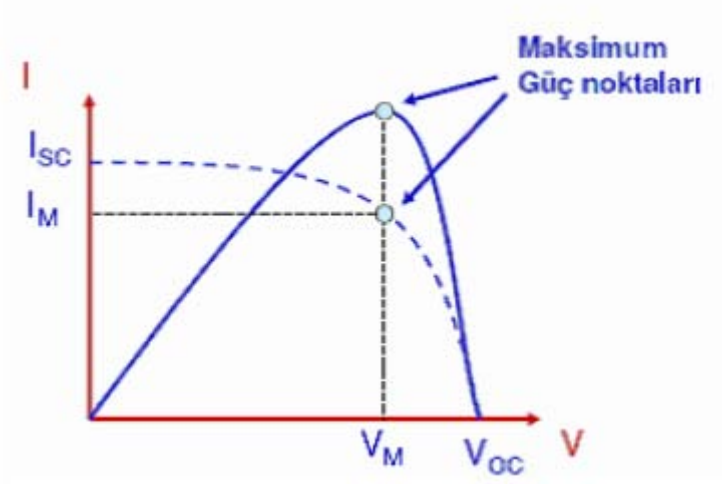
$$P_{max} = I_{max} V_{max} \tag{3.50}$$

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

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in} S} \tag{3.51}$$



Şekil 3.9. Güneş pillerinde denklem 3.49'a karşılık gelen akım-gerilim grafiği

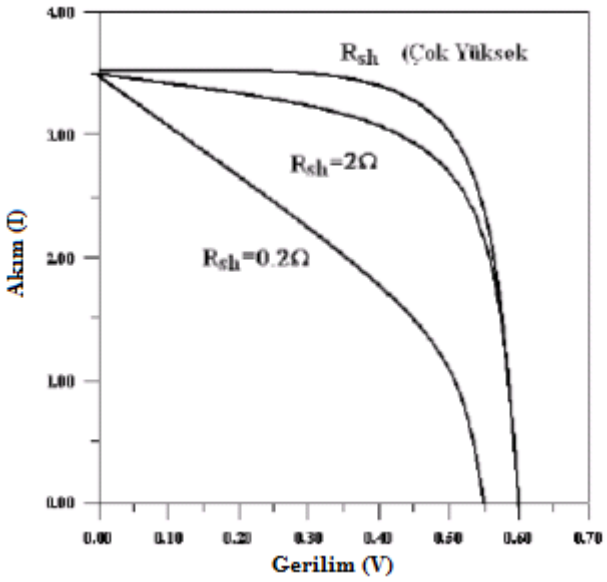


Şekil 3.10. Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterimi

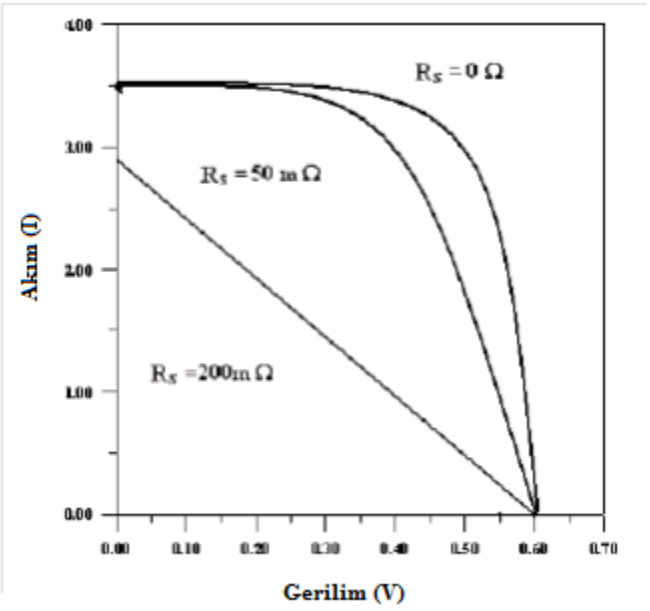
şeklinde yazılır. Burada P_{in} pil yüzeyine düşürülen ışığın güç ve S pilin etkin alanıdır. Bundan dolayı ölçümlerde kullanılan simülatörün ışık gücü ile pilin etkin alanının çarpılması ile net güç bulunur. Güneş pillerinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre, doluluk oranıdır. Bu terim, elde edilen maksimum gücün açık devre gerilimi ile kısa devre akımlarının çarpımına oranıdır ve (3.50) formülü ifade edilir (Gray 2003).

$$\mathrm{FF} = \frac{P_{max}}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{\eta P_{in}}{V_{OC} I_{SC}} \qquad (3.52)$$

Güneş pillerinde, maksimum gücün elde edildiği V_m ve I_m noktalarının gösterimi ile ifade edilir. Bir güneş pilinin doluluk oranı, bu pilin seri ve paralel direncinden doğrudan etkilenir. Paralel direncin arttırılması ve seri direncin düşürülmesi doluluk oranını arttırır ve dolayısıyla pilin verimini arttırır. Şekil.3.14 ve 3.15 güneş pillerinde doluluk faktörüne ve dolayısıyla pil verimine seri direnç ve paralel direnç etkilerini göstermektedir.



Şekil 3.11. Güneş pili üzerine paralel direnç etkisi (R_s=0 durumunda)



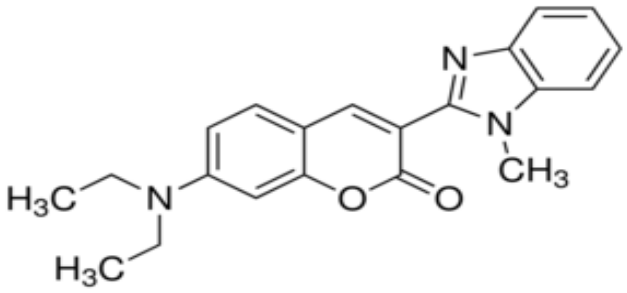
Şekil 3.12. Güneş pili üzerine seri direnç etkisi (R_p=∞ durumunda)

3.3 Deneysel İşlemler

3.3.1.Giriş

Bu kısımda Al/Coumarin 30/p-Si yapısını oluşturmakta kullanılan Coumarin 30 molekülünün, kimyasal özellikleri, diyotun oluşturulması ve diyotun karakterizasyonu için gerekli olan ölçümlerin nasıl yapıldığı anlatılacaktır.

3.3.2. Coumarin 30 Bileşiğinin Bazı Özellikleri



Şekil 3.13. Coumarin 30 molekülünün organik yapısı

Coumarin 30 organiğin molekül fomülü $C_{21}H_{12}N_3O_2$ ve molekülün kütle ağırlığı 347.41 g'dır. Dalga boyu λ_{max} 413 nm'dir. Coumarin 30 bileşiği, boyaya duyarlı güneş pillerinde (DSSC), organik fotovoltaik (OPV) yapılarda, az organik ve baskılı elektronik boya malzemelerinde kullanılır.

3.3.3.Yarıiletkenin temizlenmesi

Diyotun oluşturulmasında 1-10 Ωcm özdirence ve (100) yönelime sahip p-Si yarıiletken kullanıldı. Yarıiletken, muhtemel yağlarından temizlenmesi için trikloroetilende 10 dakika kaynatıldı. Daha sonra sırasıyla aseton ve metanolde ultrasonik olarak 5 dakika bekletildi. Yüzeydeki oksit tabakalardan kurtulmak için, HF-H_2O (1:10) seyreltik çözeltisine, 30 saniye boyunca daldırıldı. Her aşamadan sonra, deionize suyla durulandı. Daha sonra, azot (N_2) ortamında kurutuldu.

3.3.4.Diyotların hazırlanması

Diyotların üretimine, omik kontak oluşturulması ile başlandı. Düşük basınç altında daha önce temizlenmiş olan p-Si yarıiletkeninin mat yüzeyine 200 nm kalınlığında Al buharlaştırıldı. Oluşan p-Si/Al yapısı azot ortamında, 570 °C sıcaklığa ayarlanmış kuartz fırında 3 dakika tavlandı. Böylece, yapımızın omik kontak bölümü hazırlanmış oldu. Omik kontak işleminden sonra, muhtemel oksitlenmeye karşı, yapımızın parlak yüzeyi seyreltik HF:H_2O (1:10) çözeltisiyle temizlendi. Deionize suda yıkanıp, azot gazıyla kurutuldu. 12 mg Coumarin 30 molekülü 25 ml etanolde dikkatlice karıştırıldı. Oluşan karışımın homeojen oluşması için manyetik karıştırıcıda 500 rppm 30 dak karıştırıldı. Daha sonra karışım organik kirlerden arınmış ve HF ile temizlenmiş p-Si üzerine dönel kaplama cihazı ile kaplandı. Oluşturulan Coumarin 30 ince filminin kalınlığı PHE-102 spektroskopik elipsometre ile 127 nm olarak ölçüldü. Daha sonra organik film üzerine düşük basınçta Al buharlaştırılarak Al/Coumarin 30/p-Si yapısı elde edilmiş oldu.



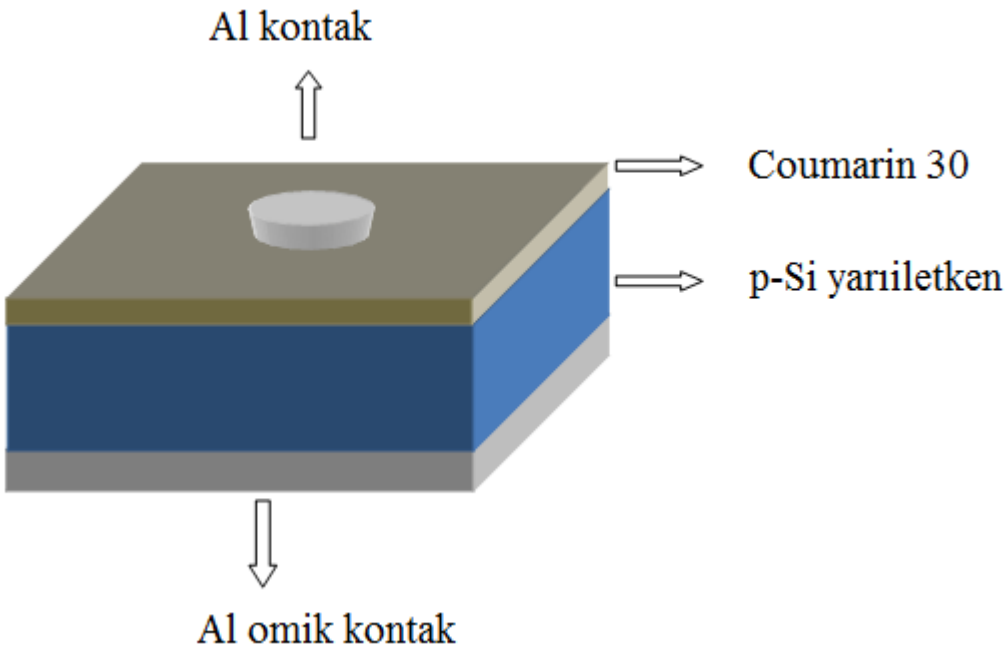
Şekil 3.14. Termal buharlaştırma işleminin gerçekleştirildiği NVTS-400 kombine vakum sistemi



Şekil 3.15. Tavlama İşleminin Gerçekleştirildiği Fırın



Şekil3.16.. Cumarin 30 filminin kalınlığını ölçüldüğü PHE102 Elipsometre cihazı



Şekil3.17 Al/Coumarin 30/p-Si yapısı

3.3.5.Akım-Gerilim ve Kapasite Gerilim ölçümlerinin alınması

Oluşan Al/Coumarin 30/p-Si/Al yapısının, elektriksel karekterizasyonunun belirlenmesi için yapının akım-gerilim (*I-V)* ölçümleri Keithley 2400 sourcemeter cihazı kullanılarak alınarak yapıldı. Bu ölçümler sonucunda, yapımızın doğrultucu özelliğe sahip olduğu görüldü. Ayrıca *I-V* ölçümleri 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğuna sahip güneş simülatörü altında gerçekleştirilmiş ve yapının ışığa karşı duyarlılığı ve fotoelektriksel özellikleri incelenmiştir.

Diyotun farklı frekanslarda kapasite-gerilim (*C-V*) ise HP 4294A (40 Hz- 110 MHz) İmpedans Analizör kullanılarak gerçekleştirildi. Yüksek frekansta (500 kHz) C^{-2}-V grafiği kullanılarak yapının bazı elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar *I-V* verileri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.18. Keithley 2400 Sourcemeter ve güneş simülatörü



Şekil3.19. *C-V* ölçümlerinin yapıldığı HP 4294A (40 Hz-110 MHz) İmpedans Analizörü

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1.Giriş

Bu bölümde Al/Coumarin 30/p-Si/Al diyotun elektriksel ve fotoelektriksel özellikleri incelenmektedir.

4.2. Al/Coumarin 30/p-Si/Al Yapısının Akım-Gerilim karakteristiği

Yapılan akım-gerilim *(I-V)* ölçümlerinde hazırlanan Al/Coumarin 30/p-Si yapısının doğrultucu özelliğe sahip olduğu görüldü. Belirli bir *V* potansiyeli altında tutulan bir diyottan geçen akım

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \tag{4.1}$$

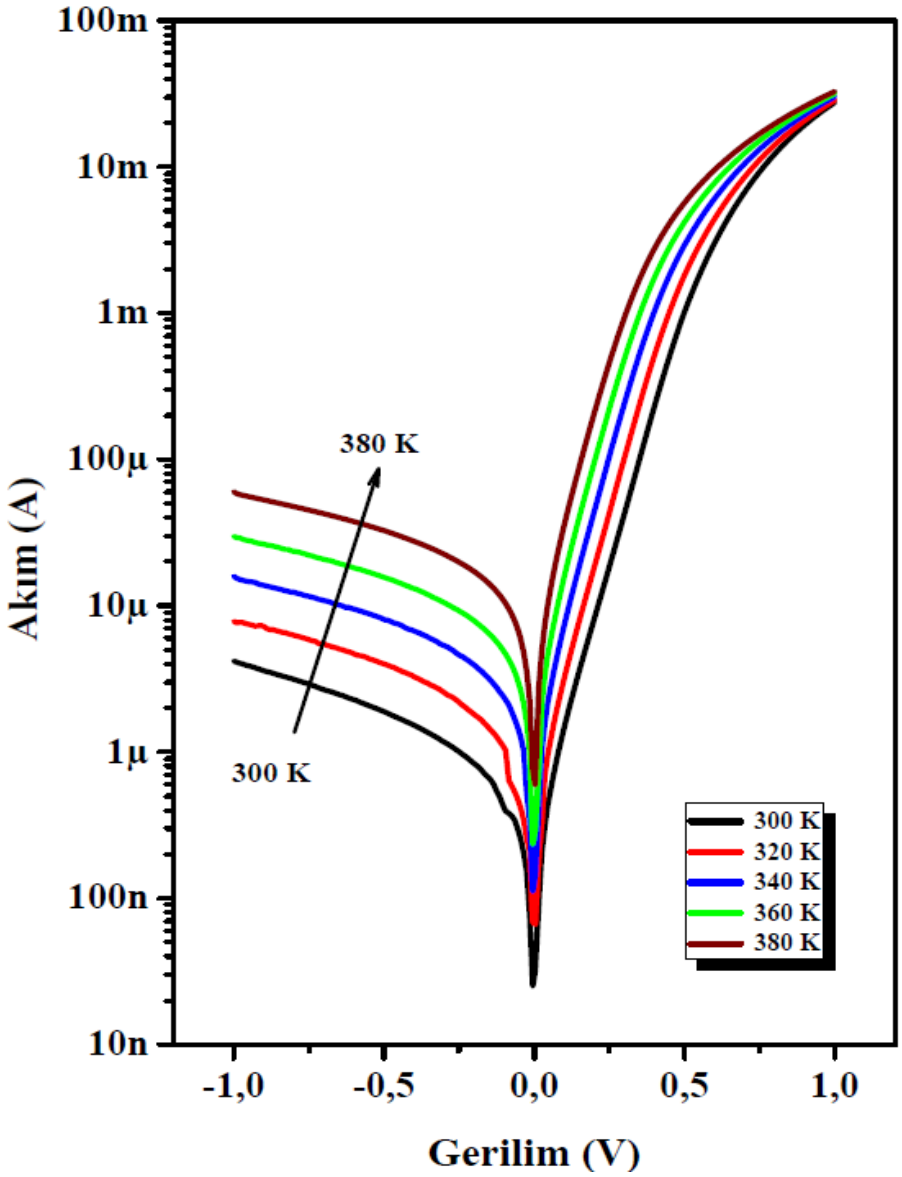
denklemi ile ifade edilmektedir. Burada *q* elektronik yük, *V* uygulanan gerilim, R_S seri direnç, *n* boyutsuz idealite faktörü, *k* boltzman sabiti, *T* mutlak sıcaklık ve I_0 doyma akım değeridir ve

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \tag{4.2}$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifadede *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

$$n = \frac{q}{kT}\frac{dV}{d\ln(I)} \tag{4.3}$$

ifadesi yardımıyla hesaplanır. Al/Coumarin 30/p-Si yapısının 300-380 K aralığında yapılan ölçümlerle elde edilen ln*I-V* grafiği Şekil 4.1'de gösterilmektedir. 300 K'de yapıya ait idealite faktörü 2,20 olarak hesaplanmıştır. İdeal bir diyot için bu değer 1 olmalıdır. İdeallikten sapmalar genellikle kullanılan ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direncin etkisine bağlanır (Ocak, 2010). Bazı araştırmacılar ideallikten sapmaya neden olarak organik ara tabaka ile ikinci bir mekanizmanın ara yüzeyde oluşmasını gösterirken, bazı araştırmacılar tükenim bölgesinde elektron ve



Şekil 4.1. Al/Coumarin 30/p-Si yapısına ait 300-380 K aralığındaki ln*I-V* grafiği

değiklerin tekrar birleşmesi veya uygulanan gerilim ile difüzyon akımının artmasına atfetmişlerdir. Tablo 4.1 Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun sıcaklığa bağlı akım gerilim verileri ile elde edilen bazı elektriksel özellikleri göstermektedir. Tablodan da görüleceği gibi diyotun idealite faktörü 300-380 K aralığında 2,2 değerinden 1,77 değerine düşmüştür. Benzer sonuçlar Au/Pyronine-B/n-InP (Soylu 2007) ve Sn/MnHA/n-Si (Ocak ve ark 2010) için rapor edilmiştir. Au/Pyronine-B/n-InP diyotunun idealite faktörünün 160-400 K aralığında 1,76'dan 1,03'e düştüğü ve

Tablo 1. ln*I-V* ve Norde'ye göre farklı sıcaklıklardaki elektriksel parametreler

	ln*I-V*		**Norde**			
Sıcaklık (K)	*n*	ϕ_b *(eV)*	$F(V_0)$ *(V)*	V_0 *(V)*	ϕ_b *(eV)*	R_S *(Ω)*
300	2,20	0,67	0,61	0,49	0,75	23,5
320	2,06	0,70	0,64	0,47	0,77	20,5
340	1,93	0,72	0,71	0,25	0,82	18,3
360	1,88	0,74	0,73	0,27	0,83	17,5
380	1,77	0,76	0,75	0,25	0,84	17

Sn/MnHA/n-Si yapısı için idealite faktörünün 300-380 K aralığında 1,99'dan 1,67'ye düştüğü gözlemlenmiştir.

Diyota ait engel yükseklikleri ln*I-V* grafiğinin *I* eksenini kestiği noktadaki doyma akım değeri olan I_0 kullanılarak

$$\phi_b = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \tag{4.4}$$

formülü ile hesaplanabilir. Al/Coumarin 30/p-Si yapısının 300 K'de engel yüksekliği 0,67 eV olarak hesaplanmıştır. Al/p-Si metal-yarıiletken (MS) kontak için engel yüksekliği Ocak ve arkadaşları tarafından 0,58 eV olarak rapor edilmiştir. Elde edilen sonuç Coumarin 30 molekülünün klasik Al/p-Si yapısının engel yüksekliği üzerine ciddi etkilerinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca yapının engel yüksekliği 300-380 K aralığında 0,67 eV değerinden 0,76 eV değerine çıkmıştır.

Azalan sıcaklıkla idealite faktörünün artması ve engel yüksekliğinin azalması, metal-yarıiletken ara yüzeyindeki atomik homojensizliğe bağlı olarak açıklanabilir. Bu homojensizlik, organik bileşik/yarıiletken arasındaki atomik homojen olmayan engelle açıklanabilir. Bu homojensizliğin nedeni farklı atomik fazlar, yüzey kusurları veya ara yüzeyin etkisine atfedilebilir (Werner and Güttler 1991, 1993).

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, ln*I–V* eğrileri yüksek gerilimlerde lineerlikten sapmaktadır. Bu sapmalar arayüzey diyotlardaki mevcut seri direnç etkisini göstermektedir. Norde engel yüksekliği ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metot önermiştir. Geliştirdiği metot

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q}\left(\frac{I(V)}{AA^{*}T^{2}}\right) \tag{4.5}$$

şeklinde modifiye edilmiştir. Buradaγ ifadesi *n* değerinden büyük olan ilk tam sayıdır ve *I(V)* ifadesi *I-V* eğiminden elde edilen akım değeridir. Bu metotta engel yüksekliği

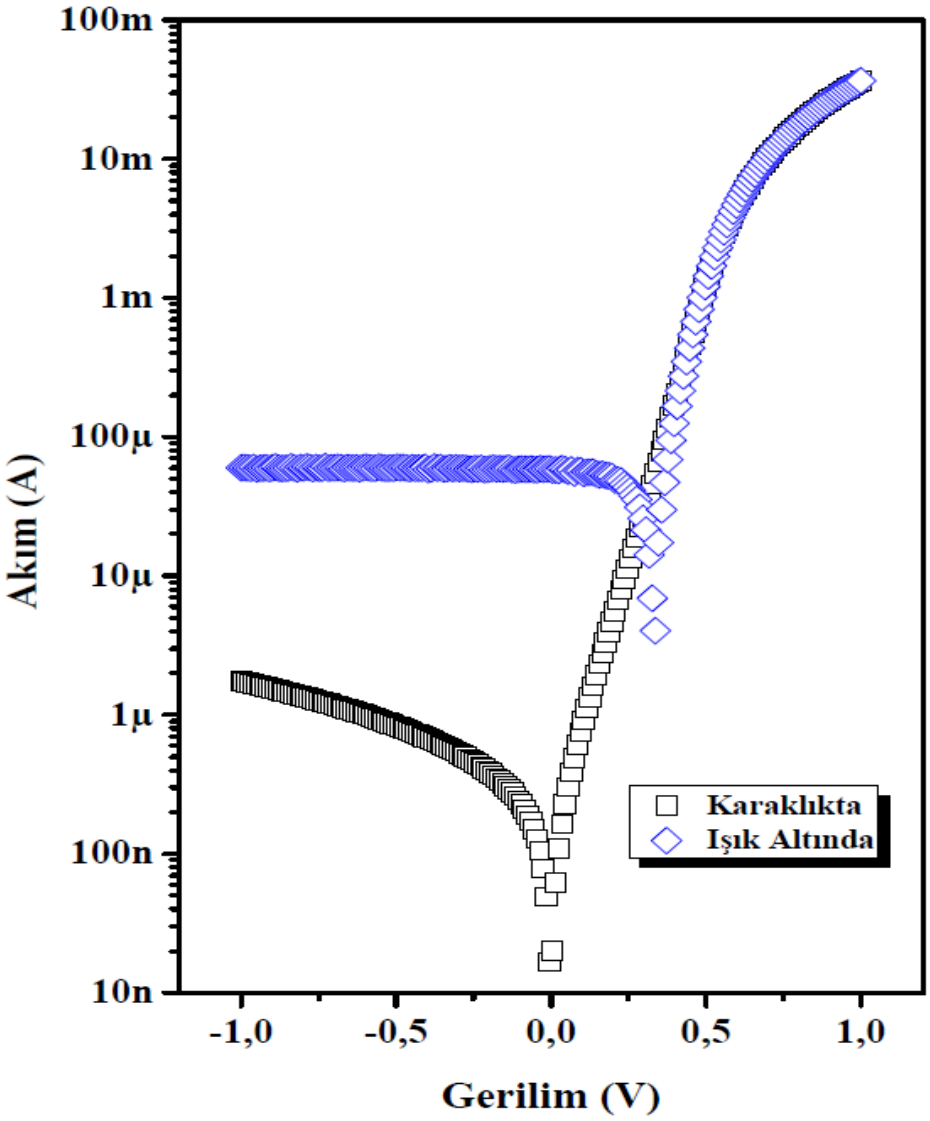
$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \tag{4.6}$$

olarak verilir. Burada *F* (V_0) ifadesi *F-V* grafiğinin minimum *F(V)* değeridir V_0 ise bu değere karşılık gelen gerilim değeridir. Şekil 4.2 yapıya ait 300-380 K aralığında *F(V)-V* eğrilerini vermektedir. Norde metodunda seri direnç değerleri

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI} \tag{4.7}$$

formulü ile bulunur. Tablo 4.1 Norde fonksiyonları tarafından elde edilen engel yüksekliği ve seri direnç sonuçlarını da göstermektedir. Norde yöntemi ile elde edilen engel yüksekliklerinin ln*I-V* verileri ile elde edilen değerlerden yüksek olması ölçüm yönteminde farklılığa atfedilebilir. Ayrıca sıcaklık azalırken seri direncin azalması ve engel yüksekliğinin artması, düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcıların yokluğuna atfedilebilir (Ocak 2010).

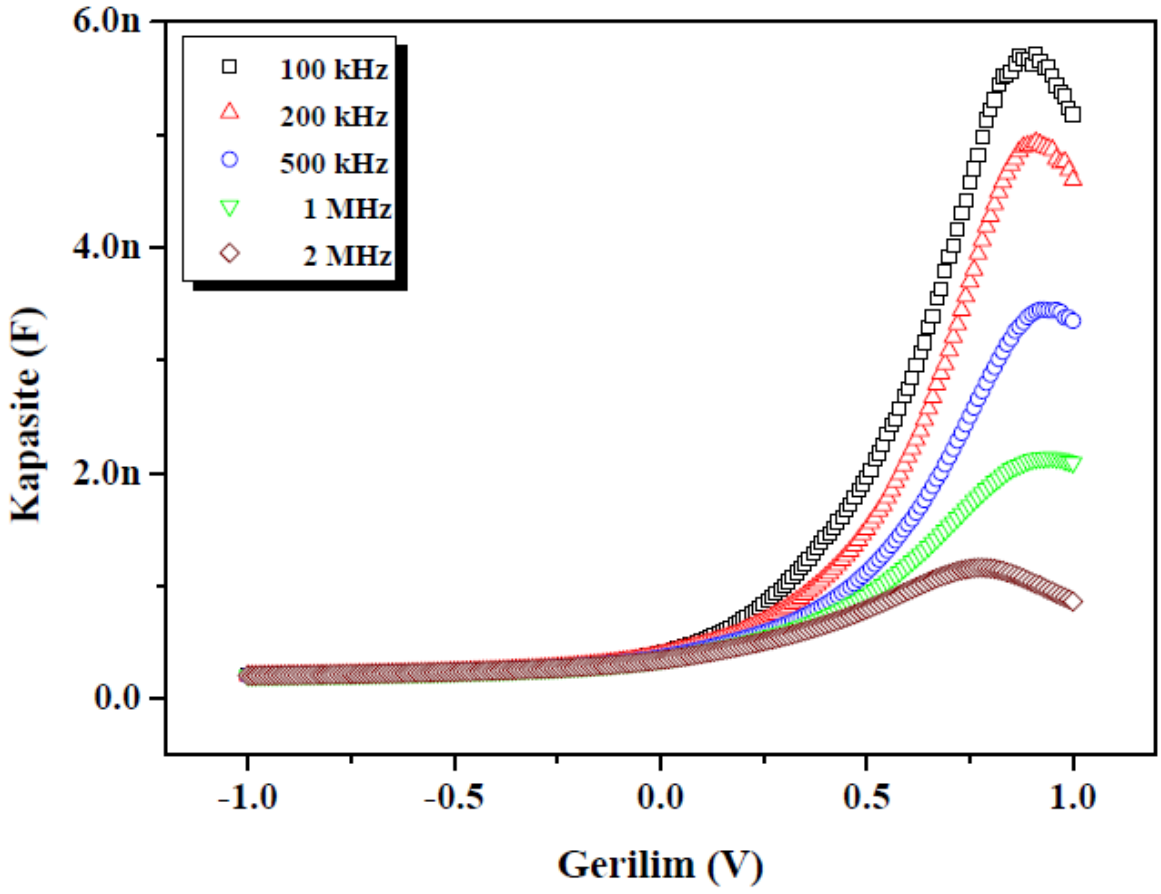
Oluşturulan diyotların fotoelektriksel karakterizasyonu gerçekleştirebilmesi için yapılarının *I-V* ölçümleri global filtreye sahip güneş simülatörü altında ışık kullanarak gerçekleştirildi. Şekil 4.2 yapının karanlıkta ve 1000 W/m^2 yoğunluğa sahip ışık altındaki I-V ölçümlerini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi Al/Coumarin 30/p-Si yapısı ışığa karşı hassasiyeti mevcuttur. 1000 W/m^2 ışık altında diyotun ters beslem akımı -1 V'da 34 kat artmıştır. Diyotun kısa devre akımı (I_{SC}) 59 μA ve açık devre gerilimi (V_{OC}) 337 mV olarak ölçülmüştür. Sonuçlar yapının ışığa karşı hassasiyetinin olduğunu ve ışık sensörü olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



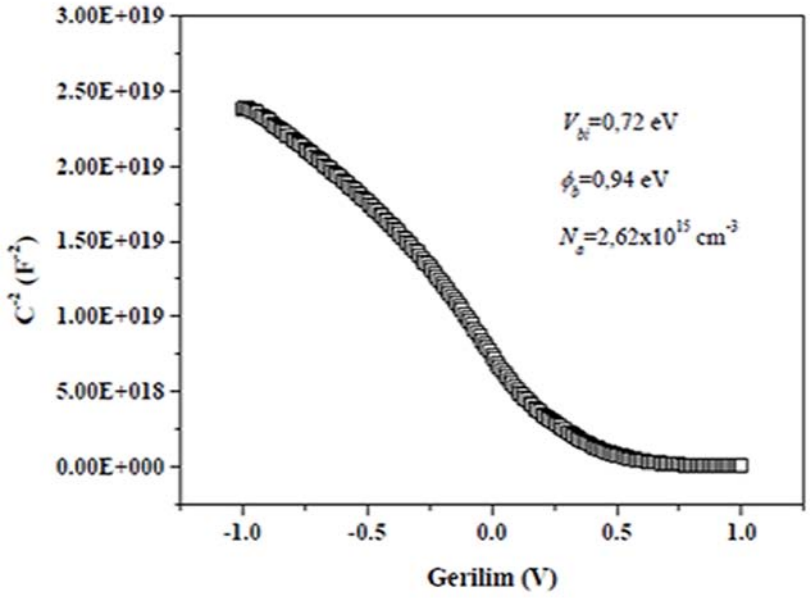
Şekil 4.2. Al/Coumarin 30/p-Si yapısına ait karanlıkta ve ışık altında *I-V* ölçümleri

4.3. Al/Coumarin 30/p-Si Yapısının *C-V* Özelliklerinin İncelenmesi

Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun kapasite-gerilim (*C-V*) ölçümleri Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Kapasite-gerilim (*C-V*) karakteristiği Schottky diyotların en önemli özelliklerinden biridir. Schottky diyotların *C-V* karakteristiği ara yüzey durumlarına karşı çok hassastır ve arayüzey durumlarının devre elamanlarının elektriksel özellikleri üzerine etkisi söz konusudur. Şekil 4.3'ten de çok net bir şekilde anlaşılacağı gibi Al/Coumarin 30/p-Si diyotunda da düşük frekanslarda kapasite değerleri frekans artarken azalmaktadır. Bu durum düşük frekanslarda AC sinyalinin elektronlar tarafından takip edilebildiğini göstermektedir. Yeterince yüksek frekansta alınan kapasite-gerilim ölçümleri ara yüzeydeki yüklerin AC sinyallerini takip edemediğini göstermektedir. Diyotların karakteristik parametreleri ayrıca ters besleme C^2–V eğrilerinden de hesaplanabilir. Artan ters besleme gerilimi ile yarıiletkenin iletkenlik



Şekil 4.3. Al/Coumarin 30/p-Si yapısına ait farklı frekanslarda C-V ölçümleri



Şekil4.4. Al/Coumarin 30/p-Si yapısına ait farklı gerilimlerde C^2-V ölçümleri

bandındaki elektronlar geriye doğru çekilir ve tükenim bölgesinin genişliği w+Δw kadar azalır. Tükenim bölgesindeki yükte meydana gelen değişim, kapasitede bir değişime neden olur.

Ara yüzey bölge kapasitesi metal/p–tipi yarıiletken diyotlar için

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} + V)}{q\varepsilon_s A^2 N_a} \tag{4.8}$$

şeklinde ifade edilir. Burada ε_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, N_a taşıyıcı yoğunluğu, V_{bi} ise C^{-2}–V eğrisinin V eksenin kestiği yerden hesaplanan sıfır beslem yerleşik potansiyelidir. Yeterince yüksek frekansta (500 kHz) diyota ait C^{-2}–V eğrisi Şekil 4.4.'te gösterilmektedir. Diyotun V_{bi} yerleşik potansiyeli ve N_a katkı yoğunluğu şekil yardımı ile sırasıyla 2,63x10^{15} cm^{-3} ve 0,71 eV olarak hesaplanmıştır.

Diyota ait engel yüksekliği aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\Phi_b(C-V) = V_{bi} + E_f \tag{4.9}$$

Burada E_f değeri p tip yarıiletkenin nötral bölgesindeki değerlik bandının en yüksek değeri ile Fermi seviyesi arasındaki potansiyel farktır. Al/Coumarin 30/p-Si yapısının engel yüksekliği 0,94 eV olarak hesaplanmıştır. Bu değer ln*I-V* verileri ile hesaplanan değerden daha büyüktür. MS veya metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) için inhomojen engel yüksekliği modeline göre akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği genellikle kapasite-gerilim ölçümlerinden elde edilen değerden daha küçüktür. *I-V* ve *C-V* ölçümlerinde kullanılan yöntemlerin farklılığından dolayı aynı sonuçlar elde edilemez. Kapasite *C* tükenim bölgesindeki potansiyel dalgalanmaya karşı hassas değildir ve ölçülen engel yüksekliği engel yüksekliği dağılımının ortalama değeridir. Fakat ara yüzeyden geçen akım engel yüksekliğine üstel olarak bağlıdır ve ara yüzey dağılımına karşı hassastır (Ocak 2010).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

MS ve MIS yapılar üzerinde yapılan çalışmalar, hızla artmaktadır. Bu çalışmalardan pek çoğu, yeni yarıiletken malzemelerin (özellikle organik malzemeler) geliştirmeyle ilgilidir. Ayrıca, geliştirilen yeni devre elemanlarının elektronik özelliklerinin belirlenip, uygulama alanlarının tespit edilmesine yönelik çalışmaların da, artarak devam etmektedir.

Bu tezde Coumarin 30 bileşiği ve 1-10 Ωcm özdirence sahip p-Si kullanılarak bir organik-inorganik heteroeklem yapı oluşturuldu. Oluşturulan yapının akım-gerilim ölçümleri 300-380 K aralığında alınarak, idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi bazı elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelendi. Sıcaklığa bağlı olarak idealite faktörü ve seri direncin azaldığı, engel yüksekliğinin arttığı gözlemlendi. Azalan sıcaklıkla idealite faktörünün artması ve engel yüksekliğinin azalması, metal-yarıiletken ara yüzeyindeki atomik homojensizliğe bağlı olarak açıklanabilir. Bu homojensizlik, organik bileşik/yarıiletken arasındaki atomik homojen olmayan engelle açıklanabilir. Bu homojensizliğin nedeni farklı atomik fazlar, yüzey kusurları veya ara yüzeyin etkisine atfedilebilir (Werner and Güttler 1991, 1993). Ayrıca sıcaklık azalırken seri direncin azalması ve engel yüksekliğinin artması düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcıların yokluğuna atfedilebilir (Ocak 2010).

Oluşturulan yapının ayrıca *I-V* ölçümleri oda sıcaklığında karanlıkta ve güneş simulatörü altında alınmış, yapının fotoelektriksel parametreleri 100 mW/cm^2 ışık altında belirlenmiştir.

Son olarak oluşturulan Al/Coumarin 30/p-Si yapısının farklı frekanslarda *C-V* ölçümleri yapılmış ve diyotun düşük frekanslarda kapasite değerlerinin, frekans artarken arttığı gözlemlendi. Karşılaştığımız bu durum düşük frekanslarda AC sinyalinin yük taşıyıcılar tarafından takip edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca yeterince yüksek frekansta alınan *C-V* ölçümleri ara yüzeydeki yüklerin AC sinyalini takip edemediğini göstermiştir. Diyotların engel yükseklikleri C^{-2}–V eğrisi kullanılarak tekrar hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ters beslem C^{-2}–V eğrisinden hesaplanan değerin ln*I-V* eğrisinden elde edilen değerden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç ölçüm yöntemleri arasındaki farklılığa atfedilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile seçilen uygun organik ve inorganik yarıiletkenlerle oluşturulan organik-inorganik heteroeklemlerin doğrultucu kontakların oluşturulabileceği ve bu yapıların optoelektronik uygulamalarda kullanılabileceği gösterilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Anıltürk,Ö. S., ve Turan, R., **1999.** Temperature Dependence Of a $CrSi_2$ Schottky Barrier On n-Type And p-Type Si. Semiconductor Science and Technology,14(12),1060-1064

Anıltürk,Ö. S., ve Turan, R., **2000** Electrical transport at non-ideal $CrSi_2$/Si junction Solid- State Electronics,44(1),41-48

Akkılıç, K. Ocak, Y. S. Kılıçoğlu, T. İlhan, S. Temel, H. **2010.** Current Applied Physics, 337-341.

Akyuz, I., Atay,F., Bilgin, V., Kose, S. **2000.** The investigation of electrical and optical roperties of ZnO and ZnO:Sn films obtained by ultrasonic Spray pyrolysis, Balkan Physics Letters, 22, special issue.

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.

Aydın, M. E., Yıldırım,N and Türüt, A., **2007**.Temperature-dependent behavior of

Ni/4H-nSİC Schotky contacts.Journal Of applied Physics, 102,043701

Bachrach, R. Z., **1980** in Moleculear Beam Epitaxy,Pergamon Prea,Oxford

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

Biber ,M., Türüt A., **2002** The Cu/n-GaAs Schottky Barrier Diodes Prepared by

Anaodization Process. J.Electron Mater., 31(12),1362-1368

Biber, M., **2003** Low-Temperature Current-Voltage Characteristics of MIS Cu/nGaAs and İnhomogeneus Au/n-GaAs Schottky Contacts. Eur. Eur. Phys. J. Appl. Phys.,31,79- 86

Biber, M., Coşkun, C., Türüt, A., **2005.** Current-Voltage Temperature Analysis Of

Inhomegeneous Cu/n-GaAs Schottky diodes. Physica B,325,138-148

Biber, M., Güllü, Ö., Forment,S Van Meairhaeghe, R.L., Türüt, A., **2006** The Effect of Schottky Metal Thickness On Barrier Height Inhomogeneity In Identically prepared Au/n-GaAs Schottky Diodes Semiconductor Science And Technology.21(1),1-5

Brillson L.J. **1982** The Structure And Properties Of Metal Semiconductor Interfaces.

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.

Chattopadhyay, P. Sanyal, S. **1995.** Applied Surface Science, 89, 205

Chen, L.L. Li, W.L. Wei, H.Z. chu, B. Li, B. **2006**. Organic Ultraviolet Photovoltaic Diodes Based On Copper Phthalocyanine As An Electron Acceptor, Solar Energy Metals And Solar Cells, 90, 1788-1796.

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**

Duman,S.,Gürbulak,B., Türüt A., **2007** Temperature-Dependent Optical Absorbtion Measurements And Schottky Contact Behavior In Layered Semiconductor n-type Inse(:SN).Applied Surface Science,253,3899-3905

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

Organic Electronics, 129-136.

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

Organic Electronics,Photovoltaic Properties of NiPc/p-Si (organic/inorganic) Heterojunctions , 6, 129-136.

G.A. Rosquete-Pina, C. Zorrilla, S. Velumani, J. Arenas-Alatorre, J.A. Ascencio, **2004**. Applied Physics. A 79, 1913.

Gaffar, M.A., El-Fadl, A.A., Anooz, S.B. **2003.** Electron Irradiation-Induced Effects On Optical Spectra of $(NH4)_2ZnCl_4$:x Sr^{+2} Single Crystals, Crystal Resorce Technology.

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

Green, Daniel W. E. **1992**. Magnitude Corrections for Atmospheric Extinction. International Comet Quarterly.

Güllü Ö., **2004** Schottky Metalinin Kalınlığı Ve H2 Tavlanmasının Au/n-GaAs Diyotlarının Karakteristik Parametreleri Üzerine Etkileri.Yüksek Lisans Tezi,Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Erzurum

Hiromitsu, Y. Murakami, T. Ito, **2003**. Synthetic Metals 137, 1385.

Hohencker, S., Drews, D., Werninghaus, T., Zahn, D.R.T., Braun, W., **1998.**Sulfur

Modification of GaAS(100) surfaces and Ag/S/GaAs(100) Schottky contacts Journal of EleCtron Spectroscopy and Related Phenomena, 96(1-3), 97-103.

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

Jiang y. L.., Ru,G. P., Lu, F., Qu, X. P., Zong, L. B., Wei, L., and Zhen L.A.,**2002.**

Schottky Bariier Height Inhomogeneity Of Ti/n-GaAs Contact Studied by I-V-T

Technique Chinese Physıcs Letters,19(4),553-556

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/SiO_2/Si Yapılarının Elektronik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Kılıçoğlu, T. Asubay, S.**2005**. The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/Au-Sb Schottky barrier diodes,Physica B, 58, 368.

Maeda,K**., 2002** Identity of Defect Causing Nonideality in Nearly Ideal AU/n-Sİ Schottky Barriers Applied Surface Sci..,190,445-449

Margaritondo,G. **1999.** Interface States at Semiconductor Junctions. Rep. Prog. Phys.. 62,765

Mott, N.F. **1971.** Davıs E.A. Electonic 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.

Mustafa Yıldız Çinko **2012.** Ftalosiyanin Tabanlı Heteroeklemin Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi Dicle Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü- Diyarbakır

Lioubtchenko, D. V., Markov,I.A., and Briantseva T.A., **2003** GaAs surface modifications under Au evaporating flux. Applied Surface Science 211,335-340

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**. Organik-İnorganik Hibrit Yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karakterizasyonu, Doktora Tezi, D. Ü. 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.

Omar,M.A. **1975**. Elementary solid state physics: Principles and Applications,

Okumura, T., Keneshiro, C, **1999**, Ideal GaAs Schottky Contacts Fabricatedbu in Situ Photoelectrochemical Etching and Electrodeposition, Electronics an Communication in Japan, Part 2, 82, 5 Japan Addison-Wesley Publishing Company, USA, 669p.

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.

P. Haisch, G.Winter,M. Hanack, L. Luer, H.J. Egelhaaf, D. Oelkrug. **1997**. Adv. Mater. 9, 316.

PABMED US National Library of Medicine Institutes Of Health Photophysical properties of coumarin-30 dye in aprotic and protic solvents of varying polarities.

Pankove, J. **1975**. Optical Process in Semiconductors. Dover Publications, Inc. New York.

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 .

Sigma-Aldrich European-export Properties of coumarin-30

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

Smith, W.F.. **1990**. Principles of materials science and engineering, Mc Graw-Hill Inc., USA, 864 p.

Soylu, M. **2006**. Atamalı Katodik Vakum Ark Depolama Sistemiyle Üretilen ZnO'nun Elektriksel İletkenliği Ve Isıl İşlemle Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana, 115 s.
Szatkowski, J. Sieranski, K. **1992.** Solid-State Electronics, 35,1013

Sze, S. M. **1981.** Physics of Semiconductor Devices, J. W. And Sons Inc. New York.

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 İnterface States And Excess Capacitance Caused by Them. Phsica 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.

Yakuphanoğlu, F**. 2007**.Solar Energy Materials & Solar Cells, , 91, 1182–1186.

Yakuphanoğlu, F. Kandaz, M. Şenkal, B.F**. 2008**. Current-Voltage And Capacitance-Voltage Characteristics Of Al/p-type Silicon/Organic Semiconductor Based Phthalocyanine Rectifier Contact.Thin Solid Films ,516, 8793–8796.

Yakuphanoğlu, F. Kandaz, M. Yaraşır, M. N. Şenkal, F. B**. 2007**. Phsica B, 235-238.

Yuan,M H.,Song , H.Z .Jin, S. Wang H. P., Qiao, Y. P., Qin, G. G., **1993** Effect Of Reverse-Bias Annealing And Zero- Bias Aannealing On a Hdydrojen-containing Au/n-type GaAs Schottky Barrier. Pys. Review B,48(24),986-994

Ocak Yusuf Selim **2010.** Al/metil Kırmızısı/p-si Schottky Diyotların Elektriksel Karatirazasyonu Doktora Tezi Dicle Üniversitesi- Fen Bilimleri Ensititüsü - Diyarbakır

Wilmsen, C. W., **1985** Phys. And Chem. Of – III- V Comp. Semiconductor Interfaces. Plenium Press, New york,

Zhu,S. Y., van Meirhaege,R. L., Detavernier,C., Cardon, F., Ru, G. P., Qu, X. P., And Li, B. Z., **2000** Barrier Height İnhomogeneities of Epitaxial $CoSi_2$ Schottky Contacts On n-si(100)and (111).Solid State Electronics

Z.T. Liu, H.S. Kwok, A.B. Djurisic. **2004**. Journal of physics. D, Applied Physics 37, 678.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma ÖZKAHRAMAN

Doğum Yeri :Diyarbakır

Doğum Tarihi :21.05.1986

Medeni Hali :Bekar

Yabancı Dil :İngilizce

Eğitim durumu (kurum ve yıl)

Orta okul : Ali Emri ilköğretim okulu (1996-1999)

Lise : Diyarbakır Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi (2000-2003)

Lise : Dicle Koleji Anadolu Lisesi (2003-2004)

Lisans : Dicle üniversitesi Fen Edebiyat Fizik (2005-2009)

Yüksek Lisans : Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans (2009-2010)

Yüksek Lisans : Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalı Yüksek Lisans (2011-2013)