

**T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK/İNORGANİK YAPILARIN ELEKTRİKSEL
KARAKTERİSTİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ**

Şerif RÜZGAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**DIYARBAKIR
Haziran 2012**

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Şerif RÜZGAR tarafından yapılan “Organik/İnorganik yapıların elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. M.Enver AYDIN

Üye : Doç.Dr.Osman AKBA

Üye : Yrd.Doç.Dr.Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 01/06/2012

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../.../.....

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŐEKKÖR

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Doç. Dr. Mehmet Enver AYDIN'ın rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Mehmet Enver AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
KISALTMA VE SİMGELER	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve METOT	7
3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar	8
3.1.1. Doğrultucu (schottky) Kontaklar	8
3.1.1.a. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	8
3.1.1.b. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	10
3.1.2. Omik Kontaklar	12
3.1.2.a. Metal/n-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	12
3.1.2.b. Metal/p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar sitesi	13
3.1.3. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi.....	15
3.1.4. Norde Fonksiyonları Yardımıyla Diyot Karakteristiklerinin Tayin Edilmesi....	19
3.1.5. Engel Yüksekliğinin Sıcaklığa Bağlılığı.....	23
3.1.6. Kontaklarda Isının Etkisi.....	24
3.2. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri.....	25
3.2.1. Soğurma Olayı.....	25
3.2.2. Doğrudan Bant Geçişi	27
3.2.3. Dolaylı Bant Geçişi.....	28
3.3. Deneysel İşlemler.....	29

3.3.1.	Yarıiletkenlerin Temizlenmesi.....	29
3.3.2.	Diyotların Oluşturulması.....	30
3.3.3.	Akım-Gerilim, Kapasite-Gerilim ölçümlerinin Alınması.....	32
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1.	Giriş.....	33
4.2.	Aluminium phtalocyanine Organiğinin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	33
4.3.	I-V (Akım-Gerilim) Ölçümleri ve Norde Fonksiyonlarının Kullanılması.....	35
4.4.	Kapasite–Gerilim Ölçümleri.....	41
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
6.	KAYNAKLAR.....	45
	ÖZGEÇMİŞ.....	49

ÖZET

ORGANİK/İNORGANİK YAPILARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şerif RÜZGAR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2012

Bu çalışmada, Al/Alpc(aluminium phtalocyanine)/p-Si yapısının Schottky diyotu üretildi ve bu diyotun 80-300K sıcaklık aralığında farklı sıcaklıklar için akım-voltaj (I-V) ve oda sıcaklığında kapasitans-voltaj (C-V) ölçümleri alındı. Akım-voltaj ölçümlerden yararlanarak diyodun idealite faktörü (n), sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{B0}) ve doyum akımı değerleri hesaplandı. I-V ölçümleri -2V ile +2V gerilim aralığında 20 mV adımla yapıldı. Norde fonksiyonları yardımıyla seri direnç (Rs) değerleri hesaplandı. Diyotun idealite faktörü (n) ve seri direnç (Rs) sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olup, artan sıcaklıkla azaldığı ,engel yüksekliğinin de artan sıcaklıkla arttığı belirlendi.

C-V grafiğinden de anlaşılacağı gibi diyotun ters beslemde kapasite değerleri daha küçük değerler olarak gözlenirken düz beslemde gerilim arttıkça kapasitenin arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler :Schottky diyot , , idealite faktörü,engel yüksekliği,seri direnç ve sıcaklığa bağlılık

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF TEMPERATURE DEPENDENT ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ORGANIC/INORGANIC STRUCTURES

MSc THESIS

Şerif RÜZGAR

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

2012

In this study, the Al/Alpc(aluminium phtalocyanine)/p-Si Schottky diode was produced and the I-V measurements of this diode were taken at the temperature range of 80-300K for different temperatures. C-V measurement of this diode were taken at the room temperature (300 K).Using these measures, the ideality factor (n), zero-bias barrier height (Φ_{B0}), saturation current (I_0) of the diode were calculated. The I-V measurement was done with 20 mV steps between -2V and +2V. By the Norde function, series resistance (R_s) was calculated. It was found that, particularly, the ideality factor (n) and series resistance (R_s) of the diode depend on the temperature, and it decreases with increasing temperature. It was determined that the barrier height increases when the temperature increases.

As shown by C-V graph, the capacitance of diode increases with increasing positive voltage and decreases with increasing negative voltage.

Key Words: Schottky diode, barrier height, ideality factor, series resistance and temperature dependence.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1.	Al/Alpc/p-Si diyotuna ait sıcaklığa bağlı I 'nın V 'ye karşı değişiminden elde edilen temel diyot parametreleri	40

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1.	Kontaktan önce metal ve n -tipi yarıiletken için enerji bant diyagramları	9
Şekil 3.2.	Kontaktan sonra termal denge durumunda oluşan enerji-bant diyagramı	10
Şekil 3.3.	Metal p -tipi yarıiletken omik kontak için enerji-bant diyagramı a) Kontaktan önce b) Kontaktan sonra ve termal dengede c) $V \neq 0$ olması durumunda	11
Şekil 3.4.	$\phi_m < \phi_s$ durumu için metal/ n -tipi yarıiletken omik kontak için enerji bant diyagramı a) Kontaktan önce b) Kontaktan sonra c) düz beslem altında, d) ters beslem altında	13
Şekil 3.5.	Metal/ p -tipi yarıiletken omik kontak için enerji bant diyagramı a) kontaktan önce, b) kontaktan sonra c) $V \neq 0$ durumunda	14
Şekil 3.6.	Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisi	15
Şekil 3.7.	İnce bir filmdeki soğurma	26
Şekil 3.8.	Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi	27
Şekil 3.9.	Buharlaştırma Sistemi	30
Şekil 3.10.	Omik kontak termal işlemi için fırın	31
Şekil 3.11.	Al/Alpc/p-Si/Al yapısı	31
Şekil 3.12.	Akım-voltaj ölçümleri için kullanılan düzenek	32
Şekil 4.1.	Alpc organinin absorban spektrumu	34
Şekil 4.2.	Alpc organinin $(ahv)^2 - hv$ grafiği	34
Şekil 4.3.	Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait sıcaklığa bağlı I 'nin V 'ye karşı değişimi	38
Şekil 4.4.	Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait sıcaklığa bağlı $I-V$ grafiğinden elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliklerinin sıcaklıkla değişimi	38
Şekil 4.5.	Al/Alpc/p-Si diyoduna ait sıcaklığa bağlı $F-V$ grafiği	39
Şekil 4.6.	Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait Norde fonksiyonlarından elde edilen seri direncin sıcaklıkla değişimi	39
Şekil 4.7.	Al/Alpc/p-Si diyodunun 500 kHz frekansındaki $C-V$ eğrisi	41

KISALTMA VE SİMGELER

A	:Diyodun etkin alanı
A^*	:Richardson sabiti
a.c.	:Alternatif akım
Alpc	:Aluminium phtalocyanine
C	:Kapasite
$C-f$:Kapasite-frekans
$C-V$:Kapasite-gerilim
C_{it}	:Arayüzey hallerine eşlik eden kapasitans
d.c.	:Doğru akım
Demso	:Dimetil sulfoxide
E	:Elektronun yükü
E'_c	:Metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerji
E_f	:Fermi enerji seviyesi
E_g	:Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ss}	:Arayüzey hallerinin enerjisi
$f_F(E)$:Fermi-Dirac ihtimaliyet fonksiyonu
G_{it}	:Arayüzey hallerine eşlik eden kondüktans
ϵ_s	:Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	:Boşluğun dielektrik sabiti
Φ_b	:Schottky engel yüksekliği
$\bar{\Phi}_b$:Ortalama engel yüksekliği
Φ_b^c	:Kapasite voltaj ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği
Φ_b^j	:Düz beslem gerilimine bağlı olarak $I-V$ ölçümlerinden hesaplanan :engel yüksekliği
Φ_m	:Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	:Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	:Yarıiletkenin elektron ilgisi
$\Psi(x)$:Yüzey potansiyeli
$I-V$:Akım-gerilim
I_0	:Satürasyon akımı

J	: Akım yoğunluğu
$J_{m \rightarrow s}$: Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$: Yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu
J_{sT}	: Ters-doyma akım yoğunluğu
J_T	: a.c. tünel akımı
k	: Boltzman sabiti
m_e	: Elektronun kütlesi
n	: İdealite faktörü
n_i	: Asal elektron konsantrasyonu
N_c	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
N_d	: Donor konsantrasyonu
N_{ss}	: Yarıiletkenle dengede olan arayüzey hal yoğunluğu
$\rho(x)$: Konuma bağlı uzay yükü yoğunluğu
σ	: Arayüzey hallerinin tesir kesiti
σ_s	: Standart sapma
$\delta\Psi$: Yarıiletken yüzey potansiyelindeki küçük a.c. değişimi
Q	: Birim alan başına düşen yük yoğunluğu
SRH	: Shockley Read Hall mekanizması
R_s	: Seri direnç
T	: Sıcaklık
τ	: Zaman sabiti
τ_r	: Elektronların bu bölgeyi geçmesi için gerekli zaman
V_{dif}	: Difüzyon potansiyeli
w	: Uzay yükü bölgesinin genişliği

1. GİRİŞ

Son zamanlarda kullanılan elektronik cihazların büyük bir bölümü yarıiletken malzemelerden oluşmaktadır. Yarıiletken malzemeler dediğimizde ilk aklımıza gelen silisyum, germanyum, galyum arsenic, indiyum fosfat gibi inorganik kristal malzemelerdir. Örneğin günümüzde geliştirilmiş silisyum çipler 1 cm^2 'den daha az bir alanda yaklaşık 16 milyon bitlik bir bilgiyi saklayabilmektedirler(Saxena vd 2003). Bununla birlikte organik yarıiletken malzemelerdeki son gelişmeler ve bu alanda yapılan araştırmalar geleneksel silisyum tabanlı teknolojiye alternatif oluşturma konusunda bilim dünyasının ilgisini oldukça çekmektedir.

Elektronik ve Opto-Elektronik cihazlarda yarıiletken organik malzemelerin temel özellikleri ve uygulamaları yıllardan beri geniş araştırma konusu olmuştur. Mevcut elektronik cihazlar organik ışık yayan diyotlar, organik fotovoltaiik hücreler ve organik transistörleri kapsamakla birlikte bunların tamamının içinde barındıran organik düzlem ekranlar bulunmaktadır. Bu ekranlar organik transistörler sayesinde çalışmaktadır.

Elektronik endüstrisinde organik malzemelerin elektrik, optik, fotoelektrik ve magnetik özellikleri açısından ilginç özelliklere sahip olduklarını göstermiştir. Sensörler, güneş pilleri, plastik bataryalar, FET'ler, organik elektrolüminesans devre elemanları, optik veri saklayıcılar, anahtarlama devre elemanları gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Organik malzemeler, atomların iyonik veya kovalent bağlarından oluşup, bağımsız moleküllere dayanıp, zayıf moleküller arası etkileşmelerle tanımlanırlar. Organik malzemeler elektronik ve optoelektronik devre elemanlarında ince filmler halinde oluşturulurlar. Organik filmler, daldırma, spin kaplama, vakumda buharlaştırma ile kaplama, elektrokimyasal kaplama gibi tekniklerle yapılırlar (Yasuhiko 2000).

Organik yarıiletkenler inorganik yarıiletkenlere (Si,Ge,GaAs,InP v.b) nazaran hem daha basit hem de daha ekonomik bir şekilde işlenip üretilebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bu malzemelerle yapılan cihazlar yoğun bir şekilde rapor edilmektedir.

Bu saydığımız özellikleri yanında bir çok inorganik yarıiletkenin elektron mobilitesi (hareketliliği) organik yarıiletkenlerinkine kıyasla daha büyüktür. Bu nedenle bir çok çalışma organik/inorganik yapıların bir araya getirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Hızla gelişen bu yöntemlerin amacı metal ve yarıiletken arasına konulan organik ince film sayesinde bu yapıların elektriksel özelliklerini kontrol edebilmektir (Aydin ve ark. 2007).

Organik yarıiletken malzemelerin performansları bilim dünyasında yaygın bir şekilde tartışılmakta ve bu tartışma konularının en başında organik ve inorganik yapıların bir araya getirilmesi ile arayüzeyde oluşan elektriksel özelliklerin incelenmesi yer almaktadır. Bu sebeple organik/inorganik yapılarının arayüzeylerin elektriksel özelliklerini araştırmak için sayısız çalışma gerçekleştirilmektedir (Brutting 2006).

Organik yarıiletken malzemeler arasında phtalocyanin maddeler gelecek vaat etmektedir. Çünkü diğer malzemelerden nispeten daha fazla foto iletkenlik ve schottky tipi fotovoltaiik yapılarda iyi bir doğrultucu özellik göstermektedirler. Organik yapılardan verim elde etmek amacıyla metal/phtalocyanine/metal sandiviç yapıların fotovoltaiik özellikleri yaygın bir şekilde çalışılmaktadır. Bakır phtalocyanin ve nikel phtalocyanin'e p-tipi özellik göstermekte, aliminyum (*Al*) ile doğrultucu, altın'la (*Au*) ise omik kontak oluşturmaktadırlar. Benzer çalışmalar *Al/klorofil/Ag* gibi yapılar üzerinde çalışıldı. Bu yapıların fotovoltaiik çalışmaları megaohm seviyesinde dirence sahip olduğu görüldü. Ayrıca çevresel koşullara göre bu yapıların fotovoltaiik verimleri 0.05% ile 0.2% arasında değiştiği görüldü (Sharma 1995).

P-tipi iletkenlikleri, görünür bölgede ışığı güçlü soğurmaları ve elektrolüminesans özelliklerinden dolayı organik phtalocyanin malzemler elektronik cihazlarda (Sensör, Led v.b) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu phtalocyanine'lerden Zincphtalocyanine'nin ışığı enerjiye çevirme performansı yeterli görülmemiştir. Bu sorunu aşmanın yolu ise Lung-Chien Chen ve ark. (2009) phtalocyanine organinin iletkenliğini yada ışığı absorbe etme özelliğini arttırarak verimi arttırmayı düşünmüşlerdir. Bu nedenle phtalocyanine organinine iyot (I_2) ekleyerek iletkenliğini arttırmışlardır. Bunun sonucu olarak daha önce oluşturdukları güneş pilinin veriminde doğru orantılı olarak arttığını göstermişlerdir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Metal–yarıiletken (MS) kontakların geçmişi 1874 yılında Braun'un metal sülfat kristallerinde elektriksel iletkenliğin asimetrik olduğunu bulmasına dayanır. 1906 yılında Pickard, silisyum kullanarak geliştirdiği metal–yarıiletken dedektör patentini almıştır. Daha sonra 1907 yılında Pierce, metal teli ile yarıiletken yüzeyinde nokta kontak şeklinde oluşturduğu diyotların doğrultma karakteristiğinin olduğunu belirlemiştir (Neamen 2003). 1921 yılında ise Richardson, metal–vakum sistemlerinde termiyonik emisyon olayını açıklamıştır.

MS kontaklarda doğrultma özelliğinin açıklanması ile ilgili ilk çalışma 1931 yılında Schottky, Störmer ve Waibel'in kontakta elektriksel akım aktığı esnada tüm kontak boyunca bir potansiyel düşüşü olacağını göstermeleri ile yapılmıştır. Bu çalışmalardan hemen sonra Wilson (1932) MS diyotlar için, kuantum mekaniksel tünelleme teorisini geliştirmiş ve doğrultma için ters polariteyi açıklamıştır.

Schottky ve Bethe, 1940 yılında metal–vakum sistemlerindeki iletkenlik ile metal–yarıiletken diyotlardaki iletkenlik arasındaki benzerlikleri ortaya koymuş, iki yıl sonra aynı olayın metal–yarıiletken doğrultuculara da uygulanabileceği Bethe tarafından gösterilmiştir (Bethe 1942).

Sharma (1995) Al/ClAlpc (Aluminium phtalocyanine chloride)/ITO, In/ClAlpc/ITO ve Au/ClAlpc/ITO yapılarını üreterek bunların elektriksel özelliklerini inceledi. Au/ClAlpc/ITO yapısının dışında diğerlerinin doğrultucu özellik gösterdiğini belirledi. Au/ClAlpc/ITO yapısının doğrultucu özellik göstermemesini ise Aluminium phtalocyanine chloride organığının p- tipi yarıiletken davranış sergilediğini ve altın (Au) ile yapılan kontakın schottky özellik göstermeyeceğini belirtmiştir.

Osvald ve ark. (2004), sıcaklığın ters arayüzey Schottky diyotların karakteristiklerine etkisini teorik olarak araştırmış, akıntı dağılım yaklaşımını I-V (akım-voltaj) ve C-V (kapasite-voltaj) karakteristiklerinin hesaplanmasında termiyonik emisyon teorisini kullanarak açıklamışlardır. Bu çalışmadaki sonuçlar ile deneysel çalışmadaki sonuçların birbirine uyumlu çıktığını ortaya koydular. Çalışmalarında engel yüksekliğinin yüksek sıcaklıklarda yüksek sonuçlar verdiğini buldular.

Karataş ve ark. (2005), bor katkılı p-tipi kristal yapraklar kullanarak hazırlanmış oldukları (MS) Schottky diyotunun akım-voltaj ve kapasite-voltaj karakteristiğini deneysel olarak incelemiş ve alınan ölçümlerle numunenin n idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi temel karakteristiklerini 300-400 K sıcaklık aralığında incelemişlerdir. Diyotun idealite faktörü ve seri direncinin sıcaklığa kuvvetlice bağlı olduğunu, artan sıcaklıkla üstel olarak azaldığını gözlemlemiştir.

Aydın ve ark. (2007) Sn/p-Si Schottky engel diyotunun I-V karakteristiklerine geniş bir aralıkta (80-300 K) sıcaklığın etkisini araştırmıştır. Yaptıkları analizler sonucunda sıcaklık arttıkça engel yüksekliğinde anormal düşüş, idealite faktörü ve düşük sıcaklıklardaki ideal olmayan enerji hareketinde yükselme gözlemlemiştir.

Karataş ve ark. (2006), Sn/p-Si Schottky bariyer diyotların elektriksel parametreleri üzerine sıcaklığın etkisini 150-400 K sıcaklık aralığında araştırmış, ara yüzey hal yoğunluğu, engel yüksekliği, seri direnç ve idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa kuvvetli derecede bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Kotaswara ve ark. (2008), geçirgen indium kalay oksit (ITO) ile oluşturulan GaN (Galyum Nitrat) elektrodunu oluşturarak, yapıya uygulanan sıcaklığın numunenin elektriksel, yapısal ve yüzey morfolojik yapısına etkilerini incelemişlerdir.

Gupta ve ark. (2008), Au/STO (stransiyum titanyum)/p-Si eklemeni oluşturarak, yapının I-V (akım-voltaj) karakteristiklerinin doğru akım davranışı gösterdiğini gözlemlemiştir. Farklı eklem parametreleri olan akım-voltaj karakteristikleri, Cheung ve Norde'nin fonksiyonları kullanılarak ifade edilmiş sonuç olarak Au/STO (stransiyum titanyum)/p-Si'un ideal olmayan diyot karakteristiklerinden engel yüksekliğini hesap etmişlerdir.

Osvold (2008), sıcaklığın homojen olmayan Schottky diyotların karakteristiklerine etkisini deneysel olarak incelemiş ve homojen olmayan Schottky diyotların idealite faktörü değerinin sıcaklık değerlerinin düşmesine karşın artmadığını gözlemleyerek belli sıcaklık değerlerinde ısının Schottky diyotlar tarafından soğurulduğunu gözlemlemiştir.

Karataş ve ark. (2009), Sn/Rhodamine-101/p-Si Schottky bariyer diyotların elektriksel parametreleri üzerine sıcaklığın etkisini 80-400 K aralığında araştırmış,

Artan sıcaklığa bağlı olarak engel yüksekliklerinin arttığını (0.208–0.940 eV) buna karşın idealite faktörlerinin düştüğünü (14.37–2.72) rapor etmişlerdir.

Kwong ve ark. (2003) dört farklı fitalosiyanın türevlerini (NiPc, CuPc, CoPc ve FePc) kullanarak ITO/fitalosiyanın/Al güneş pilleri ede etmiş ve bu yapıların fotovoltaiik özelliklerini karşılaştırmıştır.

Gupta ve ark. (2011) 6,13 bis (triiisopropylsilylethynyle) (TIPS) pentacene organiğini dönel kaplama yöntemi ile p-Si yarıiletkenin üzerine oluşturdular. Elde edilen Al/Pentacene/p-Si /Al yapısının elektriksel ve optiksel özelliklerini incelediler. Bu yapının idealite faktörünü 1.97 ve bariyer yüksekliğini 0,65 eV olarak hesapladılar. Yapının ışık altında sızıntı akımının arttığını, Kapasitesinin ise artan frekansla azaldığını belirtmişlerdir.

Aksoy ve ark.(2012) sol-gel yöntemiyle n-ZnO/p-Si yapısını oluşturarak bu yapının morfolojik özelliklerini incelediler. Elektriksel özelliklerini ise farklı sıcaklıklarda araştırdılar. Yapının ideal olmayan bir davranış sergilediği görüldü. Bunun nedeni ise arayüzey durumlarına ve yapıda oluşan seri dirence atfettiler.

3. MATERYAL VE METOT

Günümüz elektronik teknolojisinde ve elektronik sanayide çok fazla kullanım alanı olan Schottky Diyotları hem kullanım alanı genişliği hem özellikleri bakımından önemlidir. Ayrıca yapım kolaylığı ve karakteristiklerine ait genel bilgilerin bilinmesi sebebiyle Schottky diyotlarının önemi artmaktadır.

Bir metal ile yarıiletkenin belirli şartlar altında kontak haline getirilmesi ile Schottky diyot, bir n -tipi yarıiletkenin bir tarafı p -tipi yarıiletkenle atomik boyutlarda üst üste getirilmesi ile de p - n eklemi elde edilir. Schottky diyotların karakteristikleri p - n eklem diyotun karakteristiklerine benzemekte ancak, bazı uygulamalarda farklılıklar arz etmektedir. p - n eklemde akım, azınlık taşıyıcıları ile, Schottky diyotlarda ise çoğunluk taşıyıcıları ile sağlanır.

Schottky yapılarında azınlık taşıyıcılarının çok az olması ve frekans tepkisinin yüksek olması (gecikme zamanının düşük olması demektir) gibi avantajları yanında yüksek anahtarlama hızı gerektirdiğinden IC (entegre devre) teknolojisinde büyük önem kazanırlar.

Bu çalışmada metal–organik- yarıiletken heteroeklem yapı elde edilmiştir. Dimethyl sulfoxide (DMSO) çözücüsü içinde $1,5 \cdot 10^{-3}$ M konsantrasyonuna sahip Aluminium phthalocyanine (Alpc) organik çözeltisi dönel kaplama (spin coating) yöntemiyle p -Si üzerine oluşturulup elde edilen Alpc/ p -Si yapısının üzerine Al metali buharlaştırılarak Al/Alpc/ p -Si diyotu oluşturulmuştur. Elde edilen yapının elektriksel karakterizasyonu farklı sıcaklıklarda akım-gerilim ve kapasite-gerilim ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, önce metal yarıiletken kontakların fiziğinden, metal–yarıiletken kontaklardaki termiyonik iletim mekanizmasından, ayrıca bu kontakların fiziksel parametrelerini etkileyen faktörlerden ve bu yapıların kapasite özelliklerinden bahsedilmiştir.

Bölüm sonunda ise gerçekleştirilen tüm deney basamakları sırasıyla anlatılmıştır.

3.1. Metal/Yarıiletken Kontaklar

3.1.1. Doğrultucu (Schottky) Kontaklar

3.1.1.a. Metal/*n*-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

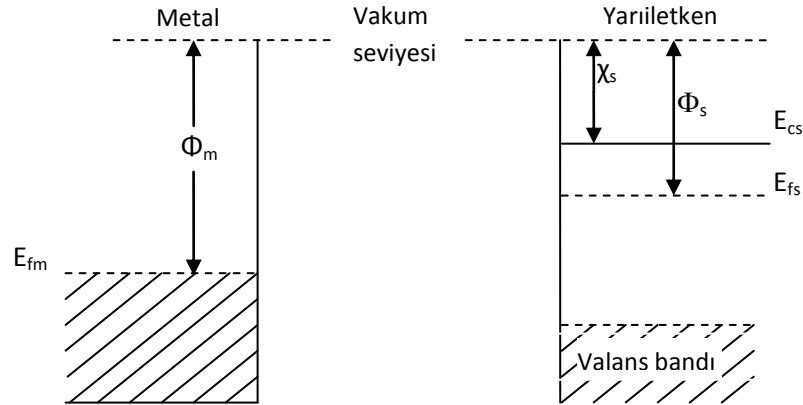
İki iletken, kontak haline getirildiğinde aralarındaki yük alışverişinden sonra, yeni denge durumu meydana gelir ve her iki maddenin Fermi enerji seviyeleri eşitlenir. Bu kural sadece iki iletken arasındaki kontak durumunda değil, bir iletken ve bir yarıiletken (*n*-tipi ya da *p*-tipi) arasındaki kontak durumunda da meydana gelir. Oluşan yeni yük dağılımı nedeniyle kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir. İki metal arasında yapılan kontak durumunda, bu dipol tabakası kontağın her iki tarafındaki yüzey yükleri nedeniyle meydana gelir. Oluşan bu kontak, elektronların her iki yönde serbestçe hareket edebilmeleri nedeniyle omik kontak olarak adlandırılır. Şayet, kontağı oluşturan maddelerden biri metal diğeri yarıiletken ise oluşacak kontak omik ya da doğrultucu olabilir. Doğrultucu kontak durumunda elektronlar bir yönde kolayca hareket ederken ters yöndeki geçişleri, kontak bölgesinde oluşan potansiyel engeli nedeniyle zorlaşır. Bu durum her iki maddenin elektronik enerji-bant diyagramı ile yakından ilişkilidir (Ziel 1968).

Bu olayı açıklamak için bir metal ve bir *n*-tipi yarıiletken dikkate alalım. Oda sıcaklığında yarıiletken içindeki bütün donörler iyonize olmuş olsunlar. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , yarıiletkenin elektron ilgisi χ_s ve $\Phi_m > \Phi_s$ olsun. Kontakta önceki durumda, şekil.3.1.'de görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakta sonra yarıiletken yüzeyden metale elektronlar geçerken, geride iyonize olmuş donörler bırakırlar. Yük mübadelesi tamamlandıktan sonra her iki tarafın Fermi seviyeleri eşitlenir. Yani yarıiletkenin enerji seviyeleri şekil 3.2.'de görüldüğü gibi $(\Phi_m - \Phi_s)$ kadar alçalmıştır. Sonuç olarak, kontakta oluşan dipol tabakası nedeniyle eklem üzerinde bir potansiyel engeli meydana gelir. Bu engelin yarıiletken tarafındaki yüksekliği $(\Phi_m - \Phi_s)$ ve metal tarafındaki yüksekliği ise $\Phi_m - \chi_s$ kadardır.

Bu engel yüksekliği difüzyon potansiyeli cinsinden $eV_{dif} = \Phi_m - \Phi_s$ şeklinde ifade edilebilir. Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar metale geçerken bu engelle karşılaşır. Kontakta yarıiletken tarafındaki pozitif yüklere, sayısı metal

tarafındaki iyonize olmuş yük yoğunluğundan çok daha az olan iyonize olmuş donörlerin neden olduğu ve bunların yarıiletken içinde hareketsiz olmalarından dolayı bunlara yüzey yükü olarak değil, bir uzay yükü olarak bakmak gerekir. Kontaktaki potansiyel engelden dolayı, yüzey tabakası engel tabakası olarak bilinir. Bu tabakanın kalınlığı iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyelinin değerine bağlıdır. Metal ve yarıiletken içindeki bazı elektronların termal yolla kazandıkları enerji, elektronun potansiyel engelini aşmasına yetebilecek büyüklükte olduğu zaman, kontakta eşit ve zıt yönde bir I_0 sızıntı akımı geçer. Şayet yarıiletkene bir $-V$ gerilimi uygulanırsa metalden yarıiletkene geçecek elektronlar için engel yüksekliği değişmez ve bu nedenle bu elektronların oluşturacakları akım da değişmez. Fakat yarıiletken tarafında, iletkenlik bandı eV kadar yükseleceği için yarıiletkenden metale geçecek elektronlar için engel yüksekliği eV kadar azalacaktır.

Dolayısıyla metalden yarıiletkene doğru akan akım $\exp(eV/kT)$ faktörü kadar artacaktır.



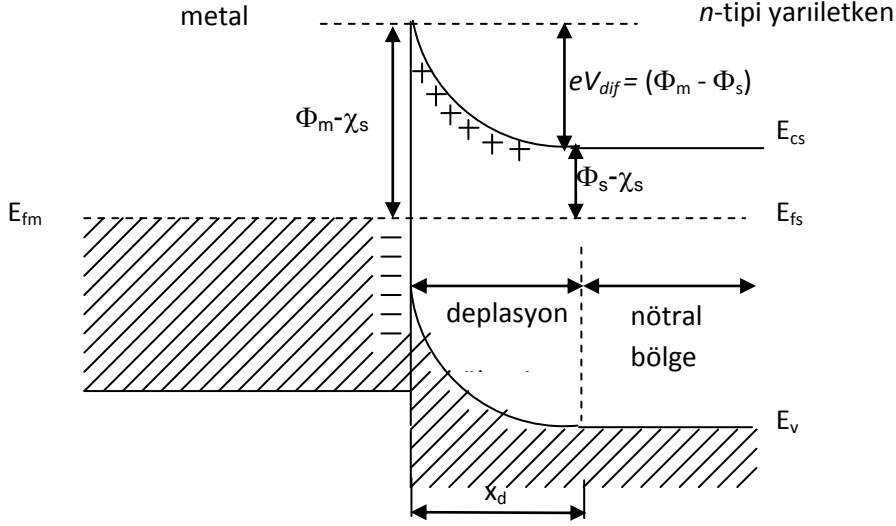
Şekil 3.1. Kontaktan önce metal ve n -tipi yarıiletkene ait enerji bant diyagramları

Bu durumda oluşan net akım,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

ile verilir. I net akımı pozitifdir. Bu beslem durumuna ($V \gg kT/e$) düz beslem durumu denir. Yarıiletken tarafına $+V$ gerilimi uygulandığında iletkenlik bandı eV kadar alçalır

ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği eV kadar artar. Oluşan net akım $-I_0$ değerine yaklaşır. Bu beslem durumuna ($V \ll -kT/e$) ters beslem durumu denir.



Şekil 3.2. Kontakta sonra termal denge durumunda oluşan enerji-bant diyagramı

3.1.1.b. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

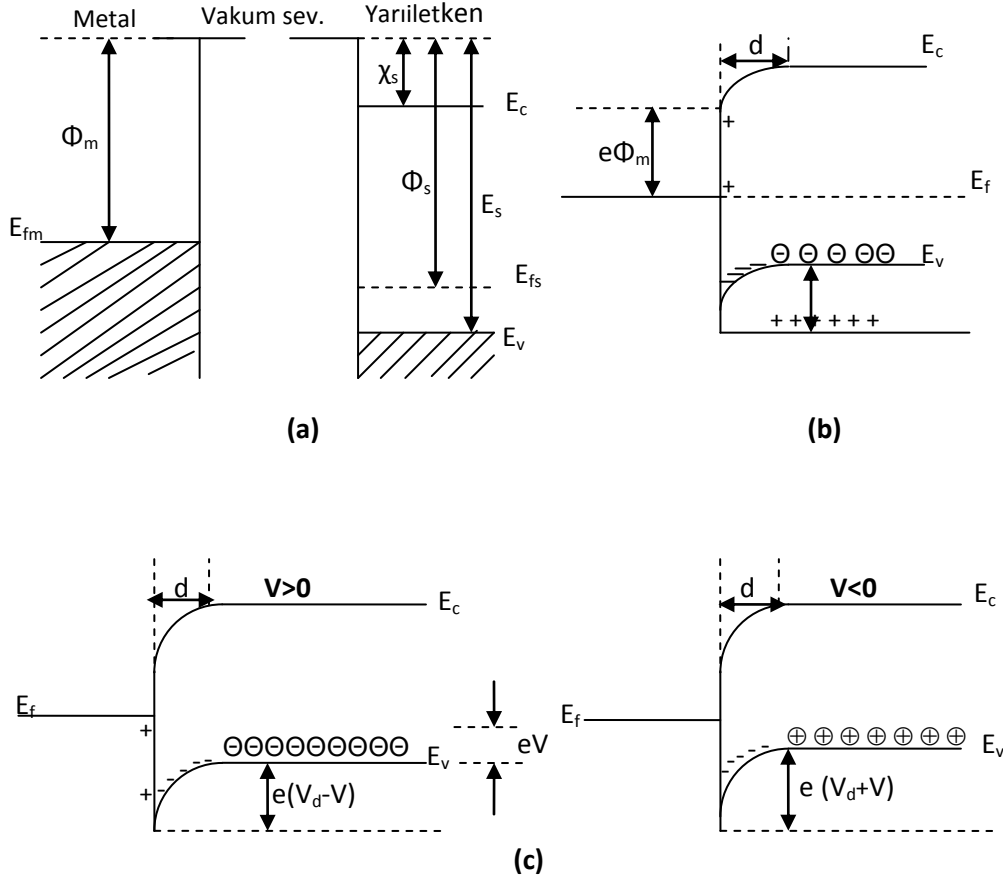
Bu şekilde oluşan bir kontak için $\Phi_m < \Phi_s$ olsun. Oda sıcaklığında akseptörlerin hepsi iyonize olmuş olsun. Kontakta önce, şekil 3.3.a'da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontakta sonra her iki maddenin Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metalden yarıiletkene doğru elektron akışı olur. Bunun sonucu olarak, yarıiletken tarafındaki holler, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki bu negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler d kalınlığında bir uzay yükü tabakası içerisinde dağılırlar. Yarıiletken gövdedeki enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiği için, yarıiletken tarafındaki holler için yüzey engeli;

$$eV_{dif} = \Phi_s - \Phi_m$$

olur. Burada V_{dif} difüzyon potansiyelidir. Yarıiletken içerisindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır. Kontakın metal tarafındaki holler için engel yüksekliği;

$$e\Phi_b = E_s - \Phi_m$$

ifadesi ile verilir.



Şekil 3.3. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-bant diyagramı a)Kontaktan önce b)Kontaktan sonra ve termal dengede, c) $V \neq 0$ durumunda

Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletkendeki bazı holler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanarak, metalin içine geçebilirler. Benzer şekilde metalde termal olarak oluşan bazı holler de engeli aşacak kadar enerji kazanarak, yarıiletkenin içine geçebilirler. Böylece kontakta engelden geçen eşit ve zıt yönlü iki I_0 akımı oluşur.

Yarıiletkene bir V gerilimi uygulanırsa (şekil 3.3.b), soldan sağa akan hol akımı değişmez, fakat sağdan sola doğru akan akım $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar değişir. Bunun sonucu olarak yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü eV kadar düşer ve buna bağlı

olarak yarıiletkenden metale geçen holler için engel yüksekliği eV kadar azalır. Sonuçta sağdan sola doğru olan akım pozitif kabul edilirse, karakteristik akım,

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

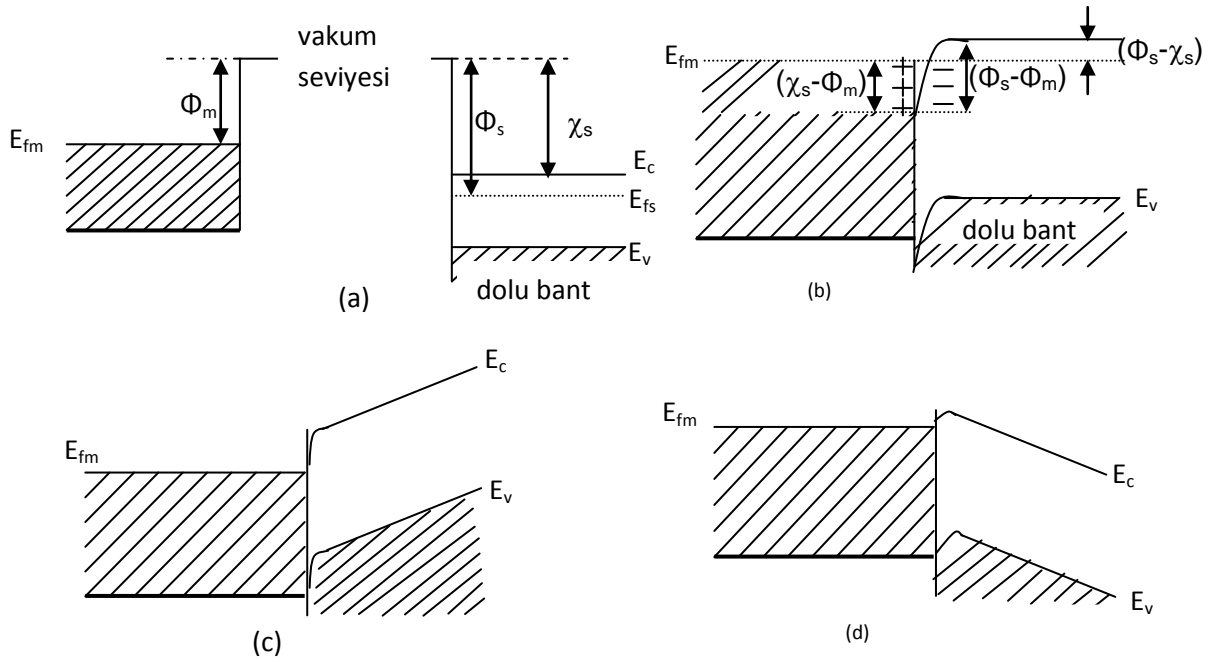
olacaktır. Bu bir doğrultucu kontaktr.

3.1.2. Omik Kontaklar

Omik kontak, uygulanan gerilimin polaritesinden bağımsız olarak her iki yönde de akım akışına minimum direnç gösteren bir metal/yarıiletken eklemdir (Brillson 1993, Neamen 1992). Akım-gerilim ilişkisi Ohm Kanunu ile verilen kontaklar omik bir davranış sergilerler. Kontak direncinin değeri ise omik kontakın kalitesini belirler.

3.1.2.a. Metal/ n -tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

$\Phi_m < \Phi_s$ durumunda, bir metalle bir n -tipi yarıiletken kontak halinde olsunlar. Kontakta önceki durumda yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar aşağıdadır. Metal ve yarıiletkenin kontakta önceki enerji-bant diyagramları şekil 3.4.a'da görülmektedir. Kontakta sonra termal denge durumunda, elektronlar metalden yarıiletkene doğru geride pozitif boşluklar bırakarak geçerler ve bu durumda yarıiletken yüzeyin n -tipliliği artar. Yarıiletken yüzeydeki bu fazla elektronlar bir negatif yüzey yükü tabakası meydana getirirler. Yine metalden ayrılan elektronlar geride bir yüzey yükü tabakası (pozitif yük dağılımı) meydana getirirler ve böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası oluşur. Bu durum şekil 3.4.b.'de görülmektedir. Şayet metal tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa bu durumda yarıiletkenden metale doğru akan elektronlar için bir engel yoktur ve elektronlar bu yönde kolayca hareket edebilirler (şekil 3.4.c).



Şekil 3.4. $\phi_m < \phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı a) kontak öncesi, b) kontak sonrası, c) düz beslem altında, d) ters beslem altında.

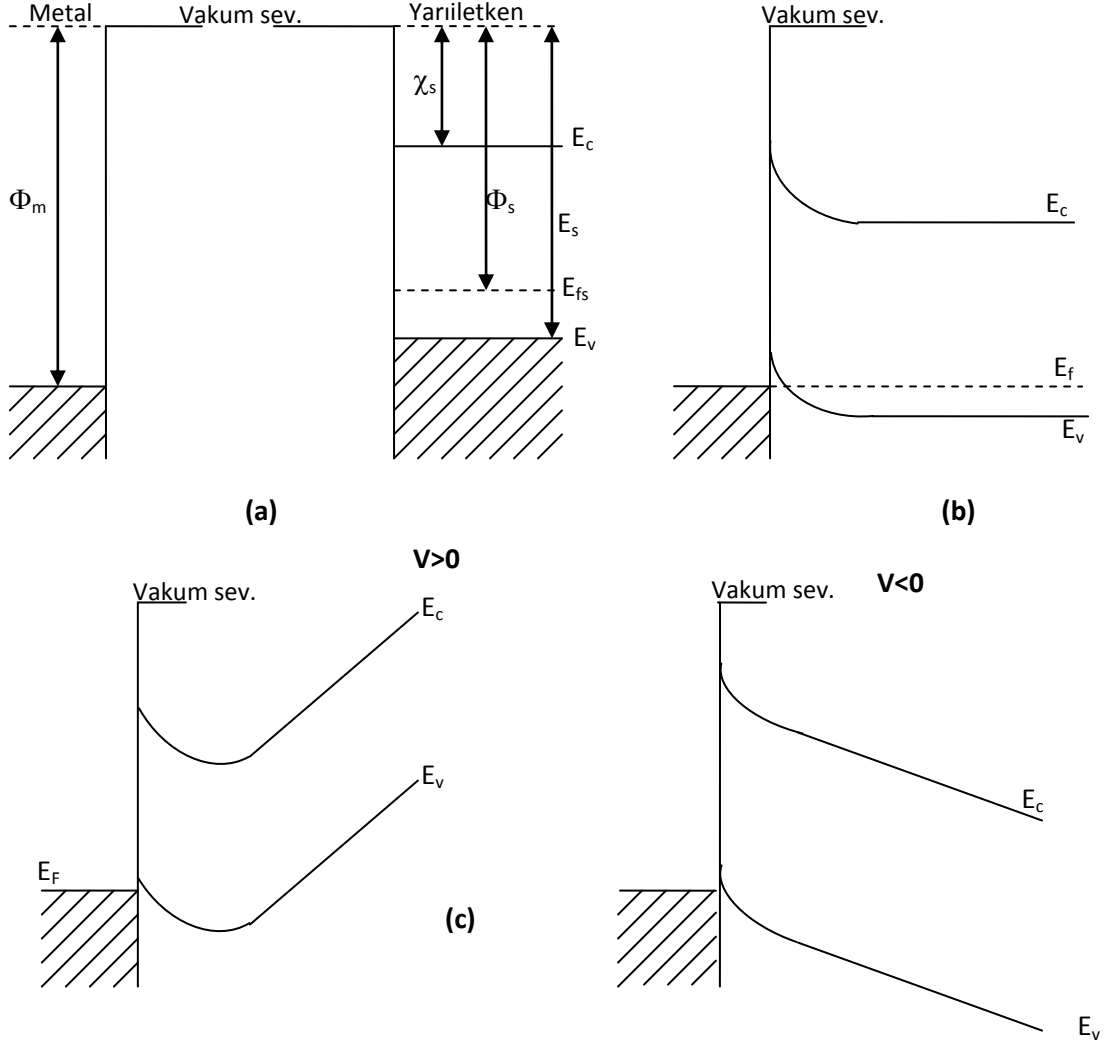
Şayet yarıiletken tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa, elektronların karşılaşacakları engel yüksekliği yine çok küçük olacaktır ve elektronlar kolayca metalden yarıiletkene doğru akacaklardır (şekil 3.4.d).

Sonuç olarak böyle bir kontakta, elektronlar her iki yönde de kolayca hareket edebilirler. Omik kontakta bir $+V$ gerilimi uygulandığında, potansiyel bütün yarıiletken gövde boyunca dağılacaktır. Metale negatif bir ($-V$) gerilim uygulandığında, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına elektron geçişi olmasından dolayı bu kontaklara enjeksiyon kontakları da denir (Ziel 1968).

3.1.2.b. Metal/p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

$\Phi_m > \Phi_s$ durumunu inceleyelim. Şekil 3.5.a'da görüldüğü gibi, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontak sonrası bir yük mübadelesi meydana gelecektir. Yarıiletkendeki elektronlar, geride bir pozitif yüzey yükü (hollerden dolayı) bırakarak ve metal tarafında bir negatif yüzey yüküne neden olarak metal tarafına akarlar. Buna bağlı olarak yarıiletkendeki Fermi seviyesi şekil 3.5. b'de görüldüğü gibi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı düşer. Hol konsantrasyonunun

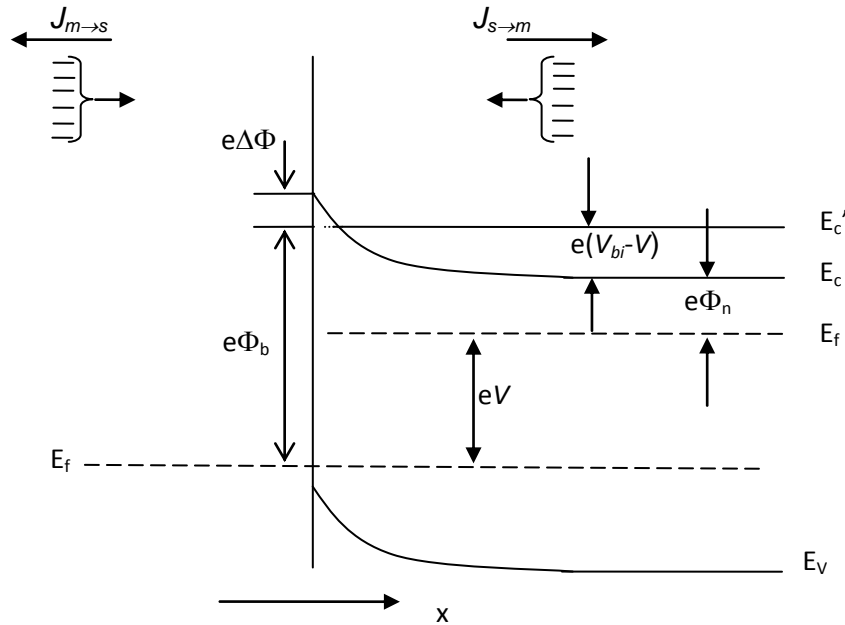
artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p -tipi olur. Elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolayca akabilirler. Bu yük hareketi, hollerin yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen holler yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı hemen nötralize olurlar. Ters beslem durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan holler de kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçebilirler.



Şekil 3.5. Metal/ p -tipi yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramı a) kontakdan önce, b) kontakdan sonra, c) $V \neq 0$ durumunda

3.1.3. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Termioyonik Emisyonla Akım İletimi

Schottky kontaklarda bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi termioyonik emisyon teorisi ile açıklanmaktadır (Sıcak bir yüzeyden termal enerjileri nedeniyle taşıyıcıların salınması olayı termioyonik emisyon olarak bilinir.). Metal/yarıiletken Schottky diyotlarda termioyonik 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. Termioyonik emisyon teorisi oluşturulurken, Maxwell-Boltzmann yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelinin, kT enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmalarının çok küçük olduğu kabul edilmektedir.



Şekil.3.6. Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisi

Şekil.3.6'da V büyüklüğünde düz beslem gerilimi uygulanmış bir Schottky kontak görülmektedir. Burada $J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m \rightarrow s}$ ise metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğudur. $J_{s \rightarrow m}$ akım yoğunluğu,

x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu nedenle,

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c'}^{\infty} v_x dn \quad (3.2)$$

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

$$dn = g_c(E) f_F(E) d(E) \quad (3.3)$$

ile verilir. Burada $g_c(E)$, iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu ve $f_F(E)$, Fermi-Dirac ihtimaliyet fonksiyonudur. Maxwell-Boltzmann yaklaşımı uygulanarak elektron konsantrasyonu için,

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[\frac{-(E - E_F)}{kT}\right] dE \quad (3.4)$$

yazılabilir. $(E - E_c)$ enerjisi serbest elektronun kinetik enerjisi olarak kabul edilirse, bu durumda,

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_c \quad (3.5)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (3.6)$$

ve

$$\sqrt{E - E_c} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (3.7)$$

olur. Bu sonuçlar kullanılarak (3.7) ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$dn = 2 \left(\frac{m_n^*}{h}\right)^3 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{kT}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* v^2}{2kT}\right) 4\pi v^2 dv \quad (3.8)$$

elde edilir. Bu denklem, hızları v ve $v+dv$ aralığında değişen elektronların sayısını verir.

Hız, bileşenlerine ayrılırsa;

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

şeklinde olur. Buradan (3.2) ifadesi,

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp \left(\frac{-e\phi_n}{kT} \right) \int_{v_{0x}}^{\infty} v_x \exp \left(\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(\frac{-m_n^* v_y^2}{2kT} \right) dv_y \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(\frac{-m_n^* v_z^2}{2kT} \right) dv_z, \quad (3.9)$$

şeklinde yazılabilir. v_{0x} hızı, x doğrultusundaki harekette elektronun potansiyel engelini aşabilmesi için gerekli olan minimum hızdır. Son ifadede aşağıdaki değişken değiştirmeleri yapılabilir:

$$\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \equiv \alpha^2 + \frac{e(V_{bi} - V)}{kT} \quad (3.10.a)$$

$$\frac{m_n^* v_y^2}{2kT} \equiv \beta^2 \quad (3.10.b)$$

$$\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \equiv \gamma^2 \quad (3.10.c)$$

Ayrıca minimum v_{0x} hızı için,

$$\frac{1}{2} m_n^* v_{0x}^2 = e(V_{bi} - V) \quad (3.11)$$

yazılabilir. Bu durumda $v_x \rightarrow v_{ox}$ şartı için $\alpha = 0$ olur. Yine $v_x dv_x = \left(\frac{2kT}{m_n^*}\right) \alpha d\alpha$

yazılabilir. Bu ifadeler (3.9) denkleminde kullanılırsa;

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h}\right)^3 \left(\frac{2kT}{m_n^*}\right)^2 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{kT}\right) \exp\left[\frac{-e(V_{bi} - V)}{kT}\right] \\ \times \int_0^\infty \alpha \exp(-\alpha^2) d\alpha \int_{-\infty}^\infty (-\beta^2) d\beta \int_{-\infty}^\infty (-\gamma^2) d\gamma \quad (3.12)$$

Bu son ifadenin integrali alınır;

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3}\right) T^2 \exp\left[\frac{-e(\phi_n + V_{bi})}{kT}\right] \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (3.13)$$

ya da

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3}\right) T^2 \exp\left[\frac{-e\phi_b}{kT}\right] \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (3.14)$$

olur. Uygulama gerilimi sıfır olduğunda $J_{s \rightarrow m}$ ile $J_{m \rightarrow s}$ tamamen eşittirler. Yani,

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3}\right) T^2 \exp\left[\frac{-e\phi_b}{kT}\right] \quad (3.15)$$

olur. Eklemdeki net akım yoğunluğu $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$ olur. Daha açık ifadeyle net akım yoğunluğu,

$$J = \left[A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.16)$$

olur. Burada A^* termoiyonik emisyon için Richardson sabiti olup,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (3.17)$$

ile verilir. Genel bir durum için (3.16) ifadesi,

$$J = J_{sT} \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.18)$$

olarak yazılabilir. Burada J_{sT} ters-doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_{sT} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilir. ϕ_b Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve $\phi_b = \phi_{b0} - \Delta\phi$ şekline verildiği dikkate alınarak (3.19) ifadesi yeniden,

$$J_{sT} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (3.20)$$

şeklinde yazılır. Engel yüksekliğindeki $\Delta\phi$ değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters beslem gerilimi ile artacaktır.

3.1.4. Norde (1979) Fonksiyonları Yardımıyla Schottky Diyot Karakteristiklerinin Tayin Edilmesi

Daha önce termiyonik emisyonunda çıkartılan akım yoğunluğu denklemi (3.16) diyotun etkin alanı A ile çarpıldığında, toplam I_n akımı aşağıdaki gibi bulunur ($eV_F \gg 3kT$)

$$I_n = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (3.21)$$

İdeal bir Schottky diyot için termiyonik emisyon etkili akım ifadesi

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_d}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.22)$$

ile verilir. Burada V_d difüzyon potansiyeli $\beta=e/kT$ ve I_0 , doyma akımı olup

$$I_0 = AA * T^2 \exp(-\beta\Phi_b) \quad (3.23)$$

ifadesine sahiptir. $(eV_d/k T) \gg 1$ için

$$I \cong I_0 \exp\left(\frac{eV_d}{kT}\right) \quad (3.24)$$

elde edilir. Burada $\ln(I)$ 'nin V 'ye karşı grafiği $(e\Phi_b)$ engel yüksekliğinin tayini için farklı bir imkân sağlar. Bu durum yarıiletken diyotta bir seri dirence neden olur. Akım-voltaj karakteristiği, aralığındaki gerilimler için doğru şeklinde iken, R çok büyük ise doğru kısım oldukça dar olur. Bu seri direnç etkisini ortadan kaldırmak için $F(V)$ fonksiyonu kullanılır:

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{I}{AA * T^2}\right) \quad (3.25)$$

Seri dirençli bir diyot için akım; $V_d=V-IR$ alınır,

$$I = I_0 [\exp(\beta V_d) - 1] \quad \Longrightarrow \quad I = I_0 [\exp[\beta(V - IR)] - 1] \quad (3.26)$$

bağıntısı ile verilir. $V_d \gg kT/e$ olduğu kabul edilip denklem (3.25), denklem (3.26)'de yerine yazılırsa

$$F(V) = \Phi_b + IR - \frac{V}{2} \quad (3.27)$$

elde edilir. İdeal halde $R=0$ olur. Bu durumda $F(V)$ yeniden yazılırsa

$$F(V) = \Phi_b - \frac{V}{2} \quad (3.28)$$

ifadesi bulunur. Bu fonksiyonun grafiği eğimi $(-1/2)$ olan bir doğrudur. Halbuki, denklem (3.26)'da Ohm yasası gereğince $I=V/R$ 'dir. Bu ifade denklem (3.26)'da yerine yazılırsa

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{V}{AA * T^2}\right) \quad (3.29)$$

elde edilir. Çok büyük voltajlar için bu ifade eğimi $1/2$ olan bir doğruya ulaşacaktır. Burada $F(V)$ 'nin küçük akımlar için ideal hale, büyük akımlar için $F_R(V)$ eğrisine

yaklaşacağı sonucuna varılır. $F(V)$ fonksiyonu bu iki nokta arasında bir minimum değere sahiptir. (3.28) eşitliğinin V^* 'ye göre türevi alındığında,

$$\frac{dF(V)}{dV} = R \left(\frac{dI}{dV} \right) - \frac{1}{2} \quad (3.30)$$

bağıntısı elde edilir.

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV} \left[1 + R \left(\frac{dI}{dV} \right) \right]^{-1} \quad (3.31)$$

ve

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV} [I_{\min} \exp(\beta V)] = \beta I \quad (3.32)$$

olduğundan, fonksiyonun türevi

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{\beta R I}{1 + \beta R I} - \frac{1}{2} \quad (3.33)$$

olarak elde edilir. $dF(V)/dV=0$ değeri $F(V)$ 'nin minimum noktasındaki I_{\min} akımını verecektir.

Buna göre (3.33)'den I_{\min} akımı

$$I_{\min} = \frac{1}{\beta R} = \frac{kT}{qR} \quad (3.34)$$

olarak bulunur. I_{\min} akımına karşılık gelen voltaj da

$$V_{\min} = I_{\min} R + V_d(I_{\min})$$

$$V_{\min} = \frac{1}{\beta} + \ln \left(\frac{I_{\min}}{AA * T^2} \right) \quad (3.35)$$

şeklinde elde edilir. Buna göre $F(V)$ 'nin minimum değeri

$$F(V_{\min}) = \frac{V_{\min}}{2} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{I_{\min}}{AA * T^2} \right) \quad (3.36)$$

olur. I_{\min} ve V_{\min} 'nin ölçülen değerleri kullanılarak doğru gerilim uygulanan Schottky diyotta akım;

$$I = AA * T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \quad (3.37)$$

şeklindedir. Burada n idealite faktörü olup $1 < n < 2$ dir. n , sıcaklık ve uygulama gerilimden bağımsız bir sabittir. Denklem (3.27)'de (3.28) bağıntısını yerine yazarsak

$F(V)$ için;

$$F(V) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right)V + \Phi_B + \frac{IR}{n} \quad (3.38)$$

ifadesi elde edilir. $R = 0$ ideal hali için $F(V)$ fonksiyonu $(n-2)/2n (< 0)$ eğimli bir doğru olacaktır. $n = 1$ iken eğim $(-1/2)$ 'ye eşittir. O halde $n = 1$ durumu ideal Schottky diyot durumudur. Denklem (3.38)'ün V 'ye göre diferansiyeli alındığında

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{1}{2} - \frac{1}{n} + \left(\frac{R}{n}\right) \left(\frac{dI}{dV}\right) \quad (3.39)$$

elde edilir. (3.36) eşitliğinin V_d 'ye göre diferansiyeli ise

$$\frac{dI}{dV_d} = \frac{\beta I}{n} \quad (3.40)$$

eşitliğini verir. Diyot boyunca voltaj V_d ise

$$V_d = V - IR \quad (3.41)$$

olur. Bu eşitliğin I 'ya göre diferansiyeli alınır,

$$\frac{dV_d}{dI} = \frac{dV}{dI} - R \quad (3.42)$$

elde edilir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra,

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI / dV_d}{1 + R dI / dV_d} \quad (3.43)$$

bağıntısı bulunur. Denklem (3.43)'ü (3.44) eşitliğinde yerine yazarsak

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{n-2 + \beta RI}{2(n + \beta RI)} \quad (3.44)$$

elde edilir. $dF(V)/dV=0$ durumu $F(V)$ 'nin minimum noktasındaki akımı verecektir.

Buna göre, $\frac{dF(V)}{dV} = \frac{n-2 + \beta RI}{2(n + \beta RI)} = 0$ ifadesinden

$$R = \frac{2-n}{\beta I_{\min}} \quad (3.45)$$

elde edilir. Buna karşı gelen gerilim denklemi (3.40)'ten

$$V_{\min} = V_d(I_{\min}) + RI_{\min} \quad (3.46)$$

şeklinde yazılır. Denklem (3.38)'te V yerine V_{\min} , I yerine I_{\min} ve R 'nin değerini yerine koymak suretiyle

$$F(V_{\min}) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n} \right) V_{\min} + \phi_B - \frac{2-n}{\beta n} \quad (3.47)$$

ifadesi bulunur. $n=1$ için R ve Φ_B hesaplanırsa, $[R=(2-n)/\beta I_{\min} \iff R=(kT/e)I_{\min}]$ için

$$\phi_B = F(V) + \frac{V_{\min}}{2} - \frac{kT}{q} \quad (3.48)$$

ifadeleri elde edilir.

3.1.5. Engel Yüksekliğinin Sıcaklığa Bağlılığı

İnhomojen engele sahip bir Schottky diyot modeli için aşağıdaki temel ifadeler kullanılmaktadır.

$$\Phi_b^j = \bar{\Phi}_b - \frac{\sigma_s^2}{\left(\frac{2kT}{q} \right)} \quad \text{ve} \quad \Phi_b^c = \bar{\Phi}_b \quad (3.49)$$

Burada Φ_b^j , düz beslem gerilimine bağlı olarak I - V ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği, Φ_b^c , kapasite voltaj ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği,

$\bar{\Phi}_b$, ortalama engel yüksekliği ve σ_s standart sapmadır. Yukarıdaki son iki ifade inhomojen Schottky engeli için sıcaklık ve bahsedilen parametreler arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bu ifadelerle göre, $I-V$ ve $C-V$ karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliği değerlerinin farklı olması anlamına da gelmektedir. Ayrıca, gerilim altında engel dağılımının değiştiği dikkate alınır, idealite faktörünün de açıklanması bu ifadelerle mümkün olabilir. (3.84) ifadesi potansiyel engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi hakkında bilgi vermektedir. Her sıcaklık için $I-V$ karakteristiğinin sıfır uygulama gerilimine fit edilmesiyle bulunan I_0 doyma akımlarından hesaplanan engel yüksekliklerinin, $1/T$ 'ye karşı değişim karakteristiği bir doğru verir. Bu doğrunun eğimi $\left(\frac{q\sigma_s^2}{2k} \right)$ olur ve bu değerlerden standart sapma bulunur. Bu lineer doğrunun potansiyel engel yüksekliğini kestiği nokta ise ortalama engel yüksekliğini verir.

3.1.6. Kontaklarda Isının Etkisi

Yarıiletken devre elemanlarında kullanılan kontakların çoğu ısıya maruz kalmaktadır. Metalin yarıiletkene adhezyonunu artırmak için bu durum kaçınılmaz olabilir. Çünkü metalin kaplanmasından sonra oluşan diğer işlem basamakları için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulabilir. Yapılan bu işlem ısı sinterleme veya ateşleme olarak adlandırılır. Doğrultucu kontağın eriyebileceği sıcaklıktan kaçınmak çok önemlidir. Çünkü ara yüzey yarıiletkenin içinde keskin metalik sivri bir çıkıntıya sahip düzlemsel olmayan yapıya sahip olmaya başlar. Bu durum oluştuğunda, çıkıntının ucundaki yüksek alan bölgesi elektriksel karakteristikleri nispeten küçültebilir (Andrews 1974). Kontakın alaşım hali istenmedikçe (omik kontak oluşumundaki gibi) sıcaklıkları metal/yarıiletken sisteminin eutektik sıcaklığının altında kontakın oluşacağı değerde tutmak gerekir. Örneğin, Silisyum'un Au, Al ve Ag ile yapılan alaşımlarının eutektik sıcaklıkları sırasıyla 370°C , 577°C ve 840°C 'dir.

Esasen eutektik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda bile yarıiletkenin içine metal göçü oluşabilir. Bu metalurjik değişimler son zamanlarda yeni geliştirilmiş olan Rutherford'un backscattering (geri saçılma), Auger Electron Spectroscopy ve Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) teknikleri kullanılarak yaygın olarak çalışılmıştır. Örneğin, Hiraki ve çalışma grubu (1971) 200°C 'ye kadarki sıcaklıklarda Rutherford'un

backscattering tekniği kullanılarak bir altın film içine silisyumun taşındığını göstermişlerdir. Buharlaştırmadan önce bu göçün veya taşınmanın genişlemesi silisyumun yüzeyinin durumuna oldukça duyarlıdır ve ara yüzeyde ince bir oksit tabakasının varlığı ile tamamen engellenebilir. Bu durum basitçe tek tip difüzyonla açıklanamayabilir, muhtemelen buna ek olarak tane sınırı difüzyonunu da gerektirir. Göçün etkisi mükemmel bir silisyum/metal eklemine çok farklı bir arayüzey oluşturur ve elektriksel karakteristikler de ideal olmaz. Hiraki ve çalışma grubu (1977) düşük sıcaklıklardan oda sıcaklığına kadar geniş bir sıcaklık aralığında yarıiletkenlerin bir çoğu için benzer karakteristiklerin var olduklarını göstermişlerdir. Genel olarak, silisyumun ara yüzeyindeki difüzyonunun ihmal edilebilmesi için bir metaldeki silisyumun difüzyon sabitinin silisyum içindeki aynı metalin difüzyon sabitinden defalarca büyük olması gerekir (McCaldin 1974).

Devre elemanı uygulamalarında diyotda akım akışı ile oluşan ısının bir sonucu olarak bir düzensizlik oluşabilir. Gözlenen metalurjik değişimler için *I-V* karakteristiklerinin bozulmasını açıklamak oldukça zordur. *I-V* karakteristiklerindeki değişim her zaman engel yüksekliğindeki bir değişimle basitçe açıklanamayabilir. Bazen karakteristikler donör veya akseptör olarak davranan atomların yarıiletkene difüze oldukları kabul edilerek yorumlanabilir veya yarıiletkende katkı atomlarının etkin yoğunluğunun değiştirilmesi için elektriksel olarak aktif merkezler oluşturulur. Katkı yoğunluğu arttıkça engel daralır ve termoiyonik alan emisyonu oluşabilir. Yarıiletken içine giren atomlar veya kusurlar asıl katkı atomlarıyla zıt polaritede iseler etkin hal yoğunluğu azalır ve bazen p-n eklemine oluşabileceği durum elde edilir. Bunun en iyi örneği Al/Si kontaklardır ve teknolojik öneminden dolayı yaygınca çalışılmaktadır (Rhoderick 1992).

3.2.Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

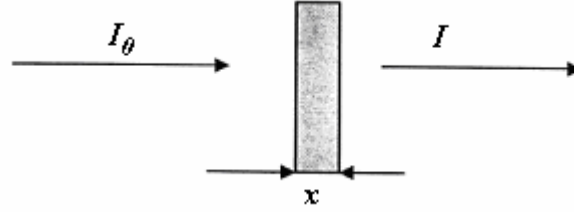
3.2.1. Soğurma Olayı, Doğrudan ve Dolaylı Geçişler

Bir kristal düzlemine gelen elektromanyetik dalganın kristalde bulunan elektriksel yüklerle etkileşmesi sonucu enerji kaybına uğraması soğurma olarak adlandırılır (Pankove 1975). Yarıiletkenlerin yasak enerji bant aralıklarını belirlemede en çok kullanılan yöntem optik soğurma metodudur. Soğurma işleminde yarıiletken malzeme üzerine düşürülen bir foton, yarıiletkendeki bir elektronu düşük bir enerji

seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. x kalınlığına sahip bir ince film üzerine düşürülen ve malzemeyi geçen ışın şiddeti arasındaki bağıntı

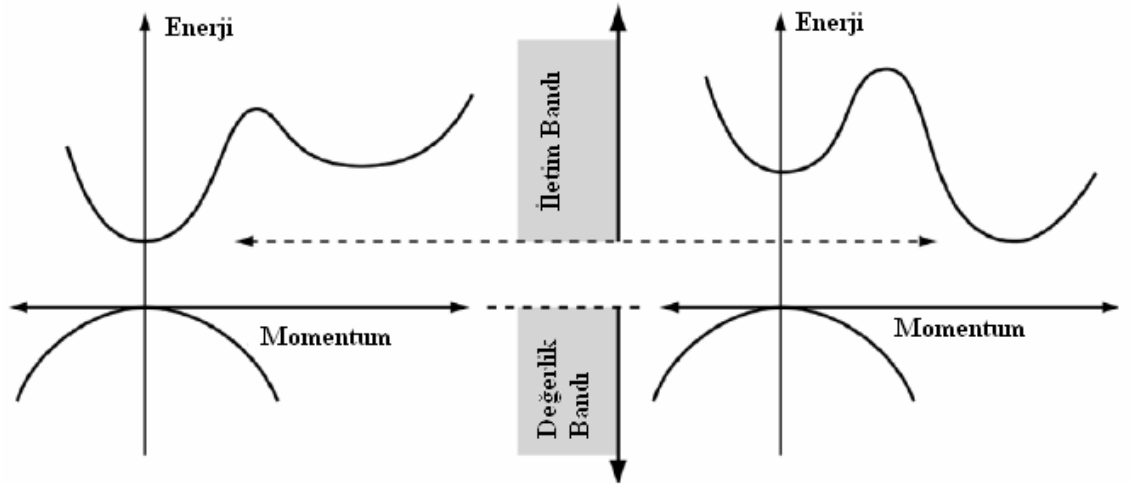
$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3.50)$$

olarak yazılabilir. Burada I_0 ince film üzerine düşürülen ışığın yoğunluğu, I ince filmi geçen ışığın yoğunluğu, x ışığın ince film içerisinde aldığı yolu (ince film kalınlığını) ve α ise kullanılan malzemenin (yarıiletkenin) soğurma katsayısıdır (Meyer 1972).



Şekil 3.7. İnce bir filmdeki soğurma

Kristal ve amorf yarıiletkenlerde iki çeşit bant geçişi söz konusudur. Bunlar Şekilde gösterilen doğrudan ve dolaylı bant geçişlerdir. Doğrudan geçiş durumu, malzemenin değerlik bandının maksimumu ile iletim bandının minimumunun aynı momentuma sahip olması durumunda görülür. Şekil 3.8’de, değerlik bandındaki bir elektron momentum değerinde değişme olmadan bir foton soğurur ve fotondan aldığı enerji ile iletim bandına geçer. Dolaylı bant aralığına sahip malzemelerin iletim bandının momentumu değerlik bandının maksimumundakinden farklıdır. İletim bandındaki elektronlar hızlı bir şekilde minimum bant enerjisine inerler. Aynı ölçüde hollerde değerlik bandının maksimumuna ulaşırlar. Bundan dolayı, doğrudan geçişli bir yarıiletkenin elektron ve deşiklerin momentumları eşit iken, dolaylı geçişli yarıiletkenlerin bu momentumları eşit değildir. Bu sonuç azınlık taşıyıcıların ömürleri ve yarıiletkenlerin optik özelliklerinin sonucudur.



Şekil 3.8. Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi

3.2.2. Doğrudan Bant Geçişi

$h\nu$ enerjeye sahip bir foton doğrudan bant geçişli bir yarıiletkene geldiğinde, bir elektronu değerlik bandından iletim bandına geçirir. E_i yarıiletkenin ilk durum, E_s son durum enerjisi olmak üzere enerji farkı (Pankove 1975)

$$h\nu = E_s - E_i \quad (3.51)$$

denklemleri ile verilmektedir. Parabolik bantlarda ise

$$E_s - E_i = \frac{p^2}{2m_e^*} \quad (3.52)$$

ve

$$E_i = \frac{p^2}{2m_h^*} \quad (3.53)$$

ifadeleri ile belirlenir. Burada m_e^* , elektronun etkin kütlesi, m_h^* holün etkin kütlesini göstermektedir. Denklem 3.51, 3.52 ve 3.53 düzenlendiğinde

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (3.54)$$

bağıntısı ile elde edilir. Doğrudan bant geçişinde α ile $h\nu$ arasındaki bağıntı,

$$\alpha h\nu \approx B(h\nu - E_g)^m \quad (3.55)$$

denklemleri ile verilir. Burada B sabit sayısı, m 1/2 izinli geçiş veya 3/2 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabittir. Ayrıca denklem 3.55'da $\alpha h\nu$ değerini sıfır yapan değer yarıiletkenin yasak enerji aralığı değerini vermektedir (Mott 1971).

3.2.3. Dolaylı Bant Geçışı

Değerlik bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumunun momentumlarının farklı olduğundan elektron momentumunun korunması için, foton soğurma olayı ilave bir parçacık içermelidir. Bu durumda momentum korunumu için bir fononun emisyonu veya soğurulması gereklidir. Fonon soğurulmasında, soğurulma katsayısı

$$\alpha_s(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} \quad (3.56)$$

ve

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} \quad (3.57)$$

olarak yazılabilir. Burada α_s soğurma katsayısı ve α_e emisyon katsayısı, E_{ph} fonon enerjisidir. Her iki olasılıkta imkan dahilinde olduğu için

$$\alpha(h\nu) = \alpha_s(h\nu) + \alpha_e(h\nu) \quad (3.58)$$

olarak yazılabilir. Açık bir şekilde yazıldığında

$$\alpha(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} + \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp(-E_{ph}/kT)} \quad (3.59)$$

halinde yazılır. Burada m, dolaylı bant geçişli bir yarıiletken için 2 izinli geçiş veya 3 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabiti göstermektedir (Gaffar 2003)

3.3. Deneysel İşlemler

3.3.1. Yarıiletkenlerin Temizlenmesi

Bu çalışmada 1–10 Ωcm öz dirence ve (100) yönelimine sahip 3 inçlik bir p-Si yarıiletken kullanılmıştır. . Diyot yapımında iyi netice alınabilmesi için, kullanılacak numunenin yüzeyinin organik ve mekanik kirlerden arınmış olması gerekir. Bunun için bizim kullandığımız numunenin yüzey parlatılması fabrikasyon olarak yapıldığı da dikkate alınarak, mekanik olarak parlatılmaya gerek kalmaksızın hemen kimyasal temizleme işlemi yapıldı. Numunenin kimyasal temizlemesinde aşağıdaki işlem takip edildi.

- 1) Aseton'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanol'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3;6:1:1$) 'de 60 0 C'de10 dakika kaynatıldı.
- 5) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl};6:1:1$) 'de 60 0 C'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 8) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 15-20 dakika akan deiyonize su içerisinde yıkandı.
- 10) Azot gazı (N_2) ile kurutuldu.

Ayrıca buharlaştırmada kullanılacak metaller, metanolda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı

3.3.2. Diyotların Oluşturulması

Numunenin önce mat (parlatılmamış) tarafına omik kontak yapılması gerekir.Bunun için önce ısıtıcı pota % 10 seyreltiklikte HCl ile yıkayıp, deiyonize su ile iyice temizlenip kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma ünitesine yerleştirilerek yakıldı.Sonra numuneler kimyasal olarak (RCA) temizlendikten ve numunenin mat tarafına buharlaştırılacak metal (Al) kimyasal olarak temizlenip (metanolde 5 dakika ultrasonik olarak yıkama) ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra numune, daha önce çalıştırılıp vakum işlemi için hazır hale getirilen ünitenin içerisine yerleştirildi. Vakum işlemi neticesinde basınç 10^{-6} Torr değerine düştükten sonra, daha önceden ısıtıcı pota içine yerleştirilen % 99.99 saflıkta alüminyum (Al) buharlaştırıldı.



şekil 3.9. Al Buharlaştırma İşlemlerinin Gerçekleştirildiği Termal Buharlaştırma Sistemi

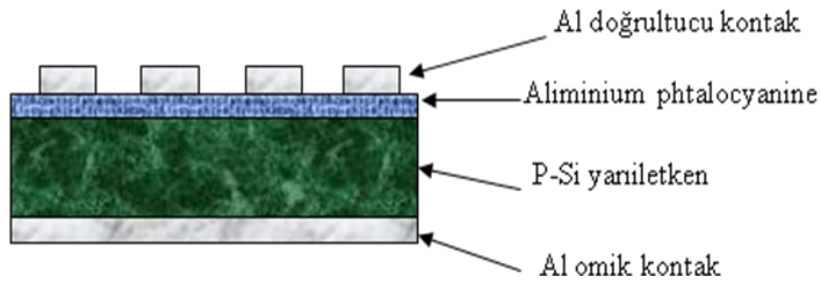
Bir müddet bekleddikten sonra ters işlem yapılarak vakum cihazına hava verildi ve numune vakum cihazından çıkarılarak kimyasal olarak temizlenmiş quartz potanın içine yerleştirilerek, daha önce yakılarak 570°C 'ye ayarlanan fırında 3 dakika tavlandı.



Şekil 3.10. Omik kontak termal işlemi için fırın

Tavlama için kullanılan fırın Şekil 3.1. 'de görülmektedir. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Hazırlanmış olan bu omik kontaklı numunelerin önyüzeylerindeki doğal oksit tabaka HF/H₂O (1:10) çözeltisi kullanılarak söküldü ve saf suda 30 sn bekletildi. $1,5 \times 10^{-3}$ M konsantrasyona sahip Dimethyl sulfoxide çözücüsünde hazırlanmış Aluminium phtalocyanine (Alpc) çözeltilerinden 15µL alınarak dönel kaplama yöntemiyle (spin coating) numunenin üzerine damlatılıp 2 dakika (dakikada 1500 rpm) döndürülerek yarıiletken üzerinde homojen ve düzgün bir kaplama oluşturuldu.

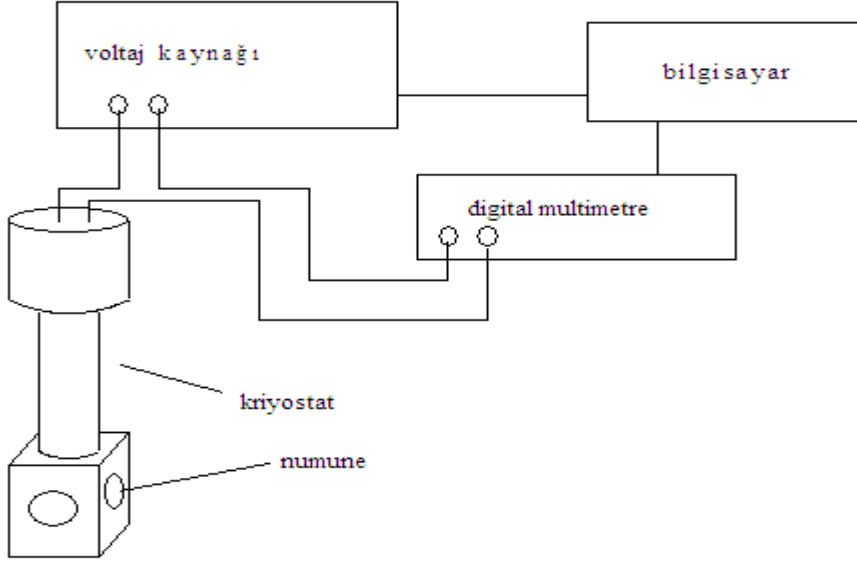
Son işlem olarak hazırlanan yapımızın üzerine Al buharlaştırılarak yarıçapları 1mm olan (diyot alanı = 7.85×10^{-3} cm²) Al/Aluminium phtalocyanine/p-Si diyotları elde edildi. Bu işlemde kullanılan Termal Buharlaştırma sistemi Şekil 3.9 da gösterilmektedir. Elde edilen yapının çizimi şekil 3.11 de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Al/Alpc/p-Si/Al yapısı

Elde edilen Al/Alpc/p-Si/Al diyotların 80 K başlanılarak 20 K adımlarla 300 K sıcaklığına kadar *I-V* ölçümleri alındı ve temel diyot parametreleri

(idealite faktörü, engel yüksekliği gibi) hesaplandı. Oda sıcaklığında ise (300 K) $C-V$ ölçümü alındı.



Şekil 3.12. Akım-voltaj ölçümleri için kullanılan düzenek

Sıcaklığa bağlı ölçümler Advanced Research Systems, ARS - HC2 model kapalı sistem helyum cryostatı içinde $\sim 10^{-3}$ Torr 'da gerçekleştirildi. Sıcaklık kontrolü ise bir Lake Shore, 321 model sıcaklık kontrol sistemiyle kontrol edildi.

3.3.3. Akım–Gerilim, Kapasite–Gerilim Ölçümlerinin Alınması

Elde edilen Al/Alpc/p–Si yapısının sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonunun gerçekleştirilmesi için Önceki bölümlerde kısaca değinildiği gibi, yukarıda bahsedilen değişimlerin elde edilmesinde deney düzeneği kurulup, sıcaklık kontrol sistemi ile 80 K'e ulaşıp denge sağlandıktan sonra bu sıcaklıktan başlayarak 20 K'lik adımlarla (80-300 K aralığında) 300 K sıcaklığına kadar ($I-V$) ölçümleri alındı.

Bu ölçümler Keithley 4200 scs kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapıda doğrultma özelliği görülmüştür ve elektriksel özelliğinin belirlenmesi için akım–gerilim ($I-V$) ölçümleri alınmıştır. Daha sonra diyotun kapasite–gerilim ölçümü oda sıcaklığında alınmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Giriş

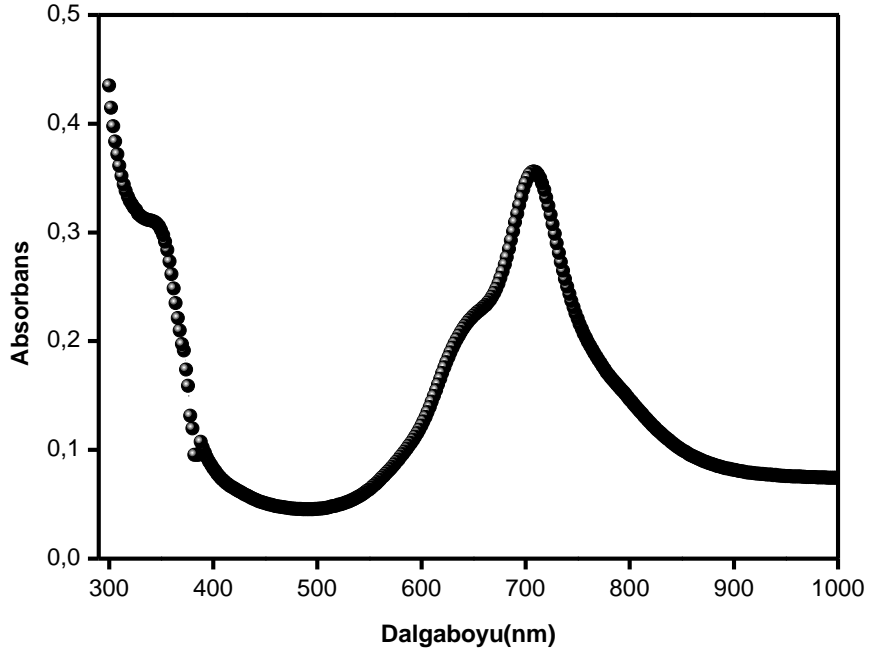
Bu bölümde, Al/Alpc/*p*-Si/Al diyodundan sıcaklığa bağlı alınan Akım-Voltaj (*I-V*), Kapasite-Voltaj (*C-V*) ölçülerinden elde edilen değişimler, bu değişimlerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen temel diyot parametrelerinin bazıları yer almaktadır.

4.2. Aluminium phtalocyanine Organiğinin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

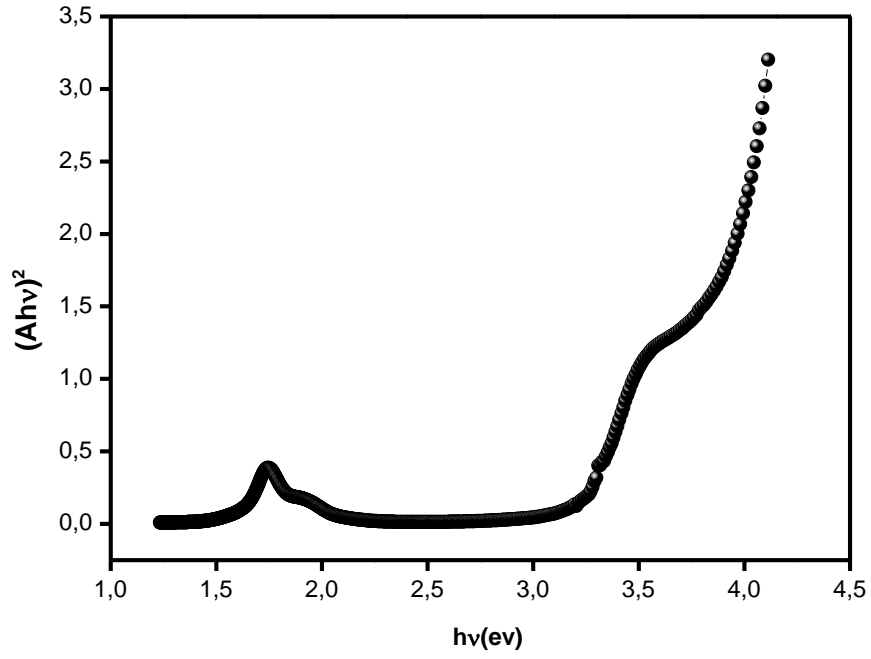
Alpc organiğinin optik özelliklerinin tayin edilebilmesi için önce ethanol ile yıkanıp, kurutulmuş cam üzerine, Dimethyl sulfo oxide ile çözülmüş Alpc organiğinin filmi oluşturulmuştur. Daha sonra bu ince filmin görünür bölge absorbansı Perkin Elmer Lambda 25 UV/VIS fotospektrometresi kullanılarak incelenmiştir. Şekil 4.1a'da Alpc organiğinin absorbans spektrumu görülmektedir. Alpc bileşiğinin optik bant aralığı (Pankove 1975) (E_g) ;

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (4.1)$$

denklemini ile çözülebilir. Burada α soğurma katsayısı, B sabit sayı, h Plank sabiti ve m doğrudan bant aralığı için $\frac{1}{2}$ 'dir. Şekil 4.1a verileri ve denklem 4.1 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonunda elde edilen $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği Şekil 4.1b'de görülmektedir. Alpc molekülünün doğrudan E_g bant aralığı $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinin lineer kısmının foton enerjisi eksenini kestiği noktadan 3,63 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Alpc organığının absorbans spektrumu



Şekil 4.2. Alpc organığının $(ahv)^2-hv$ grafiği

4.3. *I-V* (Akım-Gerilim) Ölçümleri ve Norde Fonksiyonlarının Kullanılması

Önceki bölümlerde kısaca değinildiği gibi, yukarıda bahsedilen değişimlerin elde edilmesinde deney düzeneği kurulup, cryostat 80 K'e ulaşıp denge sağlandıktan sonra bu sıcaklıktan başlayarak 20 K'lik adımlarla (80-300 K aralığında) (*I-V*) ölçümleri ve 300 K de (*C-V*) ölçümleri alındı.

(*I-V*) ölçümleri yardımıyla diyodun düz beslem tarafındaki değişiminden idealite faktörü, (idealite faktörü; diyodun kalitesini belirleyen önemli parametrelerdendir. "n" ile gösterilip birimsiz bir parametredir. İdeal bir diyot için $n=1$ 'dir. n değeri 1'den uzaklaştıkça, yani, değeri büyüdükçe, diyot idealden uzaklaşıyor demektir.) engel yüksekliği ve yüksek akım değerlerine karşılık gelen ve lineerliğin bozulduğu bölge yardımıyla da seri direnç değerleri hesaplandı.

İdealite faktörünü hesaplamak için kullanılan eşitlik;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

ile verilmektedir. Bu ifadede $eV \gg nkT$ olması durumunda üstel terim yanında 1 ihmal edilebilir. Bu durumda ifadenin yeni hali;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (4.2)$$

olur. (4.2) ifadesinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp, sonra da V 'ye göre türevi alınır; idealite faktörü için (4.3) ifadesi elde edilir.

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

$\ln I$ - V grafiği çizildiğinde, düz beslem kısmındaki lineer bölgeye bir doğru fit edilerek bu doğrunun eğiminden $dV/d(\ln I)$ elde edilir. Bu değerle birlikte e , (elektronun yükü = $1,6 \times 10^{-19}$ C), k (Boltzmann sabiti= $8,625 \times 10^{-5}$ eV/K) ve T (sıcaklık (K)) değerleri (4.3) ifadesinde yerine yazılarak idealite faktörü değerleri her bir sıcaklıkta hesaplandı. Fit edilen doğrunun $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akım yoğunluğunu verir. (4.2)'deki I_0 doyma akım yoğunluğu,

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

ile verilmektedir. (4.4) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp Φ_b 'ye göre çözümlerse, (4.5) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

$$e\Phi_b = kT \ln\left(\frac{AA * T^2}{I_0}\right) \quad (4.5)$$

Burada, A , diyodun etkin alanı ($A=0,0227$ cm²) A^* , Richardson sabiti olup p -Si için 32 $A/K^2 cm^2$ 'dir. Sıcaklığa bağlı olarak Al/Alpc/ p -Si/Al diyodunun doğru beslem akım-voltaj grafikleri şekil 4.1'de verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen idealite faktörleri, engel yükseklikleri ve doyma akımı değerleri çizelge 4.1'de görülmektedir. Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi, artan sıcaklıkla idealite faktörü değerleri azalırken engel yüksekliği değerleri artmıştır. Şekil 4.1'den de görüleceği gibi, oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara doğru gidildikçe aynı akım değerine ulaşabilmek için gerekli olan uygulama gerilimi artmaktadır.

Al/Alpc/p-Si/Al diyodunun I - V değişimleri $\pm 2V$ aralığında, 0,002 Voltluk adımlarla alındı. Norde engel yüksekliği ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metot önermiştir. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.X)$$

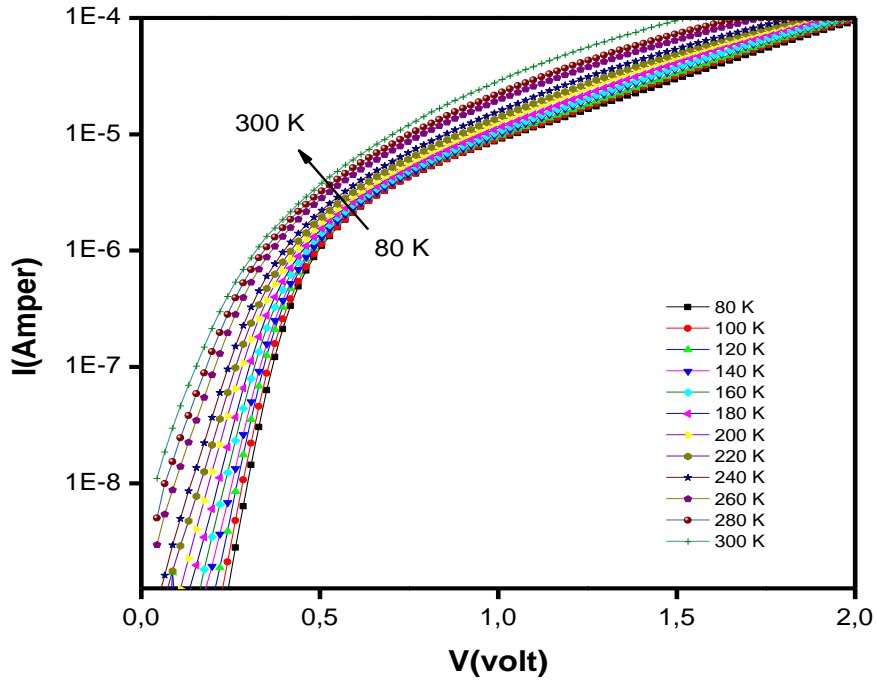
şeklinde yazılmaktadır (Karataş 2007). Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tam sayıdır ve $I(V)$ ifadesi I - V eğiminden elde edilen akım değeridir. Bu metotta engel yüksekliği

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.Y)$$

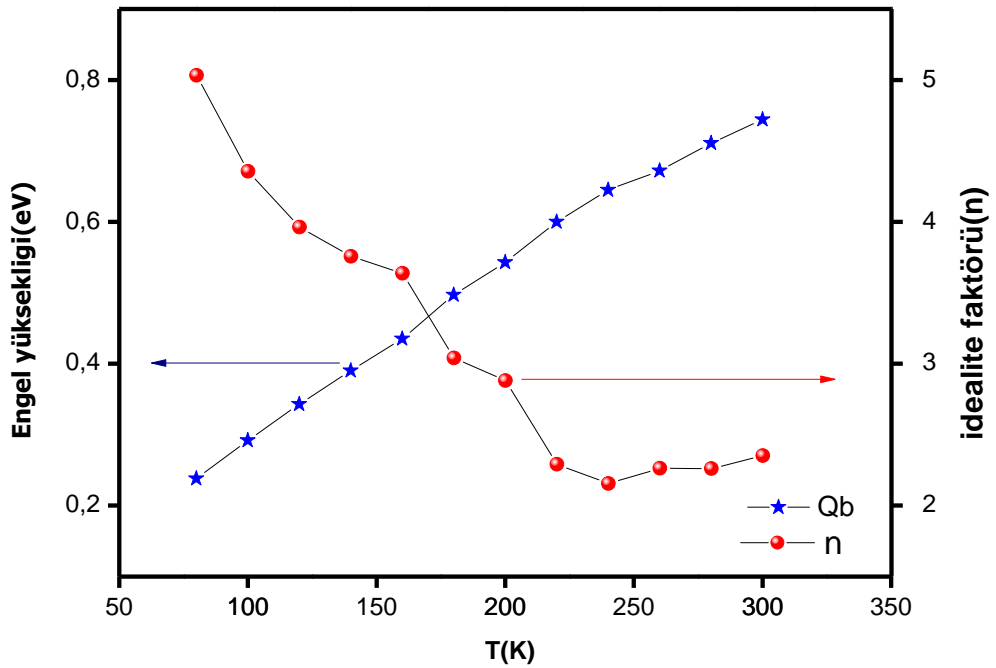
olarak verilir. Burada $F(V_0)$ ifadesi F - V grafiğinin minimum $F(V)$ değeridir V_0 ise bu değere karşılık gelen gerilim değeridir. Şekil 4.3 tüm sıcaklıklara $F(V)$ - V grafiklerini vermektedir. Norde metodunda seri direnç değerleri

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI} \quad (4.G)$$

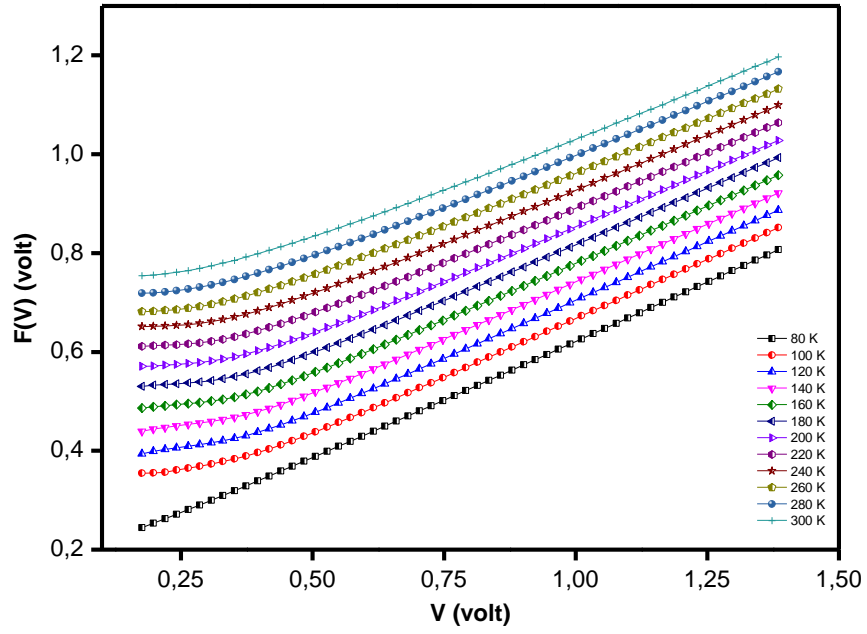
Formülü ile bulunur. Burada I değeri V_0 değerine karşılık gelen akım değeridir. Tablo 4.1'de tüm diyotların Termoiyonik ve Norde fonksiyonları tarafından elde edilen idealite faktörleri, engel yüksekliği ve seri direnç sonuçlarını da göstermektedir



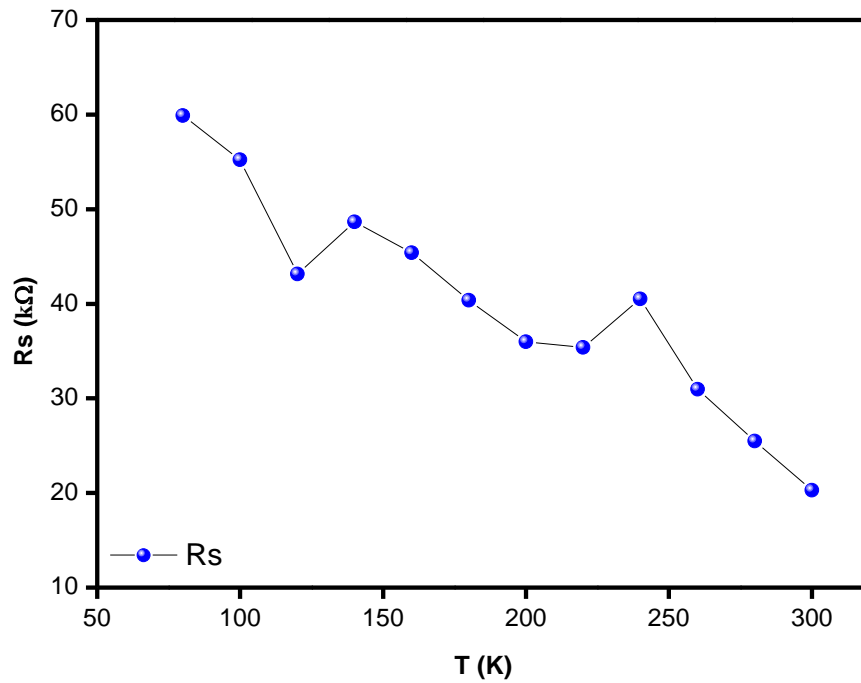
Şekil 4.3. Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait sıcaklığa bağlı I 'nın V 'ye karşı değişimi



Şekil.4.4. Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait sıcaklığa bağlı I - V grafiğinden elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliklerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 4.5. Al/Alpc/p-Si diyotuna ait sıcaklığa bağlı F - V grafiği



Şekil 4.6. Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait Norde fonksiyonlarından elde edilen seri direncin sıcaklıkla değişimi

Çizelge 4.1. Al/Alpc/p-Si/Al diyoduna ait sıcaklığa bağlı I 'nın V 'ye karşı değişiminden elde edilen temel diyot parametreleri

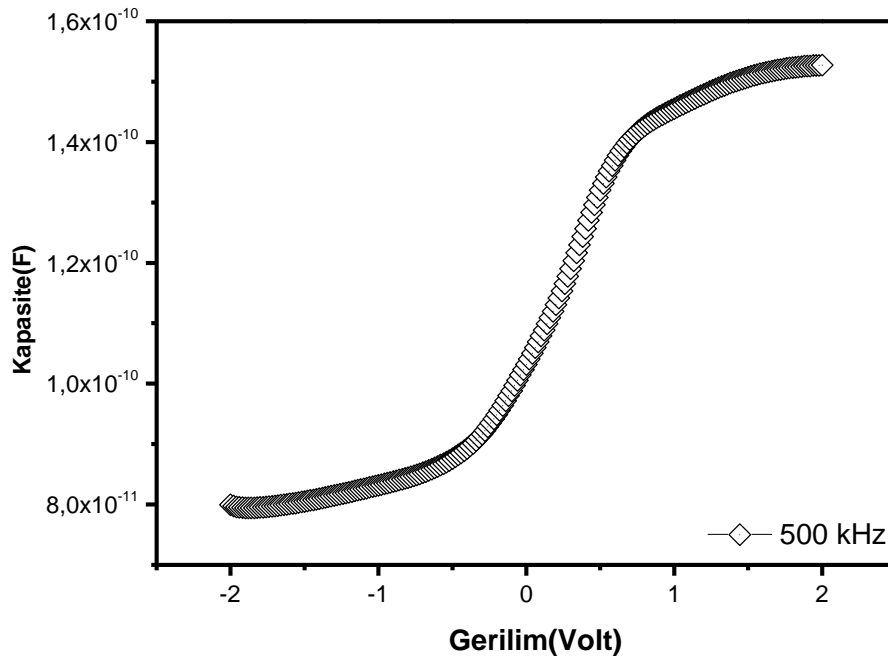
Sıcaklık (K)	I-V			$F(V)$-V	
	n	$\Phi b(\text{eV})$	I_0 (A)	$\Phi b(\text{eV})$	$R_s(\text{k}\Omega)$
80	5.032	0.238	1.62×10^{-12}	0.286	59.88
100	4.355	0.292	4.80×10^{-12}	0.343	55.21
120	3.962	0.343	1.50×10^{-11}	0.415	43.134
140	3.756	0.39	4.50×10^{-11}	0.461	48.64
160	3.636	0.435	1.30×10^{-10}	0.5	45.39
180	3.039	0.497	1.02×10^{-10}	0.54	40.38
200	2.88	0.543	2.08×10^{-10}	0.615	35.97
220	2.29	0.6	2.30×10^{-10}	0.654	35.37
240	2.153	0.645	4.15×10^{-10}	0.692	40.52
260	2.262	0.672	1.60×10^{-09}	0.717	30.97
280	2.259	0.711	3.20×10^{-09}	0.747	25.5
300	2.349	0.744	7.40×10^{-09}	0.783	20.29

Çizelge 4.1. de görüldüğü gibi (I - V) ölçümleri yardımıyla elde edilen engel yüksekliklerinin değerleri ile norde fobksiyonu kullanılarak elde edilen engel yükseklikleri değerleri arasında uyum olduğu görülmekte ve engel yüksekliği değerleri sıcaklık arttıkça artmaktadır. Şekil 4.5. de Norde Fonksiyonları kullanılarak elde edilen diyotların bir başka parametresi olan Seri direnç (R_s) değerleri ile sıcaklık arasındaki ilişki görülmektedir. Değişimlerden de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça seri direnç değeri azalmaktadır. Bu durum sıcaklık arttıkça diyottan daha fazla akım geçmesi ile açıklanabilir.

Şekil 4.2. Al/Alpc/p-Si/Al diyotunun sıcaklığa bağlı $I-V$ grafiğinden elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliklerinin sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Grafikten görüldüğü gibi idealite faktörü artan sıcaklıkla azalmakta iken engel yüksekliği artan sıcaklıkla artmaktadır.

4.4. Kapasite–Gerilim Ölçümleri

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 4.4. Al/Alpc/p-Si diyotuna ait oda sıcaklığında (300K) 500 kHz frekansında -2 ile 2 volt arasında $C-V$ grafiğini göstermektedir. Grafikten de çok net bir şekilde anlaşılacağı gibi diyotun ters beslemde kapasite değerleri daha küçük değerler olarak gözlenirken düz beslemde gerilim arttıkça kapasitenin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Al/Alpc/p-Si diyotunun 500 kHz frekansındaki $C-V$ eğrisi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Metal-yarıiletken (MY) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MYI) Schottky diyotların elektriksel özelliklerinin geniş bir sıcaklık aralığında incelenmesi bize bu yapıların akım-iletim mekanizmaları ve fiziksel davranışları hakkında çok önemli bilgiler verir. Son yıllarda, metal-yalıtkan-yarıiletken (MYI) Schottky diyotlarla ilgili literatürde birçok deneysel sonuç bulunmaktadır. Ancak bu yapılar üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka kalınlığı, yapının seri direnci ve arayüzey durumlarının, I-V, C-V ve G/w-V karakteristikleri üzerine etkileri halen tam açıklığa kavuşturulamamıştır (Yıldız 2008). Özellikle yalıtkan tabakanın homojensizliği/düzensizliği, metal ile yarıiletken arasındaki potansiyel engelin oluşumu, arayüzey durumların ve akım-iletim mekanizmaları hakkındaki çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, hazırlanan Al/Alpc/p-Si Schottky diyotunun I-V karakteristiği 80-300 K sıcaklık aralığında C-V karakteristiği ise oda sıcaklığında (300K) incelendi. Oluşturulan Al/Alpc/p-Si Schottky diyotun, farklı sıcaklıklardaki $\ln(I)$ -V karakteristiklerinin (Şekil 4.3), orta voltaj bölgesinde (0,1 V-0,6 V) doğrusal olduğu, yüksek voltaj bölgesinde ise doğrusallığın bozularak bükülmelerin olduğu görüldü. Yüksek voltajlarda görülen bu bükülme seri dirençten (R_s) kaynaklanmaktadır. R_s , I-V karakteristiklerinde doğrusal bölgenin küçülmesine ve dolayısıyla doğrusal bölgeden hesaplanan temel elektriksel parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 4.1'den görüldüğü gibi $\ln(I)$ -V karakteristikleri tüm sıcaklıklar için doğrultma özelliği göstermektedir. Al/Alpc/p-Si Schottky diyotun I-V karakteristiğinden, n, I_0 , R_s ve Φ_{B0} gibi temel elektriksel parametreler hesaplandı ve her bir sıcaklık için bulunan değerler Çizelge 4.1'de verildi.

Deneysel sonuçlardan, artan sıcaklıkla n'nin azaldığı ve Φ_{B0} 'ın ise artmakta olduğu gözlemlendi. n'nin artan sıcaklıkla 5,032-2,349 aralığında değişen değerleri, akım-iletim mekanizmasında termiyonik emisyonun sapma olduğunun bir göstergesidir. Aynı zamanda her bir sıcaklık için n'nin 1'den büyük çıkması metal-yarıiletken arasındaki yalıtkan bir tabaka ve Si/Alpc arayüzeyinde lokalize olmuş arayüzey durumlarından kaynaklanmaktadır. n'nin sıcaklıkla değişimi özellikle düşük sıcaklıklarda oldukça belirgindir. Düşük sıcaklıklardaki bu değişim, yalıtkan arayüzeyi

ile yarıiletken arasındaki arayüzey durumları boyunca rekombinasyon ve Metal-Yarıiletken arasında oluşan potansiyel engelinin homojensizliğinden kaynaklanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yeterli termal enerjiye sahip olamayan taşıyıcılar, Metal Yarıiletken arayüzeyindeki düşük potansiyel engelleri üzerinden geçerek akımı artırır ve dolayısıyla n 'nin artmasına yol açar (Yıldız 2008).

Al/Alpc/p-Si diyodumuzun sıcaklığa göre değişen seri dirençlerini belirlemek için Norde tarafından geliştirilmiş fonksiyon kullanılmıştır (Norde 1979).Norde fonksiyonları yardımıyla akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden Schottky diyotun $F(V)$ -V grafiği çizildi. $F(V)$ -V grafiğinden yararlanarak seri direnç değerleri hesaplandı ve sıcaklığa bağlı olarak çizelge 4.1.'de ve şekil 4.5.'de verildi. Artan sıcaklıkla seri direnç değerlerinde (R_s) azalma görüldü. Artan sıcaklıkla seri direnç (R_s) değerlerinin azalması yüksek sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun artması ve diyotun idealite faktörünün düşmesinden kaynaklandığı sonucuna varıldı.

Daha sonra oluşturulan yapının C - V ölçümü oda sıcaklığında (300 K) 500 kHz frekansında alınmış ve diyotun kapasite değerinin düz beslemde gerilim artarken arttığı görülmüştür. Ters beslemde ise daha düşük değerlerde kapasite gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında Al/Alpc/p-Si Schottky diyotlarının sıcaklığa bağlı davranışı incelendi. Buradan alınan sonuçlar, üretilen bu tip bir yapının elektronik devre elemanı olarak kullanılması aşamasında, kullanılabilirliğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

6. KAYNAKLAR

Aksoy Seval, Çağlar Yasemin 2012. Effect of ambient temperature on electrical properties of nanostructure n-ZnO/p-Si heterojunction diode. *Superlattices and Microstructures* 51 (2012) 613–625

Andrews, J. M., 1974. The role of metal semiconductor interface in silicon integrated circuit technology, *J. Vac. Sci. Technol.* 11, 972-984.

Aydın, M.E., Güllü, Ö. ve Yıldırım, N., 2007. Temperature dependence of current-Voltage characteristics of Sn/p-Si Schottky contacts. *Physica B.*, 403: 137-138

Aydın M.E., Yakuphanoglu F. Molecular control over Ag/p-Si diode by organic layer *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 68 (2007) 1770–1773

Bethe, H.A., 1942. Theory of the Boundary Layer of Crystal Rectifiers. MIT. Radiation Lab. Rep. 43, 12.

Brattain, W.H., Bardeen J. 1948. Nature of The Forward Current in Germanium Point Contacts. *Physical Rev.*,74: 231–232.

Çakar, M., Onganer Y., Türüt A., 2002, the nonpolymeric organic compound (pyronineb)/p-type silicon/sn contact barrier devices, *synth. met.* 126 , 213

Camaioni, N., Casalbore-Miceli, G., Beggiato, G., Geri, A., 1999. Optimisation of the dark and photovoltaic properties of Schottky junctions between aluminium and conjugated polymers, *Synth. Met.*, 102, 869.

Chattopadhyay, P., Kumar, V. 1988. Experimental investigation of barrier height versus metal work function of metal – SiO₂– p Si (MIS) Schottky barrier diode in presence of inversion. *Solid–State Electronics*, 3: 143.

Gaffar, M.A.; El-Fadl, A.A.; Anooz, S.B.; 2003, Electron irradiation-induced effects on optical spectra of (NH₄)₂ZnCl₄:x Sr⁺² single crystals, *Crystal Resorce Technology*.

Gupta, R.K., Ghosh, K. And Kahol P.K., 2008. Fabrication and electrical characterization of Au/p-Si/STO/Au contact. *Current Applied Physics*.

Gupta R.K., Aydın M.E., Yakuphanoglu F. 2011. Photoconducting and electrical properties of Al/TIPS-pentacene/p-Si/Al hybrid diode for optical sensor applications Synthetic Metals 161. 2355– 2360.

Hiraki, A., Lugujo, E., Nicolet, M. A. and Mayer, J.W. 1971. Phys. Status Solidi, A7, 401.

Hiraki, A., Shuto, K., Kim, S., Kamamura, W. and Iwami, M., 1977. Room-temperature interfacial reaction in Au-semiconductor systems, Appl. Phys. Lett. 31, 611.

Jones FE, Daniels-Hafer C, Wood BP, Danner RG, Lonergan MC., 2001. Current transport at the p-InP vertical bar poly(pyrrole) interface, J. Appl. Phys., 90 (2): 1001-1010.

Karataş, Ş., Altındal, Ş., Türüt, A. ve Çakar M., 2006. Electrical transport characteristics of Sn/p-Si Schottky contacts revealed from I-V-T and C-V-T measurements. Physica B., 392:43-50.

Karataş, Ş., 2005. Comparison of electrical parameters of Zn/p-Si and Sn/p-Si Schottky barrier diodes. Solid State Communications, 135:500-504.

Karataş Ş.; Altındal, Ş.; Türüt, A.; Çakar, M. Physica B 2007, 392 (1–2) 43.

Karataş, Ş., Çakar, M., 2009. Temperature dependence of the interface states of the Sn/Rhodamine-101/p-Si Schottky structure. Synthetic Metals, 159: 347-351.

Kotaswara P.R., Reddy V.R., 2008. Effect of annealing temperature on electrical and structural properties of transparent indium tin oxide electrode on n-type GaN. Materials Chemistry and Physics, 114: 821-826.

Kwong, C. Y.; Djurić, A. B.; Lam, L. S. M.; Chan, W. K.; Organic Photovoltaics III, Zaky H. Kafafi, Editor, Proceedings of SPIE, Vol. 4801, 2003

Lung-Chien Chen, Chung-Chieh Wang, Chia-Bin Cheng(2009) Influence of dopant and polymeric matrix on Indium tin oxide/p-zincphthalocyanine/n-Si hybrid solar cells .Thin Solid Films 517 (2009) 1790–1793

Mc Caldin, J. O., 1974. J. Vac. Sci. Technol. 11, 990.

Meyer, R. J. Introduction to Classical and Modern Optics. Prentice-Hall, 1972.

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

Neamen, D. A., 1992. Semiconductor Physics and Devices; Basic Principles, Irwin, Inc., 144.

Neamen, D. A. 2003. Semiconductor Physics And Devices Basic Principles, Third. Edition. McGraw Hill, New York.

H. Norde J. Appl. Phys., 50 (1979), p. 5052

Osvald, J., (2008) Temperature dependence of barrier height parameters of inhomogeneous Schottky diodes. Microelectronic Engineering, 86: 117-120.

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

Saxena, V. and Malhotra, B.D., 2003. Prospects of conducting polymers in molecular electronics Curr. Appl. Phys., 3, 293-305.

Saxena, V. and Prakash R., 2000. Effect of steric hinderance on junction properties of poly (3-alkylthiophene)s based schottky diodes Polymer Bulletin, 45, 267.

Schottky, W., 1938. The development of silicon crystal rectifiers for microwave radar receivers, Z. Phys. 113, 367-414.

Schroeder, D., Avellan, A., 2003. Physical explanation of the barrier height temperature dependence in metal-oxide-semiconductor leakage current models, Appl. Phys. Lett., 82, (25), 4510-4512.

Sharma G.D. 1995 Electrical and photoelectrical properties of Schottky barrier devices using the chloro aluminium phthalocyanines. Synthetic Metals 74. 227-234

Shirakawa, H., MacDiarmid, A.G., Heeger, A.J., 2000 The Royal Swedish Academy of Sciences.

Yasuhiko S., 2000. Organic materials for electronic and optoelectronic devices, J. Mater. Chem., 10, 1.

Yıldız D. E. Doktora Tezi , 2008 Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

J. Bardeen, Surface States and Rectification at a Metal-Semiconductor Contact,Phys. Rev., 71, 717 (1947)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Şerif RÜZGAR
Doğum Yeri :Gercüş/BATMAN
Doğum Tarihi :05.01.1984
Medeni Hali :Bekar
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans :Dicle Üni. Fen Edebiyat Fak. Fizik Bölümü 2008
Yüksek Lisans :Dicle Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Araştırma Görevlisi Batman Üniversitesi 2011–2012