

**N TİPİ SİLİSYUM TABANLI ALTLIK ÜZERİNE PYRENE
(C₁₆H₁₀) MADDESİNİN KAPLANARAK ELDE EDİLEN
YAPILARIN AKIM İLETİM MEKANİZMALARI**

Mesut TURMUŞ

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç. Dr. İsmail ARSEL

2014

Her hakkı saklıdır

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**N TİPİ SİLİSYUM TABANLI ALTLIK ÜZERİNE
PYRENE (C₁₆H₁₀) MADDESİNİN KAPLANARAK
ELDE EDİLEN YAPILARIN AKIM İLETİM
MEKANİZMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut TURMUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. İsmail ARSEL

Temmuz 2014

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**N TİPİ SİLİSYUM TABANLI ALTLIK ÜZERİNE PYRENE
(C₁₆H₁₀) MADDESİNİN KAPLANARAK ELDE EDİLEN
YAPILARIN AKIM İLETİM MEKANİZMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut TURMUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 11.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
İsmail ARSEL
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Ömer GÜLLÜ
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
Beşir DAĞ
Üye**

Yukarıdaki sonucu onaylarım

**Doç. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Schottky diyotlar, teknolojik alanda sürekli olarak ihtiyaç duyulan bir aygıt olması nedeniyle, sürekli üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Bu teknolojik öneminden dolayı, Batman-Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au Schottky diyotun elektriksel parametreleri incelenmiştir.

Öncelikle bu tezi hazırlamamda en büyük paya sahip danışmanım Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında benden hiçbir zaman yardımını esirgemeyen Batman Üniversitesinden çok değerli hocam Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ'ye teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın deneysel aşamasında yardımını esirgemeyen Dicle Üniversitesinden çok değerli hocam Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında manevi desteğini esirgemeyen eşim Suna TÜRKER TURMUŞ'a ve yüksek lisanstan arkadaşım M. Faruk KARABAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince bilgisinden yararlandığım Bingöl ve Batman üniversitesindeki Fizik Bölümündeki hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez Batman Üniversitesi "2010 BKV 1285" nolu DPT projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Mesut TURMUŞ

Bingöl 2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. KURAMSAL TEMELLER	9
3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar Teorisi.....	9
3.1.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu (Schottky) Kontaklar.....	10
3.1.2. Metal n-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	12
3.1.3. Metal Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları.....	13
3.2. Termiyonik Emisyon Teorisi	15
3.3. Schottky(Dogrultucu) Diyotlarda Seri Direnç Etkisi.....	18
3.4. Schottky Engel Diyotların Kapasitesi	20
3.5. Organik Yarıiletkenler	21
3.5.1. Organik Yarıiletkenlerin Temel Özellikleri	22
3.5.2. Organik Yarıiletkenlerde Akım İletim Mekanizması	24
3.5.3. Organik Yarıiletken Aygıtlar	25
3.6. Chang-Cheung Fonksiyonları	25

3.7. Norde Fonksiyonları.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEM	27
4.1. Pyrene.....	27
4.2. Omik Kontaklar.....	28
4.3. Termal Buharlaştırma Yöntemi.....	31
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
5.1. Kristalin Temizlenmesi	35
5.2. Shottky Diyotun Hazırlanması	35
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
6.1. Shottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri	37
6.2. Fotoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi	39
6.3. Norde Fonksiyonu ile Engel Yüksekliği ve Seri Direnç Değerlerinin Bulunması	40
6.4. Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi	41
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan
Au	: Altın
A*	: Etkin Richardson sabiti
C	: Sığa
CH ₃ OH	: Metanol
C ₁₆ H ₁₀	: Pyrene
E _g	: Yarıiletken yasak enerji aralığı
E _c	: İletkenlik bant kenarı enerjisi
E _v	: Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E _f	: Fermi enerjisi
E _x	: Schottky bölgesindeki elektrik alan
E _a	: Aktivasyon enerjisi
ε ₀	: Boşluğun dielektrik geçirgenliği
ε _s	: Yarıiletken malzemenin dielektrik geçirgenliği
H ₂ O	: Su
HCL	: Hidroklorik asit
HF	: Hydrofluoric asit
h	: Planck sabiti
ħ	: İndirgenmiş Planck sabiti (h/2π)
I	: Akım
I ₀	: Doyma akımı
I _{sc}	: Kısa devre akımı
J _{sm}	: Yarıiletkenden metale doğru doyma akımı
J _{ms}	: Metalden yarıiletkene doğru doyma akımı
J ₀	: Ters besleme doyma akım yoğunluğu
J	: Net akım
π	: Pi sayısı

K	: Kelvin
k	: Boltzmann sabiti
m_e^*	: Elektron etkin kütlesi
N_2	: Azot gazı
N_d	: Verici (donor) atom yoğunluğu
N_a	: Alıcı (akseptör) atom yoğunluğu
N_c	: İletkenlik bandındaki etkin durumların yoğunluğu
n_0	: Elektron yoğunluğu
n_i	: Katkısız taşıyıcı konsantrasyonu
n	: İdealite faktörü
q	: Elektrik yükü
R_s	: Seri direnç
R_C	: Kontak direnci
Si	: Silisyum
T	: Mutlak sıcaklık
V	: Voltaj
V_a	: Uygulanan voltajı
V_{oc}	: Diyotun açık devre voltajı
V_t	: Termal voltaj
V_d	: Difüzyon potansiyeli
Φ_b	: Engel yüksekliği
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_e	: Etkin potansiyel engel yüksekliği
Φ_{bo}	: Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Ω	: Ohm
ρ	: Özdirenç
χ_s	: Elektron ilgisi
TE	: Termiyonik emisyon teorisi
TED	: Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi
TAE	: Termiyonik alan emisyon teorisi
AE	: Alan emisyonu
I-V	: Akım-Gerilim

C-V	: Sığa-Gerilim
MIS	: Metal/yalıtkan/yarıiletken
MS	: Metal/yarıiletken
OLED	: Organik ışık yayan diyot
OTFT	: Organik ince film transistörler
TFT	: İnce film transistör
HOMO	: En yüksek işgal edilen moleküler orbital seviyesi
LUMO	: En düşük işgal edilmemiş moleküler orbital seviyesi
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramları	10
Şekil 3.2. Kontakta sonra oluşan enerji-bant diyagramı	12
Şekil 3.3. $\Phi_m < \Phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı a) Kontakta önce b) Kontakta sonra c) Ters beslem altında d)Düz beslem altında	13
Şekil 3.4. Düz beslem altında beş temel iletim işlemi. (Sze 1981).....	14
Şekil 3.5. Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı	15
Şekil 3.6. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel azalması (Sze 1981).....	18
Şekil 3.7. Seri direncin, akım gerilim karakteristiğine etkisi.....	18
Şekil 4.1. Pyrene($C_{16}H_{10}$) bileşiğinin molekül yapısı.....	29
Şekil 4.2. Bir omik kontakta enerji bantları.....	29
Şekil 4.3. Bir metal ile aşırı katkılanmış silisyum arasındaki bir kontakta enerji bantları (omik kontak).....	29
Şekil 4.4. (a) Schottky kontakların ve (b) Omik kontakların akım-gerilim karakteristikleri.....	31
Şekil 4.5. Termal buharlaştırma(rezistans ile) sisteminin şematik gösterilişi.....	32
Şekil 4.6. Termal buharlaştırma cihazı.....	33
Şekil 4.7. Keithley 2400 sourcemeter ve güneş simülatörü.....	34
Şekil 5.1. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan termal buharlaştırma sisteminin blok diyagramı (Boy 2013).....	36
Şekil 5.2. Au/n-Si/Pyrene($C_{16}H_{10}$) /Au diyot yapısı.....	36
Şekil 5.3. Diyot yapımında kullanılan maske.....	36
Şekil 6.1. Au/n-Si/Pyrene($C_{16}H_{10}$) /Au diyotunun karanlık ve aydınlık ortamda I-V grafiği	39

Şekil 6.2. Au/n-Si/Pyrene(C ₁₆ H ₁₀) /Au diyotuna ait Norde fonksiyonlarından çizilen F(V)-V grafiği.....	41
Şekil 6.3. Au/n-Si/Pyrene(C ₁₆ H ₁₀) /Au diyotuna ait Cheung fonksiyonlarından çizilen dV/dln(I)-I ve H(I)-I grafiği.....	42
Şekil 6.4. Kapasite - Gerilim (C-V) grafiği.....	44
Şekil 6.5. C ⁻² - V grafiği.....	44

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Pyrene (C ₁₆ H ₁₀) Materyalinin Molekül Yapısı ve Özellikleri	28
Tablo 6.1. Oluşturulan Au/n-Si/Pyrene(C ₁₆ H ₁₀)/Au diyotunun Norde ve Cheung fonksiyonlarından hesaplanan elektriksel parametreleri	43
Tablo 6.2. Oluşturulan Au/n-Si/Pyrene(C ₁₆ H ₁₀)/Au diyotunun lnI-V grafiğinden elde edilen elektriksel parametreleri	43
Tablo 6.3. Au/n-Si/Pyrene(C ₁₆ H ₁₀)/Au diyotunun C ⁻² -V grafiğinden hesaplanan kapasite parametreleri	45

N TİPİ SİLİSYUM TABANLI ALTLIK ÜZERİNE PYRENE(C₁₆H₁₀) MADDESİNİN KAPLANARAK ELDE EDİLEN YAPILARIN AKIM İLETİM MEKANİZMALARI

ÖZET

Bu tez çalışmasında organik pyrene ara yüzeyli Au/n-Si yarıiletken Schottky diyotun elektriksel karakterizasyonu sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama aşamasında öncelikle (100) doğrultusunda büyütülmüş n-Si tabakaya, Au omik kontak yapılmıştır. Daha sonra vakumda buharlaştırma yöntemiyle, n-Si tabakanın diğer yüzeyi pyrene ile kaplanmış ve bunun üzerine Au doğrultucu Schottky kontakları vakumda buharlaştırma yöntemiyle oluşturulmuştur. I-V karakteristiklerinden idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç gibi diyota ait bazı parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler, Cheung-Cheung ve Norde yöntemiyle hesaplanmış ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca pyrene ara yüzeyli Schottky diyotun ara yüzey durumlarını belirlemek için oda sıcaklığında sığa-gerilim C-V karakteristikleri de incelenmiştir. Bu ölçümlerden, taşıyıcı yoğunluğu, engel yüksekliği gibi diyota ait bazı elektriksel parametreler belirlenmiştir. I-V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği ile C-V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Sonuçta her iki yöntem ile belirlenen değerlerin uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik yarıiletkenler, Metal-yarıiletken kontaklar, Shottky kontak, Elektriksel özellikler, Pyrene,

THE CURRENT TRANSPORT MECHANISMS OF DIODE STRUCTURES FABRICATED BY COATING PYRENE (C₁₆H₁₀) FILM ON N-TYPE SILICON WAFER

ABSTRACT

In this thesis, electrical characterization of an Au/n-Si semiconductor Schottky diode with organic pyrene interlayer has been systematically carried out. At sample fabrication stage, first, the ohmic contact has been performed on one surface of n-Si wafer grown in direction of (100). Later, the other surface of the wafer has been coated with pyrene via thermal evaporation method and then the Schottky contacts have been constituted on the organic material via thermal evaporation method. By using the I-V characteristics, the idealite factor, barrier height and some other diode parameters have been calculated. These parameters have also been calculated by means of Cheung-Cheung and Norde methods and have been compared with each other. Besides, to determine the interface states of Schottky diode with pyrene interlayer, capacitance-voltage C-V characteristics have been investigated at room temperature. From these measurements, the concentration of carriers, barrier height and some other diode parameters have been obtained. The barrier heights of diode have been compared with the results obtained by I-V and C-V methods. It has been seen that there is a good agreement with each other.

Keywords: Organic semiconductors, Metal-semiconductor contacts, Schottky contacts, Electrical properties, Pyrene

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken doğrultucu sistemler üzerindeki ilk sistematik araştırma Braun tarafından yapılmıştır. Braun, 1874'de toplam direncin uygulanan gerilim polaritesine ve yüzey durumlarına bağımlı olduğunu kaydetmiştir (Braun 1874).

Değişik biçimlerdeki nokta-kontak doğrultucuların pratik uygulamaları, 1900'lü yılların başlarında yapılmıştır (Bose 1904).

1931 yılında Wilson, katıların bant teorisine dayalı olarak yarıiletkenlerin akım iletim teorisini formüle etti (Wilson 1931).

Bu teori, daha sonra, metal-yarıiletken kontaklara uygulandı. 1938'de Schottky, metal yarıiletken yapıdaki potansiyel engelin, kimyasal bir tabaka olmayıp, sadece yarıiletken içerisindeki kararlı uzay yüklerinden kaynaklandığını ileri sürdü (Schottky 1938).

Bu düşünceden doğan model Schottky engeli olarak bilinir. 1938'de Mott, Mott engeli olarak bilinen, yarıiletken kontaklar için teorik bir model geliştirdi (Mott 1938).

Organik moleküller ve organik polimerler temelli güneş pilleri yapımına büyük çaba harcanmıştır.

Hafif kütleleri potansiyel olarak düşük maliyette olmaları, elektronik bant yapılarının kimyasal sentez yoluyla ayarlanabilir olması ve basit fabrikasyon teknikleri bu çalışmaların sebeplerinden birkaçıdır (Pauling 1962).

1957 yılında Henisch tarafından, doğrultucu metal-yarıiletken kontakların temel teorisi ve tarihi gelişimi, "Doğrultucu Yarıiletken Kontaklar" adlı bir kitapta toplandı (Henisch 1984).Schotty (doğrultucu) metal-yarıiletken kontaklar, elektronik ve optoelektronik alanlarında devamlı kullanılmaktadır. Schottky kontaklar güneş pili, metal-yarıiletken

alan etkili transistörler, lazer diyotlar, foto diyotlar, devrelerin anahtarlama hızını artırma, mikro dalga devre elemanları gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

Metal-yarıiletken kontakların elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasında kullanılan ara yüzey malzemesinin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Metal-yarıiletken kontakların ara yüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü gibi diyota ait birçok özelliği değiştireceğinden kullanılan malzemenin özellikleri önemlidir (Sze 1981; Rhoderick 1988).

1957 yılında Henisch tarafından, doğrultucu metal-yarıiletken kontakların temel teorisi ve tarihi gelişimi, "Doğrultucu Yarıiletken Kontaklar" adlı bir kitapta toplandı (Henisch 1984).

Organik yarıiletken malzemelere geleceğin malzemesi gözüyle bakılmaktadır. Bilgi ve teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen elektroniğin temel malzeme taşı olan silisyuma alternatif yeni malzeme arayışları, dikkatleri organik yarıiletken malzemeler üzerinde toplamış durumdadır (Aktaş 2006).

Günümüzde birçok araştırmacı MS yapıların elektriksel özelliklerini değiştirmek için ara yüzey malzemesi olarak organik yarıiletken malzeme kullanımı üzerine çalışmalar yapmaktadır (Yakuphanoglu 2010).

Organik yarıiletkenlerin spin kaplama ve baskı gibi ucuz maliyetli ve bir defada fazla üretim yapılabilen kaplama teknikleriyle üretilebilmeleri, bükülebilir olmaları, yüksek zarar eşiği ve yüksek nonlineerlik gibi daha birçok özelliğe sahip olmaları araştırmacıları organik film üzerinde çalışmalarında yoğunlaştırmıştır (Güllü vd 2010).

Organik molekülleri, farklı bir organik molekül veya inorganik madde ile başka formülasyonlarda birleştirmek ve böylece çok farklı yapı ve özelliklere sahip elektriksel ve optiksel aygıtlar üretmek mümkündür (Ocak 2010).

Silisyum tabanlı organik-inorganik diyotların elektriksel karakterizasyonu incelendiğinde en iyi değerler Al/p-Si/n-CdO/Au ve Al/n-Si/p-CuPc/Au diyotlarında görülmüştür. Elde

edilen değerlere göre bu diyotların foto diyot olarak kullanılabilineceği düşünülmektedir (Oral 2012).

Perylene-diimide organik yarıiletkeni ile modifiye edilmiş diyotun elektriksel karakterisasyonu yapılmış diyot parametreleri elde edilmiştir. Bu ölçümlerden diyotun ideal davranış sergilediği görülmektedir. Bundan sonraki aşamalarda, organik yarıiletken malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişimler incelenebilir. Ayrıca, bu organik malzeme ile farklı kontak malzemelerinin kullanıldığı diyot yapılar incelenebilir. İncelenebilecek bir diğer yapı ise, perylene-diimide yarıiletkeninin, farklı alt taş yarıiletken malzemeler ile kullanılması olabilir (Boy 2013).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Silisyum üzerine yapılan metal-yarıiletken kontak çalışmaları ilk olarak vakumda yarılmış yüzeyler üzerine uygulanmıştır. Bu türden yüzeyler üzerinde ilk kapsamlı çalışma 1963 yılında yapılmış, 10^{-6} Torr basınçta yarılmış silisyum yüzeyi metal buharlaştırmadan önce birkaç saniye 10^{-4} Torr basınçtaki oksijene maruz bırakıldıktan sonra başka kaynaklardan gelebilecek bulaşmayı önleyecek kadar hızlı şekilde Pt, Pd, Ni, Au, Cu, Ag ve Al metalleri buharlaştırılmış ve engel yükseklikleri kapasite-gerilim ölçümlerinden belirlenmiştir. Pt, Pd, Ni ve Au ile yapılan diyotlarda oksijene maruz kalmanın engel yüksekliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı, ancak Cu, Ag ve Al ile yapılan diyotlarda engel yüksekliğinin 0,1 eV kadar azaldığı bulunmuştur (Archer and Atalla 1963).

Çok yüksek vakumda 10^{-8} Torr yarılmış ve kimyasal metotlarla hazırlanmış silisyum yüzeyleri için, engel yüksekliğinin yüzeyin hazırlanma şartlarına bağlılığını araştırmışlardır. Kapasite-gerilim ölçümlerinden vakumda yarılmış yüzeyler için elde ettikleri engel yüksekliklerinin Archer ve Atalla'nın sonuçları ile çok iyi uyum içinde olduğunu, Au ve Ni için vakumda yarılmış ve kimyasal temizlenmiş yüzeylerin engel yükseklikleri arasında fark olmadığını, ancak Cu, Ag ve Al için kimyasal temizlenmiş yüzey durumundaki engel yüksekliklerinin daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Kimyasal hazırlanmış yüzeyler üzerinde üretilen diyotların engel yüksekliklerinde yaslanma ile yaklaşık 0,2 eV'luk bir değişme olduğunu gözlemişlerdir (Turner and Rhoderick 1968).

Schottky engel diyotları gibi cihazlar için uygulamada akım-gerilim karakteristiklerinin ideal davranıştan sapmasına sebep olabilecek en önemli iki sebep ara yüzey tabakasının varlığı ve seri direnç etkisi olarak bildirilmiştir (Ziel 1968).

Düz beslem I-V karakteristiklerinden elde edilen idealite faktörünün sayısal değerine bağlı olarak, metalle ve yarıiletkenle dengede olan ara yüzey durumlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir (Card and Rhoderick 1971). Vakumda yarılmış n-tipi Silisyum üzerine düşük is fonksiyonuna sahip Mg, Ca, K ve Na metalleriyle ürettikleri Schottky diyot yapılarını incelediler. Akım-gerilim ölçümlerinden bu metallerle üretilen diyotların engel yüksekliklerinin çok düşük ve 0.40-0.85 eV aralığında iki grup halinde; birinci grubun 0.45 eV, ikinci grubun ise 0.70 eV civarında olduğunu buldular (Crowel et al 1965; Szydlo and Poirier 1973).

5×10^{-11} Torr vakumda yarılmış silisyum yüzeyleri üzerine oluşturdukları Schottky diyotların engel yüksekliklerini akım-gerilim, kapasite-gerilim ve fotoelektrik metotlarla incelediler. Her üç metottan bulunan engel yükseklikleri arasında ± 0.01 eV fark olduğunu gözlemlediler (Thanailakis 1974, 1975; Thanailakis and Rasul 1976).

Ultra-yüksek vakumda yarılmış silisyum kristali üzerine birkaç farklı metal ile üretilmiş Schottky diyotların engel yüksekliklerini ölçtüler (Van Otterloo and De Groot 1976; Van Otterloo and Gerritsen 1978).

Temiz ve oksitlenmiş silisyum yüzeylerine Au ve Ag ile yapılan diyotlarda ara yüzeydeki kirliliklerin etkisini araştırmışlar, ara yüzey kirliliklerinin metal ile yarıiletken arasındaki yapışmanın mekanik şiddetini azalttığını ve akım-gerilim ile kapasite-gerilim ölçümlerinden bulunan engel yükseklikleri arasındaki farkın azalmasına sebep olduklarını bildirmişlerdir. Ayrıca, Au ve Ag için engel yüksekliklerinin yaslanmayla arttığını bulmuşlardır (Varma et al 1977).

Oksitlenmiş silisyum yüzeyleri üzerinde Au ve Cu ile yapılmış diyotlarda yaslanma etkisini incelemiş ve Cu ile yapılan kontaklar için yaslanmayla engel yüksekliğinin arttığını ve sonunda engel yüksekliği değerinin temiz yüzeyler üzerindeki Cu kontak için bulunan değere vardığını bulmuşlardır (Mostram 1979).

İdeal bir Schottky diyotun seri direncinin hesaplanması için minimum bir noktadan geçen gerilime bağlı bir $F(V)$ fonksiyonu tanımlanmış, fonksiyonun minimum noktası yardımıyla seri direnç ve engel yüksekliğinin bulunmasını sağlayan bir metot geliştirmiştir (Norde 1979).

N ve p-tipi yarıiletken Schottky diyotların yüzey yükünü ve ara yüzeyde düşen gerilimi göz önünde bulundurarak, Cowley ve Sze'nin ara yüzey tabaka teorisini geliştirmiş, sabitlemiş pozitif yüzey yük artışının potansiyel engelini düşürdüğünü ve ara yüzey tabakasında düşen geriliminde doğru besleme I-V karakteristiklerinden bulunan idealite faktörünü arttırdığını bulmuşlardır (Wu 1980).

İdeal olmayan Schottky (MIS) diyotların akım-gerilim ve kapasite-gerilim karakteristiklerini inceleyip, engel yüksekliği ile oksit tabakasının kalınlığı arasındaki ilişkinin Cowley ve Sze tarafından 1965 yılında ileri sürülen yüzey halleri ve engel yüksekliği modeline uyduğunu bulmuşlardır (Chattopadhyay and Daw 1986).

Düz beslem akım-gerilim karakteristiklerinin doğrusal fonksiyonlar halinde düzenlenmesiyle Schottky diyot parametrelerinin belirlenebileceğini gösteren yeni bir metot bulmuşlardır. Bu metodun doğruluğu Bohlin (1986) tarafından deneysel verilerle ispatlanmıştır (Chaung and Cheung 1986).

Al/n-Si ve Al/p-Si ara yüzey tabakalı ve ara yüzey tabakasız Schottky diyotlarda ara yüzey hallerini ve ara yüzeydeki sabit yükleri dikkate alarak I-V ve C-V karakteristiklerinden, engel yüksekliği, idealite faktörü ve ara yüzey hal yoğunluklarını incelemişlerdir (Türüt vd 1992).

Au/n-GaAs Schottky diyotların I-V karakteristiklerinden, ara yüzey tabakası boyunca gerilim düşmesini de dikkate alarak, Cheung fonksiyonları yardımı ile seri direnç etkisini ve engel yüksekliğini hesaplamışlar, ara yüzey hal yoğunluğunun ara yüzey hallerinin enerji dağılımıyla değişimini incelemişlerdir (Sağlam vd 1996).

Yarıiletken eklem boyunca taşıyıcıların değiş tokuşunu analiz ederek, ara yüzey hal yoğunluğunun belirlenmesi için bir bağıntı elde etmişlerdir. Bu bağıntıya bağlı olarak, idealite faktörü için düz beslem durumunda tüm beslem üzerinde geçerli analitik bir ifade bulmuşlardır (Gomila and Rubi 1997).

Au/n-Si Schottky diyotlarda, kontakten önce yüzeyde oluşan doğal oksit tabakasının diyot karakteristikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Omik kontakten sonra numuneyi

parçalara bölerek, farklı sürelerde temiz oda havasına maruz bırakılmış Schottky diyotlar üretip, bu diyotların engel yüksekliklerini havaya maruz kalma süresi bakımından karşılaştırmışlardır (Çetinkara vd 1999).

Ara yüzey tabakalı ve ara yüzey tabakasız Sn/n-Si Schottky diyot yapılarının I-V karakteristiklerini incelemişlerdir. idealite faktörünün uygulanan gerilimle ve etkin engel yüksekliğinin de idealite faktörüyle değişimini teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır (Akkılıç vd 2003).

Ara yüzeyli ve ara yüzeyli Pb/p-Si Schottky diyotların düz beslem I-V grafiklerinden idealite faktörü, seri direnç ve engel yüksekliğinin uygulanan gerilimle, ara yüzey hal yoğunluğunun ara yüzey hal enerjisi ile değişimini incelemişlerdir (Aydın vd 2004).

Bu çalışmada pi (π) bağları açısından zengin yeni sentezlenmiş bir organometal Mn kompleksinin n-Si üzerine ince filminin oluşturulması ve Ag, Al, Au, Cr, Cu, Ga, Pb ve Sn metallerinin kompleks n-Si yapı üzerine buharlaştırılması ile metal/organometal kompleks/n-Si organik inorganik yapılar elde edilmiş. Elde edilen yapıların hepsinin doğrultucu kontak özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir (Ocak 2010).

Vakumda termal buharlaştırma yöntemiyle Cu/C₆₀/Al diyotunu üretmişlerdir. C₆₀ kullanılmasının sebebi olarak, bu organik materyalin kararlı bir elektron akseptörü olmasını ve yüksek taşıyıcı mobilitesine sahip olmasını göstermişlerdir. C₆₀'ın yüksek mobilitesi sayesinde diyotun, megahertz mertebesindeki frekanslara tepki verdiğini belirtmişlerdir. Bunun yüksek performanslı organik elektronik aygıt üretimine zemin hazırlayabildiğini rapor etmişlerdir (Ma et al 2004).

Vakumda buharlaştırma yöntemiyle ITO/CuPc/Al diyotunu üretip, diyotun elektriksel karakterizasyonunu yapmışlardır. 100K–308K sıcaklıkları arasında karanlıkta yaptıkları I-V ölçümlerinden ITO/CuPc/Al yapısının klasik diyot davranışı sergilemediğini görmüşlerdir (Reis et al 2004).

Bu çalışmada silisyum tabanlı organik- inorganik diyotların elektriksel karakterizasyonu incelenmiş ve p-Si ve n-Si alt taşlar üzerine organik/inorganik (CuPc, C₆₀, ZnO, CdO)

yarıiletken filmleri üretilmiştir. Diyotların idealite faktörleri yarı-logaritmik I-V grafiklerinden elde edilmiştir. Grafiğin ileri besleminin lineer bölgesinden eğim alınarak hesaplanan idealite faktörü değerlerinin hepsi 1'den büyük çıkmıştır. Tüm diyotların sıcaklığa bağlı I-V karakterizasyonları yapılmıştır. Sıcaklık artışıyla birlikte diyotların idealite faktörü değerlerinin düştüğü görülmüştür (Oral 2012).

Bu çalışmada, Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotların elektriksel karakterizasyonu sıcaklığa bağlı olarak ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Bu Schottky diyot numunelerinin, hazırlanmasında (100) doğrultuda büyütülmüş, yaklaşık olarak 500 µm kalınlığında ve 1-20 -cm özdirence sahip Tellür katkılı n-tipi GaAs (n-GaAs) kristali kullanılmıştır. Hazırlanan bu Ag/PDI/n-GaAs organik ara yüzeyli Schottky diyotların, akım-gerilim I-V karakteristikleri 75 –350 K aralığında ve sığa-gerilim C-V karakteristikleri ise oda sıcaklığında ve 1 Mhz frekansta incelendi. Burada Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotunun artan sıcaklıkla daha iyi bir doğrultucu özellik gösterdiği görülmüştür. Böylece akımın, sıcaklıkla üstel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca I-V karakteristiklerinden hesaplanan idealite faktörü değerleri sıcaklık artışıyla 1'e yaklaşmakta olup yaklaşık ideal diyot davranışı göstermektedir (Boy 2013).

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar Teorisi

Shottky diyotların genel yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için iletken ve yarıiletken' nin iletkenlik özellikleri iyi bilinmelidir. Yarıiletken kristal ile kontak yapılacak olan malzeme birbirine en az dirençle temas ettirilmelidir. İyi bir kontak yapı oluşturabilmek için kontak yapılacak malzemelerin yüzeyleri pürüzsüz ve temiz olmalıdır. Metal ve yarıiletken maddeler kontak bir yapı oluşturduğunda her iki maddeden birbirine doğru yük akışı meydana gelir ve bu yük akışı her iki maddenin fermi enerji seviyeleri eşitleninceye kadar devam eder (Ziel 1968).

Bir metal ile bir yarıiletken arasında kontak yapılar; doğrultucu (Shottky) ve doğrultucu olmayan (omik) olmak üzere iki gruba ayrılır. Kontak yapının doğrultucu veya omik olması metal ve yarıiletken malzemenin iş fonksiyonlarına (Φ) bağlıdır.

İş fonksiyonu E_{fm} enerjisine sahip (metal fermi seviyesi) bir elektronu metalden uzaklaştırmak için elektrona verilmesi gereken enerji olarak tanımlanabilir. Benzer şekilde yarıiletkenin iş fonksiyonu bir elektronun yerleştiği E_{Fsc} fermi seviyesinden uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarıdır.

Φ_m (metal iş fonksiyonu) Φ_s (yarıiletkenin iş fonksiyonu) olmak üzere;

Metal- n tipi yarıiletken kontak yapılarında;

$\Phi_m > \Phi_s$ ise doğrultucu(Schottky) kontak

$\Phi_m < \Phi_s$ ise doğrultucu olmayan(omik) kontak oluşur.

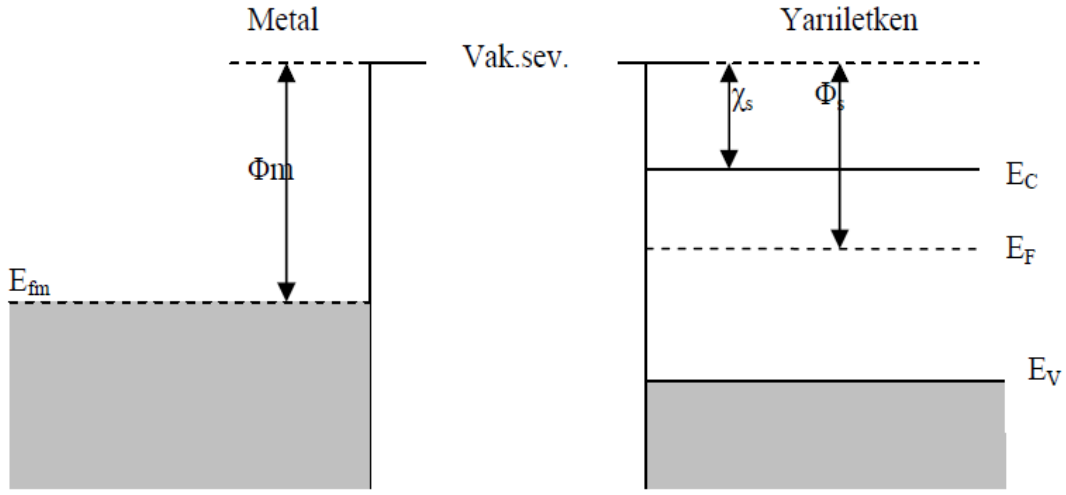
Metal-p tipi yarıiletken kontak yapılarında

$\Phi_m > \Phi_s$ ise doğrultucu olmayan (omik) kontak,

$\Phi_m < \Phi_s$ ise doğrultucu (Schottky) kontak oluşur (Li 2006).

3.1.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu (Schottky) Kontaklar

Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda oluşan kontak Schottky doğrultucu kontak türüdür. Doğrultucu kontak durumunda elektronlar bir yönde kolay hareket ederken, diğer yöndeki hareketleri potansiyel engeli nedeniyle zorlaşır. Bu durum her iki maddenin enerji bant diyagramına bağlıdır. Oda sıcaklığında bir metal ve bir n tipi yarıiletken dikkate alınabilir. Yarıiletken içindeki bütün donörler iyonize olmuş olsunlar. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , yarı iletkenin elektron ilgisi χ_s ve $\Phi_m > \Phi_s$ olsun.



Şekil 3.1. Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramları

Kontaktan önce metalin Fermi seviyesi yarıiletkenin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağıdadır. Metal, yarıiletkenle kontak yapıldığında, metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip olan yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, yarıiletkenin Fermi seviyesi ile metalin Fermi seviyesi eşit ve termodinamik denge hali oluşuncaya kadar metale doğru akarlar (Shroder 2006).

Yük alışverişi tamamlanınca iki maddenin Fermi enerji seviyeleri aynı yüksekliğe ulaşır. Böylece yarı iletkenin enerji seviyeleri ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar aşağı düşer. Kontakta meydana gelen dipol tabakasından dolayı bir potansiyel engeli oluşur.

Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafından görülen yüksekliği;

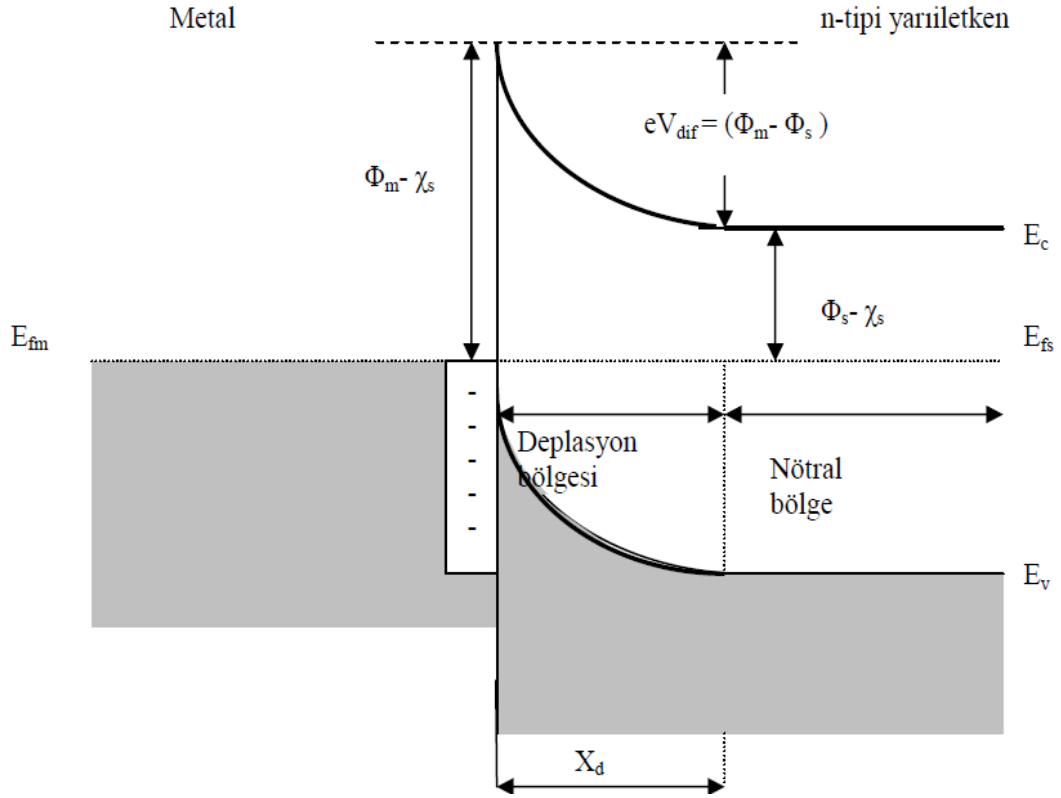
$$eV_{dif} = (\Phi_m - \Phi_s) \quad (3.1)$$

olur.

İyonize olmuş donörlerin sebep olduğu, kontağın yarıiletken tarafındaki hareketsiz pozitif yük tabakası, uzay yükü tabakası olarak bilinir. Bu tabaka d kalınlığında olup difüzyon potansiyeline ve iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Termal uyarılmayla elektronların bazıları potansiyel engeli geçecek yeterli enerjiye sahip olur ve kontaktan geçen eşit ve zıt yönde bir I_0 sızıntı akımı oluştururlar. Yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulandığı takdirde metalden yarıiletkene akan elektronlar için görülen engel yüksekliği ve akım değişmez. Ancak yarıiletkenden metale akan elektronlar için iletkenlik bandı eV kadar yükseleceği için, engel yüksekliği de eV kadar azalacaktır. Böylece metalden yarıiletkene doğru akan akım $\exp(eV_a/kT)$ kadar artacak ve net akım;

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qVa}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

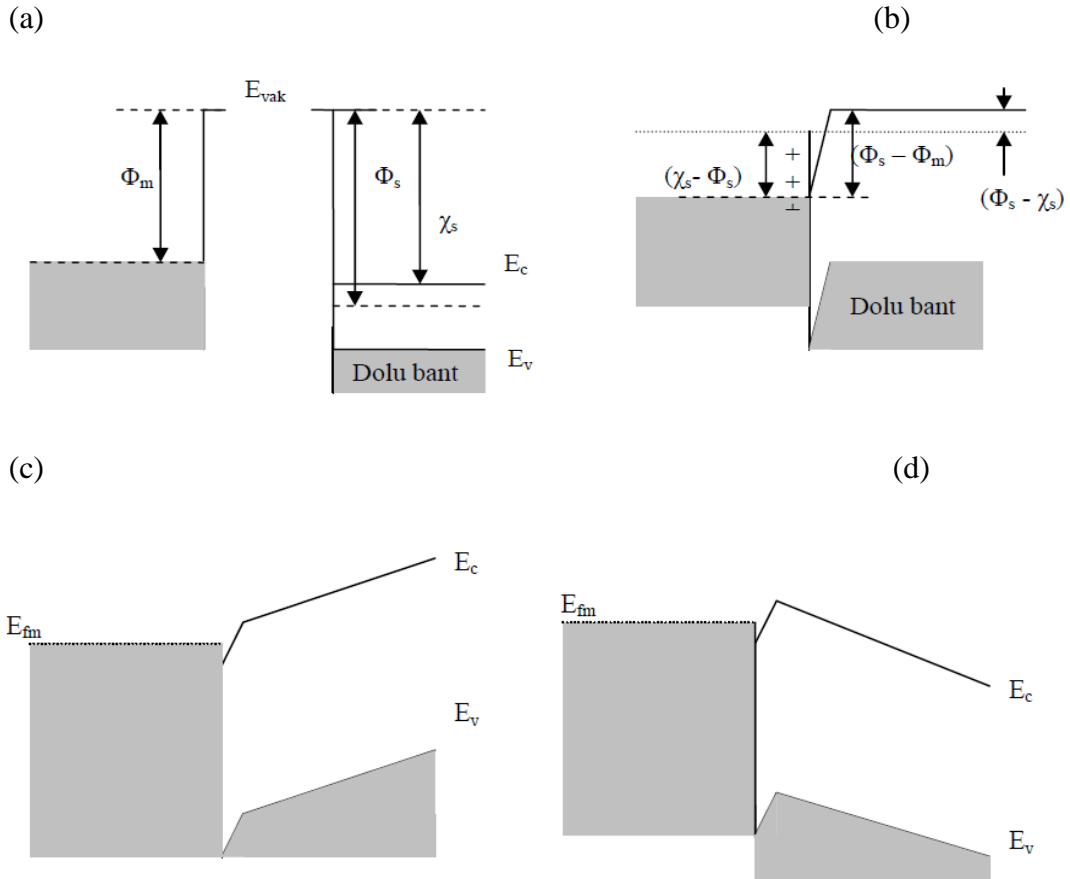
olacaktır. I akımı pozitifdir. ($V \gg kT/e$) belsem durumuna düz belsem adı verilir. Eğer yarı iletken tarafına $+V$ gerilimi uygulanırsa, iletkenlik bandı eV kadar alçalır ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği eV kadar artar. Meydana gelen net akım $-I_0$ değerine ulaşır ve bu belsem durumuna ise ters beslem adı verilir. ($V \gg kT/e$)



Şekil 3.2. Kontakta sonra oluşan enerji-bant diyagramı

3.1.2. Metal n-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olduğu ($\Phi_m < \Phi_s$) durumlarda omik kontak oluşur. Metal n-tipi yarıiletken omik kontak oluşmadan önce yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar aşağıdadır. (Şekil 3.3. a) Kontakta sonra metalden yarıiletkene akan elektronlar, arkalarında pozitif yükler bırakırlar ve kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir. (Şekil 3.3. b) Eğer metal tarafına +V gerilim uygulanırsa, yarıiletkenden metale akan elektronlar için bir engel olmadığından kolayca hareket edebilirler. (Şekil 3.3. c) Eğer yarıiletken tarafına bir +V gerilimi uygulanırsa, yarıiletkenin aşırı katkı durumu nedeniyle elektronlar için engel yüksekliği çok az olur ve elektronlar yarıiletkene doğru yine kolayca hareket edebilirler. Yani elektronların her iki yönde de kolayca hareket edebildiği kontak durumuna omik kontak denir.



Şekil 3.3. $\Phi_m < \Phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı
 a)Kontaktan önce b) Kontaktan sonra c) Ters beslem altında d) Düz beslem altında

3.1.3. Metal Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

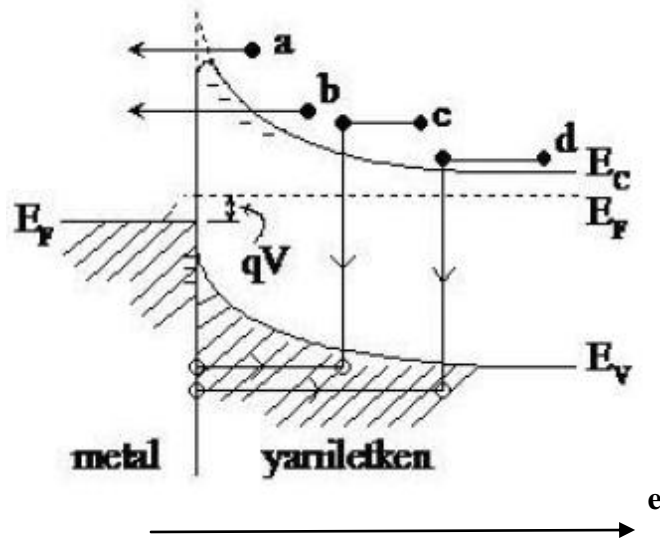
Metal yarıiletken kontaklarda akım iletimi asıl olarak çoğunluk taşıyıcıları ile gerçekleştiği için akım iletiminin azınlık taşıyıcıları ile gerçekleştiği pn ekleminden farklıdır. Kontakta ara yüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerin Schottky diyotlardaki etkisini dikkate alarak, hangi durumda, hangi iletim mekanizmasının oluştuğunu belirlemek, sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.

MS ve MIS yapılı kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları (Henisch 1984; Ambica 2005).

-Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)

-Difüzyon Teorisi

- Termoiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- Kuantum Mekaniksel Tünelleme Termoiyonik Alan Emisyonu (TAE)
- Alan Emisyonu (AE), Çok katlı tünelleme
- Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme
- Yüksüz bölgede yeniden birleşme
- Deşik enjeksiyonu



Şekil 3.4. Düz belsem altında beş temel iletim işlemi. (Sze 1981)

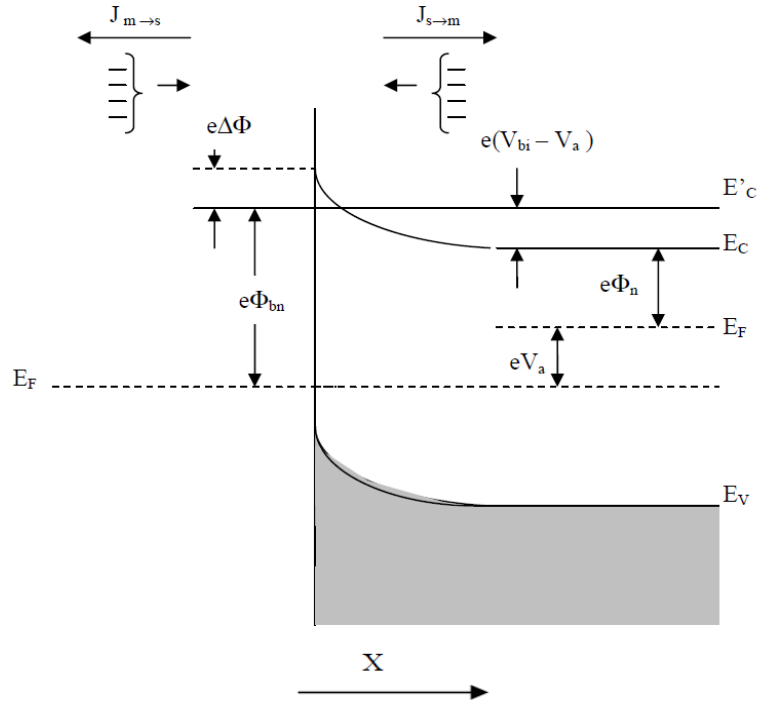
- (a) Termoiyonik emisyon (b) Tünelleme (c) Rekombinasyon (d) Elektronların difüzyonu
- (e) Hollerin difüzyon teorisi (Kutluca 2007).
- (a) Elektronların yarıiletkendeki potansiyel engel üzerinden metale geçmesi. Normal sıcaklıklarda shottky diyotlarda baskın bir işlemdir.
- (b) Elektronların bir engel içinden kuantum mekaniksel tünellemesi (yüksek katkılı yarıiletkenler için önemlidir ve çoğu omik kontakta sorumludur).
- (c) Uzay yükü bölgesinde rekombinasyon bir pn eklemesindeki rekombinasyon işlemine benzerdir.
- (d) Deplasyon bölgesinde elektronların difüzyonu
- (e) Metalden yarıiletkene difüzyonla enjekte olan holler nötral bölgedeki rekombinasyonuna eşittir. Ayrıca metal kontağın yan tarafındaki yüksek elektrik alandan dolayı oluşan kenar sızıntı akımlarına veya metal – yarıiletken ara yüzeyindeki tuzaklardan kaynaklanan ara yüzey akımına da sahip olabiliriz. Ara yüzey kalitesini

geliştirmek için farklı metotlar kullanılmaktadır ve kenar sızıntı akımlarını azaltmak veya yok etmek için çok sayıda aygıt yapıları önerilmektedir (Aydoğan 2011).

3.2. Termioyonik Emisyon Teorisi

Termioyonik Emisyon Teorisi; Elektron ve hollerin (taşıyıcıların), sıcak bir metal yüzeyden salınması olarak bilinmektedir. Schottky kontaktlarda taşıyıcıların yeterli miktarda termal enerjiyi kazanmasıyla, metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale potansiyel engeli aşarak geçme esasına dayanır (Crowell et al 1966).

Metal-n tipi yarıiletken kontaktlarda akım elektronlar tarafından gerçekleştirilirken, metal-p tipi yarıiletken kontaktlarda bu görevi holler üstlenmiştir (Ziel 1968 ; Bengi vd 2007).



Şekil 3.5. Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı

Termioyonik Emisyon Teorisi Varsayımları;

- Potansiyel engelin yüksekliği, kT/q enerjisinden büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.

-Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır (Sze 1981; Sharma 1984; Schroder D. K 2006).

Termoionik emisyon teorisinde, termal denge şartının kontak yapıdan etkilenmemesi için Maxwell-Boltzman yaklaşımı uygulanarak, doğrultucu kontağın potansiyel engel yüksekliğinin kT 'den daha büyük ve taşıyıcıların arınma bölgesindeki çarpışmalarının da çok küçük olduğu kabul edilir.

Metal/n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemde iken engel yüksekliği azalacağından dolayı, akım yoğunluğu değeri $\exp(eV/kT)$ çarpanıyla orantılı olarak artar. Böylece yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu

$J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğudur.

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi q m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-q(\Phi_n + V_{bi})}{kT} \right] \exp \left(\frac{qV\alpha}{kT} \right) \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 3,4'te görüldüğü $\Phi_n + V = \Phi_{bn}$ ile uygulama gerilimi sıfır olduğunda $J_{m \rightarrow s}$ ile $J_{s \rightarrow m}$ aynı olurlar.

$J_{m \rightarrow s}$ metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu olmak üzere,

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi q m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-q\Phi_{BO}}{kT} \right] \quad (3.4)$$

Metal-yarıiletken kontaklardaki akım mekanizmaları ilk olarak Bethe tarafından ve daha ayrıntılı olarak da Cowley ve Sze tarafından ortaya atılmıştır. Bu akım aşağıdaki gibi yazılabilir; Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunlukları eşit olur. Dolayısıyla toplam akım yoğunluğu ifadesi; Kontaktaki net akım yoğunluğu ise

$$J = J_{s \rightarrow n} - J_{n \rightarrow s} \quad (3.5)$$

olur. Ve;

$$J = \left[A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{qV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.6)$$

Genel olarak J ifadesi;

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan j_0 ters besleme doyma akımı olup

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (3.8)$$

ile verilir (Sze 2007).

Φ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azalması ve $\Phi_{bn} = \Phi_{bo} - \Delta\Phi$ şeklinde ifade edildiği ele alındığında eşitliği,

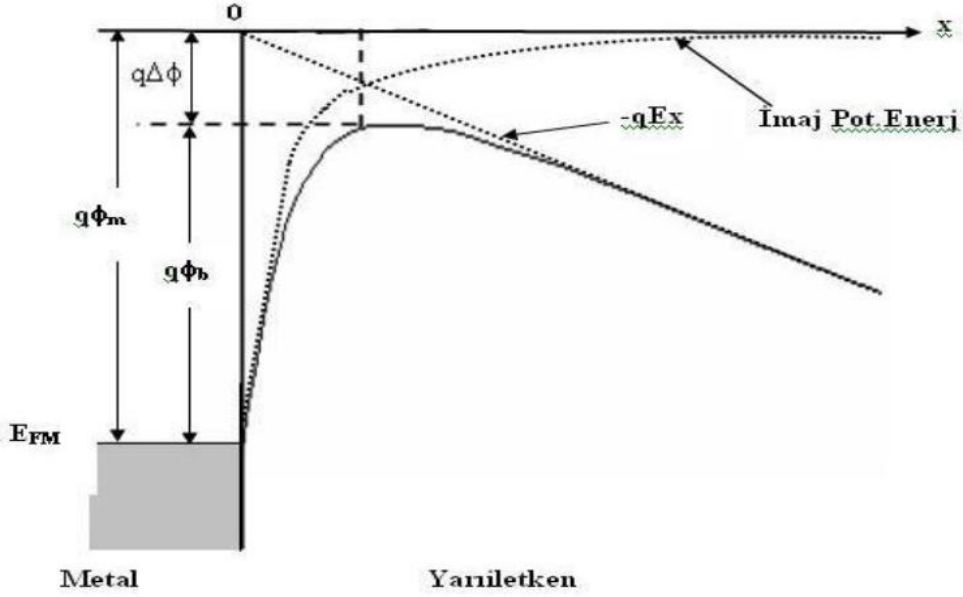
$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{-q\Delta_{Bn}}{kT}\right) \quad (3.9)$$

halini alır.

Bu ifadede, Φ_b Schottky engel yüksekliği ve A^* Richardson sabitidir. Bu sabit,

$$A^* = \frac{4\pi q m_n^* k^2}{h^3} \quad (3.10)$$

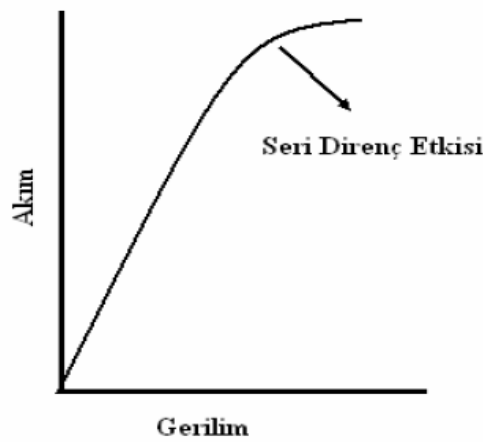
ile verilir (Sze 2007). (3.10) eşitliğinde q ; Elektron yükü, h ; Planck sabiti ve m_n^* ; Elektronun iletkenlik bandı içindeki etkin kütlesidir.



Şekil 3.6. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel azalması (Sze 1981)

3.3. Shottky(Doğrultucu) Diyotlarda Seri Direnç Etkisi

Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda, yarıiletken tarafında oluşan tükenim bölgesi dışında kalan nötral bölgenin diyot akımına karşı gösterdiği dirence seri direnç denir ve R_s ile gösterilir. Bu etki, büyük gerilim değerlerinde baskın olmaya başlar ve diyot akımının düşmesine neden olur. Şekil 3.7 bir Schottky diyotta büyük gerilim değerlerinde seri direncin etkisi ile meydana gelen diyot akımındaki azalmayı göstermektedir (Sze 2007).



Şekil 3.7. Seri direncin, akım gerilim karakteristiğine etkisi

Metal-yarıiletken yapıların düz besleme I-V karakteristiklerinin yardımı ile Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında Cheung tarafından bir metot sunulmuştur. Termoyonik emisyon teorisi dikkate alındığında bir diyottan geçen akımın denklemi,

$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (3.11)$$

formülü olarak yazılır. Seri direnç etkisi dikkate alındığında uygulanan potansiyelin IR_s kadarlık gerilimi nötral bölge üzerine düşüreceği göz önüne alınırsa ($V-IR_s$) olarak yazılır ve denklem

$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (3.12)$$

halini alır. Son eşitlik kullanılarak potansiyel fark

$$V = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) + n\phi_b + IR_s \quad (3.13)$$

olarak elde edilir. Denklem 3.14'in $\ln I$ 'ya göre türevi alındığında

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (3.14)$$

elde edilir. Bu eşitliğe göre $dV/d\ln(I)$ 'in I göre grafiği bir doğru verecektir ve bu doğrunun eğimi seri direnç değerini verecektir. Bu doğrunun $dV/d\ln(I)$ eksenini kesiştiği noktadan idealite faktörü değeri hesaplanabilir. Engel yüksekliğini bulmak için;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (3.15)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanmıştır. 3.14 ve 3.15 eşitlikleri kullanılarak

$$H(I) = n\Phi_n + IR_s \quad (3.16)$$

yazılabilir. (3.16) eşitliği kullanılarak H(I)-I grafiği çizildiğinde yine bir doğru elde edilecektir. Bu doğrunun eğimi, seri direnci verecektir. Bu doğrunun H(I) eksenini kestiği noktadan da engel yüksekliği hesaplanabilir (Ocak 2010).

3.4. Schottky Engel Diyotların Kapasitesi

Schottky diyotların en önemli özelliklerinden biri kapasite-gerilim C-V karakteristiğidir. Schottky diyotların C-V karakteristiği ara yüzey durumlarına karşı çok hassastır ve aygıtların elektriksel özellikleri üzerine çok güçlü etkisi vardır. Düşük frekanslarda kapasitenin artması, uygulanan AC sinyalinin yük taşıyıcıları tarafından takip edilebilme yeteneğine bağlıdır. Yüksek frekansta kapasite-gerilim ölçümleri alınırsa ara yüzeydeki yükler AC sinyallerini takip edemez. n-tipi bir yarıiletken ile oluşturulan MS kantağın kapasitesi denklemi 3.17 ile verilir (Çakar 2004).

$$C = A \left(\frac{\epsilon_s \epsilon_0 q N_d}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(V_d - \frac{kT}{q} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

Bu denklemde ϵ_s , yarıiletkenin dielektrik sabiti (Silisyum için $\epsilon_s=11,9$), ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-14}$ F/cm), q elektronun yükü, V_d difüzyon potansiyeli, k Boltzmann sabiti, N_d iyonize olmuş donör konsantrasyonu ve T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. 3.15 ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$C^{-2} = \frac{2(V_d + V)}{\epsilon_s \epsilon_0 q A^2 N_d} \quad (3.18)$$

yazılır. Burada V uygulama gerilimidir. C^{-2} - V grafiği çizildiğinde yapılacak lineer fit ile $C^{-2} = 0$ için $V_d = V$ olarak difüzyon potansiyeli elde edilir. 3.18 ifadesinin V 'ye göre türevi alınırsa,

$$\frac{d(C^{-2})}{dV} = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 q A^2 N_d} \quad (3.19)$$

elde edilir. Bu ifade N_d için yeniden düzenlenerek

$$N_d = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 q A^2 \frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (3.20)$$

bağıntısı elde edilir. Termal dengede n-tipi bir yarıiletkendeki elektron konsantrasyonu,

$$n_0 = N_e \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (3.21)$$

ile verilmektedir. Burada N_c , termal dengede iletkenlik bandındaki hal yoğunluğudur-tipi bir yarıiletken için $N_d \gg n_i$ olacağı için $n_0 \approx N_d$ olur. Burada n_i , katkısız elektron konsantrasyonudur. Bu durum dikkate alındığında, 3.19 ifadesi,

$$N_{d0} = N_e \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (3.22)$$

olarak elde edilir. Son ifadenin tabii logaritması alınacak olursa ve iletkenlik bandı referans seviye olarak ($E_c=0$) kabul edilirse,

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_e}\right) \quad (3.23)$$

Fermi enerji seviyesi elde edilmiş olur. C-V verilerinden engel yükseklikleri

$$\Phi_b(C - V) = E_f + V_d \quad (3.24)$$

ifadesi ile elde edilebilir

3.5. Organik Yarıiletkenler

Organik elektronik aygıtlar optoelektronik teknolojisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu aygıtlar işlevlerine göre üçe gruba ayrılır. Bunlar; organik güneş pilleri, organik ışık yayan diyot OLED ve organik ince film transistörler OTFT'dir. Bu aygıtlar genelde anot/organik malzeme/katot şeklindeki bir yapıya sahiptirler. OLED'ler yaygın olarak, aygıtın ışıkla temasına izin veren ve mekanik desteği sağlayan düz bir cam üzerine büyütülür. Ortadaki aktif organik malzeme, organik yarıiletken olarak

adlandırılır. Bu moleküller elektriksel iletimden sorumlu olan gevşek elektronları içerir. OLED ve güneş pillerinde, organik yarıiletkenler genellikle normal yarıiletkenlerin aksine bir yalıtkan gibi davranır.

Organik aygıtlarda amorf denilen organik yarıiletkenler ya da polikristal yarıiletken malzemeler kullanılır. Organik yarıiletkenlerin bazı avantajları vardır. İlk olarak, organik yarıiletkenler esnek yapıdadır. Bu özelliklerinden dolayı bükülebilir elektronik aygıtlar elde etmek için plastik bir yüzey üzerine büyütülebilirler. Böylece bükülebilir ve taşınabilir organik güneş pilleri elde edilir. Ayrıca Van Der Waals kuvvetlerinin zayıf bağlı olmasından dolayı organik yarıiletkenlerin sıcaklık süreçleri, zayıftır. Bundan dolayı belli bir süre içinde çok fazla üretim yapılabilir. Organik sentezindeki çok yönlülüğünden dolayı, organik malzemeler aygıtın uygulamasına göre farklı özelliklerde sentezlenebilir. Örneğin molekülün moleküler ağırlığı, yasak enerji bant aralığı, moleküler orbital enerji seviyeleri, yapısal özellikler ve katkılama gibi malzemeye ait birçok özellik ve parametreleri değiştirilebilir (So 2010).

Organik elektronik malzemelerin dezavantajları ise şunlardır. Organik yarıiletken malzemelerin yapısındaki Van Der Waals kuvvetlerinin etkilerinden dolayı, organik yarıiletkenler üzerinde bir esnekliğine yol açar. Buna bağlı olarak bu malzemelerin erime noktasını ve cam geçiş sıcaklığını Tg'yi düşürür. Genel olarak organik malzemelerde Tg sıcaklığı 100°C'den daha düşük olduğundan dolayı, organik yarıiletkenlerin ince filmleri ısıya dayanıklı değildir. İnce film, Tg sıcaklığına ulaştığında, organik film kristal olma eğilimindedir. Bundan dolayı organik filmin ısısal olarak daha dayanıklı olmasını sağlayacak çalışmalar devam etmektedir (Boy 2013).

3.5.1. Organik Yarıiletkenlerin Temel Özellikleri

Organik yarıiletkenler, 1940'lı yılların sonlarında yavaş yavaş tanınmaya başlanmıştır. 1980'lerin sonlarında üretilen bu TFT aygıtlarının düşük performansa sahip olmaları nedeniyle birkaç akademik çalışma grubu dışında bu çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu süre zarfında organik yarıiletkenlerle daha yüksek performanslı aygıt üretimi için çalışmalar devam etmiştir (Klauk 2006). Düşük mobiliteye sahip olmaları sebebiyle ince film transistör TFT yapılarında sık kullanılmışlardır.

Organik yarıiletken malzemelere geleceğin malzemesi gözüyle bakılmaktadır. Bilgi ve teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen elektroniğin temel malzeme taşı olan silisyuma alternatif yeni malzeme arayışları, dikkatleri organik yarıiletken malzemeler üzerinde toplamış durumdadır (Aktaş 2006).

Organik maddelerin molekül yapılarında, genellikle karbon (C), hidrojen(H), oksijen (O), azot (N), kükürt (S) ve fosfor (P) bulunur. Organik yarıiletkenler, yarıiletken özellikler taşıyan organik materyallerdir. İletim mekanizmaları inorganik yarıiletkenlere benzer özellikler göstermektedir. İnorganik yarıiletkenlerden farklı olarak organik yarıiletkenlerde elektronik geçişler HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) ve LUMO (Lowestun Occupied Molecular Orbital) ile karakterize edilir (Klauk 2006).

Organik yarıiletkenler iki guruba ayrılır. Bunlar karbon tabanlı küçük moleküller ve polimerlerdir. Monomerler, kendisini tekrarlamayan oldukça küçük moleküllerdir ve aynı zamanda moleküler organik elektronik materyaller olarak da adlandırılırlar. Polimer organik elektronik materyaller ise tekli, ikili veya daha çok monomerin (kopolimer) bağlı zincirlerinden oluşur. Hem monomer hem de polimer malzemeler, konjuge bantların bel kemiğini içerir. Moleküldeki iletim, bu bantlar sayesinde gerçekleşir. Polimerlerin, küçük moleküllere göre daha çok çözelti durumunda olmasından dolayı spin kaplama yöntemiyle büyütülmesini gerektirirler. Buna karşılık küçük moleküller, genellikle vakumda buharlaştırma ya da süblimleşme gibi yöntemler ile büyütülmektedirler. Ayrıca polimerlerin bir üstünlüğü de, ince aktif tabakada pinholler ve küçük molekül filmlerdeki diğer kusurlar olmadan üretilebilmesidir. Bu durum, aygıtın daha düşük potansiyel altında oluşumunu kolaylaştırır (Rockett 2008).

Organik elektronik malzemeler kendi yapıları boyunca devamlı bir çift bağ yapısına sahiptir. Yani tamamen konjuge yapıdadır. Konjuge moleküller, çiftli bağları kırarak yükleri iletebilir. Kırılan bandın yeniden oluşturulması ışık yayınımına sebep olabilir.

Konjuge organik malzemelerde temel özellik molekülün uzunluğu boyunca çift bağların sürekli bir seri olmasıdır. Burada zincirdeki her bir karbon atomu, yakın komşularıyla bir bağ yapar ve ikili bağ zincirleri oluştururlar. Çünkü her bir karbon atomu ikili bağ yapısına bir bağ katkı yapar (Rockett 2008). Organik yarıiletkenlerde katkılanarak

yapıları değiştirilebilir. Organik metal olarak bilinen PEDOT:PSS ve polyanilin organik yarıiletkenlerde katkılamaya uygun materyallerdi (Klauk 2006).

3.5.2. Organik Yarıiletkenlerde Akım İletim Mekanizması

Organik katı bir molekülde deşik ve elektronların geçişini incelemek için iyonik moleküler seviyelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Örneğin, M nötr molekülünden bir katyon M^+ oluşturularak bir elektron kopartılabilir. Hareket eden bu elektron, bir molekülden diğerine geçer. Elektron geçişi aynı zamanda, negatif yüklü bir M^- iyonu gerektirir. Polimerlerde bu durum pozitif ve negatif polaronlar tarafından gerçekleştirilir. Moleküler kristallerden düzensiz organik katılara gidildiğinde, farklı moleküler düzenlemelerden dolayı bölgesel değişen polarizasyon enerjisi göz önüne alınır (Brütting 2005).

Organik yarıiletkenlerde taşıyıcı yük geçiş mekanizması aşamaları, bant ve hopping geçişi olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Bant geçişi genellikle çok yüksek sıcaklıklarda olmayan yüksek saflıktaki organik kristallerde gözlenir. Bununla birlikte, elektronik lokal bozulmalar zayıf olduğundan, bant genişliği inorganik yarıiletkenlerle kıyaslanacak kadar küçüktür. (oda sıcaklığında birkaç kT civarında)

Bu yüzden, oda sıcaklığındaki kristalde moleküllerin mobiliteleri $1-10 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ arasında değerler alır. Bant geçişinin karakteristik bir özelliği olarak sıcaklık bağımlılığı, düşük sıcaklıklara gidildikçe $\mu \propto T^{-n}$ şeklinde daha güçlü bir davranış izler. (Brütting 2005) Diğer bir geçiş türü olan hopping geçiş mekanizması ise 1993'te Landau tarafından önerilen bir mekanizmadır. Organik bir yarıiletkende yük taşıyıcıları hareket ettiği zaman kusurlardan, düzensizliklerden ya da polarizasyondan kaynaklanan potansiyel tarafından lokalize olurlar. Yük iletimi, ısıl olarak aktiflendirilmiş örgü titreşimlerinden dolayı iki komşu molekül arasındaki yüklerin zıpladığı bir molekül içi süreçtir. Hopping hareketi, adyabatik olmayan elektron transfer reaksiyonu olarak bilinir (So 2010). Bu tür geçişlerde mobilite değeri düşerek $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V.s}$ değerine yaklaşır.

Organik yarıiletkenlerdeki taşıyıcı yoğunluğunu arttırmak için;

- Elektrokimyasal katkılama
- Kontaklardan taşıyıcı enjektisi

-Taşıyıcıların fotonlarla oluşturulması
 -Alan etki katkılama
 gibi işlemler yapılabilir (Brütting 2005).

3.5.3. Organik Yarıiletken Aygıtlar

Son zamanlarda organik yarıiletkenler avantajlarından dolayı organik yarıiletken aygıt yapım çalışmaları farklı bir ivme kazandı. Elektronik ve optoelektronik teknolojilerinde daha çok, OLED, OFET ve organik güneş pilleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. OLED'ler elektrik akımı uygulandığında ince bir film tabakası halinde organik moleküller kullanılarak imal edilmiş ışık üretebilen cihazlardır. İki metal arasına bir ya da daha fazla organik yarıiletken tabaka konulmasıyla hazırlanır. Anot ve katot işlevleri bakımından farklıdır. Hem anot hem katot yarı geçirgen olabilir. OLED'ler çoğunlukla düz ekran için kullanılmaktadır. LCD teknolojisine alternatif olarak sunulmaktadır. Düşük enerji tüketmesi, ince ve hafif olması gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle son zamanlarda cep telefonlarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Başlangıçta gösterge uygulamaları için geliştirilen OLED'ler parlak renkli görüntüleri ile düşük güçte geniş görüş açısı sağlayan ekranların yapılabilmesini sağladılar (Zafer 2006; El-Nahass vd 2005).

3.6. Chang-Cheung Fonksiyonları

Seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi diyot parametrelerinin bulunabilmesi için birkaç yöntem vardır. Bunlardan biri Cheung tarafından türetilen Cheung fonksiyonlarıdır. Cheung fonksiyonları;

$$\frac{dV}{d \ln(I)} = n \frac{kT}{q} + IR_2 \quad (3.25)$$

$$H(I) = V - n \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_0}{AA^*T^2}\right) \quad (3.26)$$

Potansiyel engel yüksekliğini bulmak için aşağıdaki gibi bir eşitlik yazılır.

$$H(I) = IR_2 + n\Phi_b \quad (3.27)$$

Denklem (3.25)'de $dV/d\ln(I)-I$ grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğimi seri direnci (R_s) verir.

$I=0$ 'a karşılık dűşey eksenin kestiği noktanın değerinin kT/q 'ya oranı ise idealite faktörünü (n) verir.

Aynı şekilde (3.27) denkleminde $H(I)-I$ grafiği çizilerek elde edilen doğrunun eğimi (R_s) değerini, $I=0$ 'a karşılık dűşey eksenin kestiği nokta ise engel yüksekliğini $n\Phi_b$ değerini verir.

3.7. Norde Fonksiyonları

Diyot parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise Norde metodudur. Bu metot ile de seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü hesaplanabilir;

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{A^*AT^2}\right) \quad (3.28)$$

burada γ , n değerinden büyük ilk tamsayı değeridir. $I(V)$, $I-V$ karakteristiğinden elde edilen akım değeridir. Engel yüksekliği; $F(V)-V$ grafiğinin minimum noktası bulunduktan sonra hesaplanır. Engel yüksekliği,

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (3.29)$$

ile verilir. Burada $F(V_0)$, $F(V)$ değerinin minimum noktasıdır ve V_0 değeri bu minimum noktadaki voltaj değeridir. Seri direnç;

$$R_2 = \frac{kT(\gamma-n)}{qI_0} \quad (3.30)$$

formülü ile bulunur. Burada I_0 , $F(V)$ değerinin minimum noktasındaki akım değeridir.

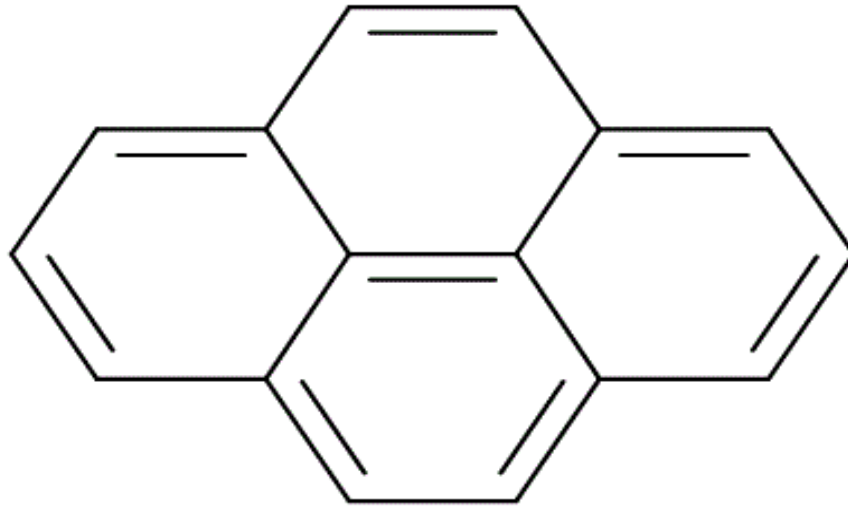
4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Pyrene

Pyrene dörtlü benzen halkasından oluşmuş, PAH ailesine ait bir bileşiktir. PAH'lar her biri benzen yapısını temel alan iki ya da daha fazla halkalı yapı içeren polisiklik aromatik bileşiklerin genel adıdır. PAH'lar hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir. PAH'ların, hidrofobik yapılarından dolayı sudaki çözünürlükleri oldukça düşük olup hayli lipofilik bileşiklerdir. PAH'lar etanol, benzen ve eterde iyi znr.

Molekül formülleri bakımından aromatik halkalı yapıda olan Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar PAH'lar düzlemsel (ya da hemen hemen düzlemsel) moleküllerdir.

Aromatiklik dereceleri her bir halkada farklıdır. Heteroatom içermeyen aromatik halkalar 3 ya da daha fazla üyeden oluşmuştur. İki ve üç aromatik halkalı PAH bileşikleri atmosferde gaz fazında bulunurken, beş ve daha yüksek halkalı olanlar katı partikül olarak (<0.1–100 ng/m³ aralığında) yer alırlar. Arada olanlar (dört halkalı) atmosfer sıcaklığına bağlı olarak gaz ve katı arasında dağılırlar (Anonim 1988; Howsam et al 2001; Mastral et al 2003).



Şekil 4.1. Pyrene($C_{16}H_{10}$) bileşiğinin molekül yapısı

Tablo 4.1. Pyrene($C_{16}H_{10}$) Materyalinin Molekül Yapısı ve Özellikleri

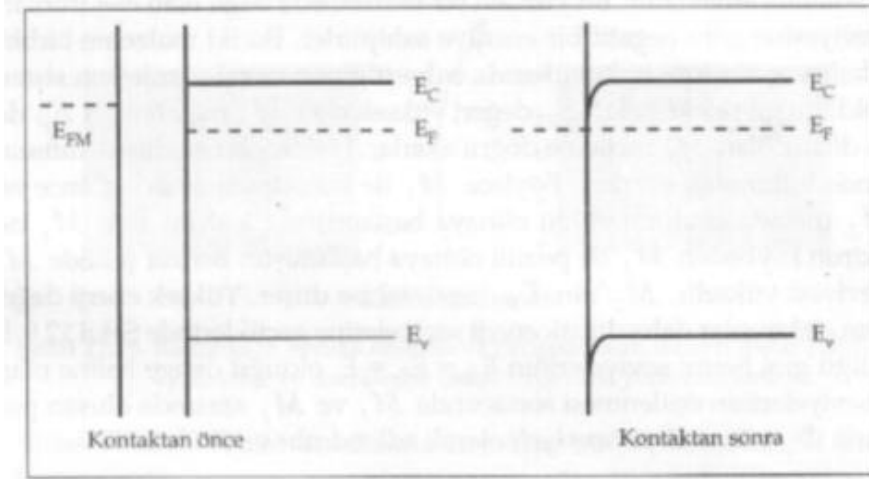
Pyrene'nin diğer ismi	Benzo[def]phenanthrene
Kimyasal formülü	$C_{16}H_{10}$
Çözünürlük mg/l (25 °C)	0.135
Erime Noktası(°C)	148 - 156
Mol Kütlesi (g/mol)	202.26
Yoğunluk g/cm^3 (20 °C)	1.21
Hacim yoğunluğu (kg/m^3)	650
Kaynama noktası(°C) (1013 hPa)	360-404
Alevlenme noktası(°C)	200 - 220
Buhar basıncı(kPa)	3.10^{-6}

(Raluca and Vasile 2006 ; Harvey 1997; Jacop 2008).

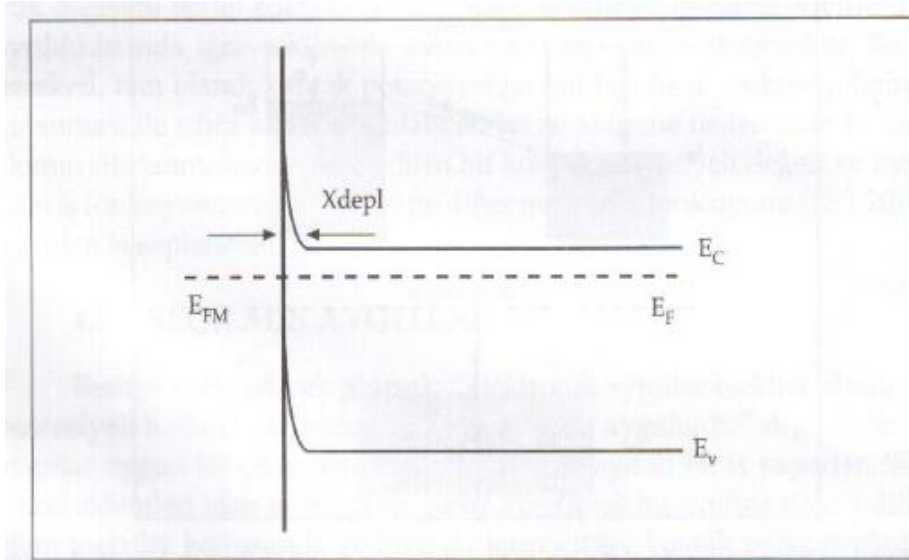
4.2. Omik Kontaklar

Omik kontaklar doğrultucu olmayan kontaklardır. Kontakın akım-gerilim karakteristikleri Ohm yasasına uyar ve kontak direnci mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Şekil 4.2'de

metal ile yarıiletken arasındaki kontak dikkate alındığında $E_{FM} > E_F$ örneğinde n-tipi yarıiletkenin enerji bantların kontak yakınında bükülür. Bandın bükülme miktarı ve yarıiletkendeki genişliği çok küçüktür. Sonuçta metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engel yoktur ve elektronlar kontak boyunca serbestçe akabilirler. Bu tür bir kontak omik kontakdır. Şekil 4.3 $E_{FM} < E_F$ olduğunda da bir omik kontak elde etmek mümkündür.



Şekil 4.2. Bir omik kontakta enerji bantları



Şekil 4.3. Bir metal ile aşırı katkılanmış silisyum arasındaki bir kontakta enerji bantları (omik kontak)

Omik kontakların yarıiletkenlerde kullanım amacı, minimum dirençle yarıiletkene akım vermek veya yarıiletkenden akım almaktır. Omik kontakın kalitesini belirleyen temel parametre kontak direncidir. Bu direncin büyüklüğü,

$$R_c = \left(\frac{\partial I}{\partial V} \right)_{V=0}^{-1} \quad (4.1)$$

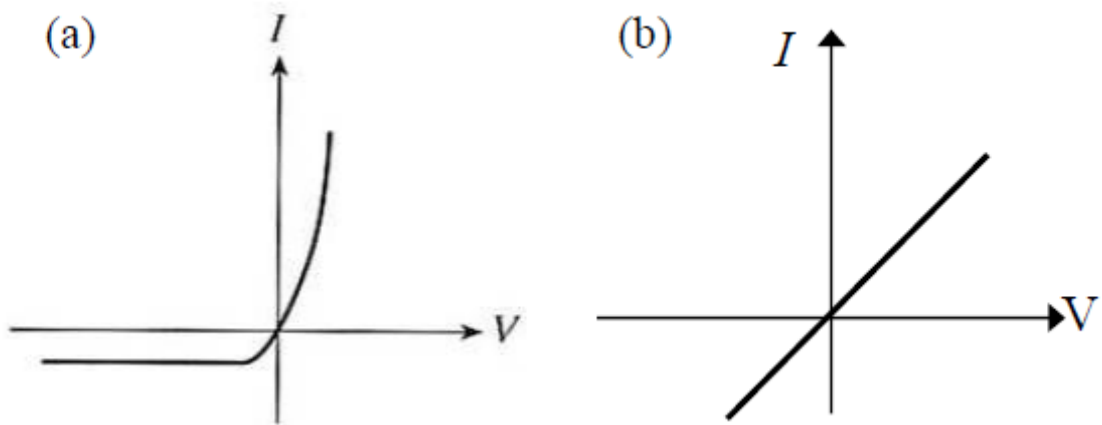
olarak verilir. Bu direnç potansiyel engel olarakta görülebilir. Orta derecede katkılanmış bir yarıiletken için termoyonik emisyon mekanizması baskın olup omik kontak direnci,

$$R_c = \frac{v_1 \exp\left(\frac{\phi}{V_1}\right)}{A^* T^2} \quad (4.2)$$

ile verilir. $V_t = kT/q$ olup termal voltajdır. Yüksek oranda katkılamalar için tünelleme mekanizması baskın olup kontak direnci,

$$R_c \propto \exp\left(\frac{\sqrt{\frac{2}{\epsilon_s m^*}} \frac{\phi_b}{h}}{\sqrt{N_d}}\right) \quad (4.3)$$

ifadesi ile verilir.



Şekil 4.4. (a) Schottky kontakların ve (b) Omik kontakların akım-gerilim karakteristikleri

Dolayısıyla kontak direnci ve potansiyel engeli nicelikleri birlikte incelenebilir. Potansiyel engelin yüksekliği bir kontakın elektriksel olarak omik ya da doğrultucu karakterde olduğu ile ilgili önemli bilgiler verir. Bir kontak için engel yüksekliği değeri

oda sıcaklığında yaklaşık 0,3 eV tan daha düşükse omik karaktere, bu değerden daha büyükse doğrultucu karaktere sahiptir denilmektedir (Çakar 2004).

Ayrıca omik kontak, devre elemanının uzun zamanlı çalışma şartları altında verimini/niteliğini bozmamalı ve hiçbir azınlık taşıyıcısını enjekte etmemelidir (Ocak 2010).

4.3. Termal Buharlaştırma Yöntemi

Vakumda buharlaştırma metodunda ince filmi oluşturacak olan materyalin tozları belirli sıcaklık altında buharlaştırılır. Buharlaştırılmış materyal daha önceden ısıtılmış cam taban üzerine 10^{-5} veya 10^{-7} torr düşük basınç altında çöktürülür. Filmler yüksek vakumda elde edildiklerinden, ortamdaki yabancı atomlarla etkileşimleri çok azdır. Bu sebepten dolayı oldukça kaliteli filmler elde edilir (Kumar et al 2004).

Vakumlu ortamda, bir ısıtıcı ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan yarıiletken üzerinde atomsal veya iyonik olarak ince bir film tabakası halinde biriktirilmesi.

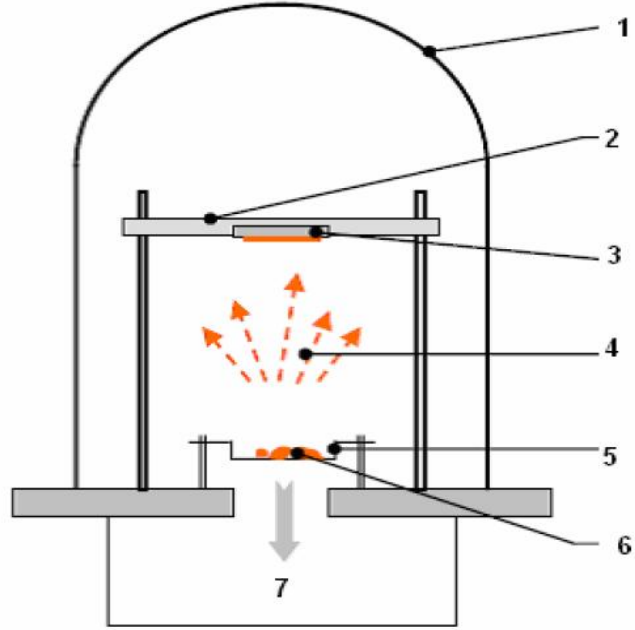
Oksitlenme ve sıcaklığa karşı direnci yüksek refrakter pota içerisine buharlaştırılacak kaplama malzemesi yerleştirilir ve pota etrafına sarılmış rezistans teller yardımıyla ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Pota malzemesi olarak genellikle tungsten, tantal, molibden gibi refrakter metallerin seramik kompozitin kullanıldığı bu yöntemden alüminyum, magnezyum, gümüş, bakır, kurşun gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında yararlanır (Türküz vd 1997) Rezistans ile buharlaştırma işlemi, yüksek akım ve düşük potansiyel veren enerji sistemlerinin kullanıldığı, maliyeti düşük ve hızlı bir FBB işlemidir. Rezistans ile buharlaştırma yönteminde iyonlaşmanın çok az olması nedeniyle kaplamanın yüzeye bağlanabilirliği düşük, gözenekliliği ise yüksektir. Elde edilen kaplamalar daha çok optik ve dekoratif amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadır (Oktay 2006).

Bu yöntemle ayrıca organik moleküller de ısı olarak buharlaştırılabilir.

Organik malzemeler uygun sıcaklıkta ısıtılarak, buharlaştırılır ve yarıiletken üzerinde ince filmler olarak yoğunlaşması sağlanır.

Bu kaplama yönteminde film kalınlığını etkileyen üç etken vardır:

- Buharlaşma basıncı,
- Buharlaşan malzemenin bulunduğu kap ile taşıyıcı arasındaki uzaklık,
- Buharlaşma hızı.



Şekil 4.5. Termal buharlaştırma (rezistans ile) sisteminin şematik gösterilişi

1. Vakum odası 2. Altlık tablası 3. Numune tutucu 4. Metal buharı 5. Isıtıcı filaman 6. Buharlaştırılacak metal (Ocak 2010).



Şekil 4.6. Termal buharlaştırma cihazı

Bu yöntem diğer tekniklere göre daha ucuzdur ancak bazı dezavantajları vardır. Geometrik faktörler sebebiyle büyük çaplı üretimler çok zordur. Düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler ($<1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) için kullanılabilir.

Bazı durumlarda, pota da sıcaklıktan etkilenerek buharlaşır ve kaplama bozulabilir. Termal buharlaştırma için mevcut olan çeşitli kaynak buharlaştırıcıların kaplama karakteristiklerini, avantajlarını ve sınırlamalarını tartışmışlardır. Bu teknik için buharlaşma oranları, belli bir sıcaklık ve vakum altında tutulan buharlaştırıcının buhar basıncı ile kontrol edildiği için başlangıç materyalinin içeriğinin aynısına sahip alaşım ve karışımları kaplamak zordur. Bununla beraber flaş buharlaştırma tekniği kullanılarak bu problemin üstesinden gelinebilir. Bu teknikte alaşımın veya metalin oldukça küçük boyutlu tozları kontrollü bir oranda sıcak olan buharlaştırma potasına konularak buharlaştırma yapılır ve böylece alaşımdaki oranın benzeri depozit edilmiş olur.



Şekil 4.7. Keithley 2400 sourcemeter ve güneş simülatörü

Şekil 4.7’de gösterilen araçlar kullanılarak diyotun aydınlık ve karanlık ortamlardaki I-V ve C-V ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra Au/n-Si/Pyrene/Au diyotunun doğrultucu özellikte olduğu görüldü.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

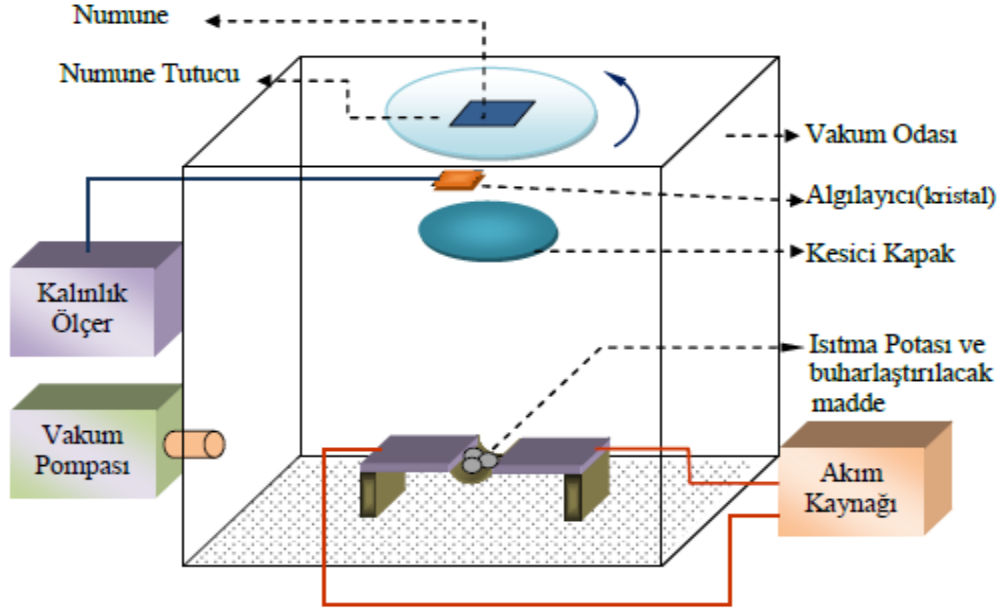
5.1. Kristalin Temizlenmesi

Bu çalışmada (100) doğrultusunda büyütülmüş fosfor katkılı n-tipi silisyum kullanılmıştır. Diyot yapımında daha iyi sonuç alabilmek için numunenin mekanik ve organik kirlere temizlenmesi gerekir. Kimyasal olarak temizlemek için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

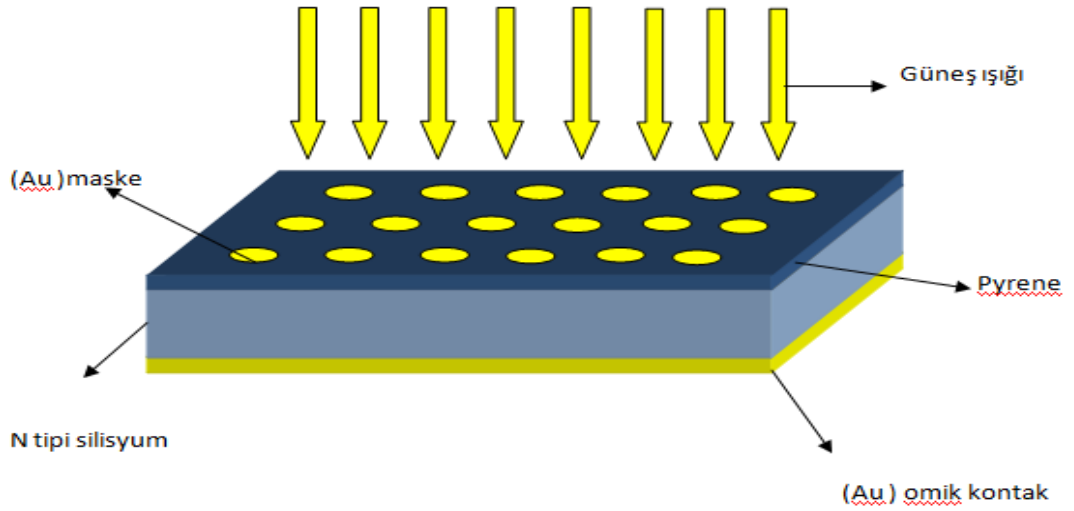
1. Temizleme sırasında özdirenci yaklaşık 18 MΩ.cm olan deiyonize su kullanıldı. Tüm kimyasal temizleme işlemleri ultrasonik banyo içinde gerçekleştirildi. Kristal önce deiyonize su içerisinde ultrasonik olarak 5 dakika yıkandı.
2. Si yapraklar sırasıyla aseton ve metanol içinde 3 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
3. Daha sonra deiyonize su içerisinde ultrasonik olarak 5 dakika yıkandı.
4. Hacim oranları sırasıyla verilen 5:95 Hydrofluoric asit : Su karışımında 3 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
5. Sonra Si yapraklar 5 dakika deiyonize suda durulandı.
6. Kimyasal olarak temizlenmiş n-tipi silisyum kristal yüzeyde oksitlenme olasılığını önlemek için kuru azot (N₂) ile kurutuldu.

5.2. Shottky Diyotun Hazırlanması

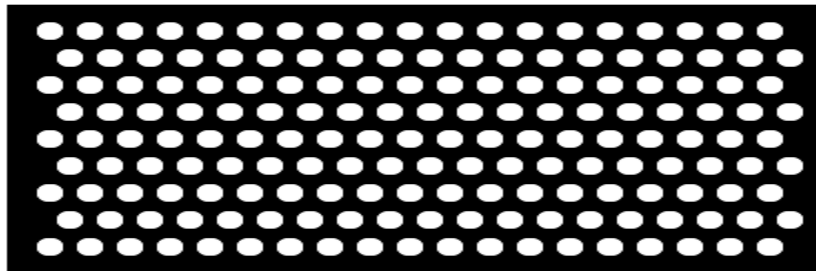
İlk önce N tipi silisyum yarıiletkenin mat yüzeyine, Au (24 ayar) metali omik kontak yapıldı. Bunun için ısıtıcı pota %10 seyreltiklikte HCL asit ve sonrasında iyonize su ile önce yıkanıp temizlendikten sonra N₂ gazı ile kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma cihazının pota bölümüne Au, cihazın üst bölümüne ise yarıiletken N tipi silisyum numunesi mat yüzeyi yukarıda kalacak şekilde yerleştirildi. Yarıiletken numune 5x10⁻⁶ torr basınca alınarak mat yüzeyine Au metali sonrasında pyrene materyali buharlaştırıldı.



Şekil 5.1. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan termal buharlaştırma sisteminin blok diyagramı (Boy 2013).



Şekil 5.2. Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyot yapısı



Şekil 5.3. Diyot yapımında kullanılan maske

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Shottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri

Belirli bir V potansiyeli altında tutulan bir diyottan geçen akım,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qv}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (6.1)$$

İfadesi ile verilmektedir (Ziel 1968). Bu ifadede $Ev \gg nkT$ olması durumunda 1 terimi üstel terim yanında ihmal edilebilir. Denklemin yeni hali

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qv}{nkT}\right) \right] \quad (6.2)$$

şeklinde olur. İfadesinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp sonrada v ye göre türevi alınırsa idealite faktörü için,

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (6.3)$$

elde edilir. Bu denklemde q elektronun yükü (1.6×10^{-19} C), k Boltzmann sabiti ($8,625 \times 10^{-5}$ eV/K) ve T sıcaklıktır.

$\ln I$ - V grafiği çizildiğinde grafiğin düz belsem tarafındaki lineer kısmına bir doğru fit edilerek bu doğrunun eğiminden $dV/d \ln(I)$ elde edilir.

Bu değerle birlikte yukarıdaki sabitlerde 6.3 ifadesinde yerine yazılarak idealite faktörü değerleri diyotlar içinde hesaplanabilir. Fit edilen doğrunun $V=0$ 'da düşey ekseni kestiği noktada J_0 doyma akımı elde edilir. 6.2' deki J_0 doyma akımı,

$$J_0 = A^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (6.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitliğin her iki tarafını tabii logaritması alınıp Φ_b ye göre çözülrse 6.5 ile verilen engel yüksekliği,

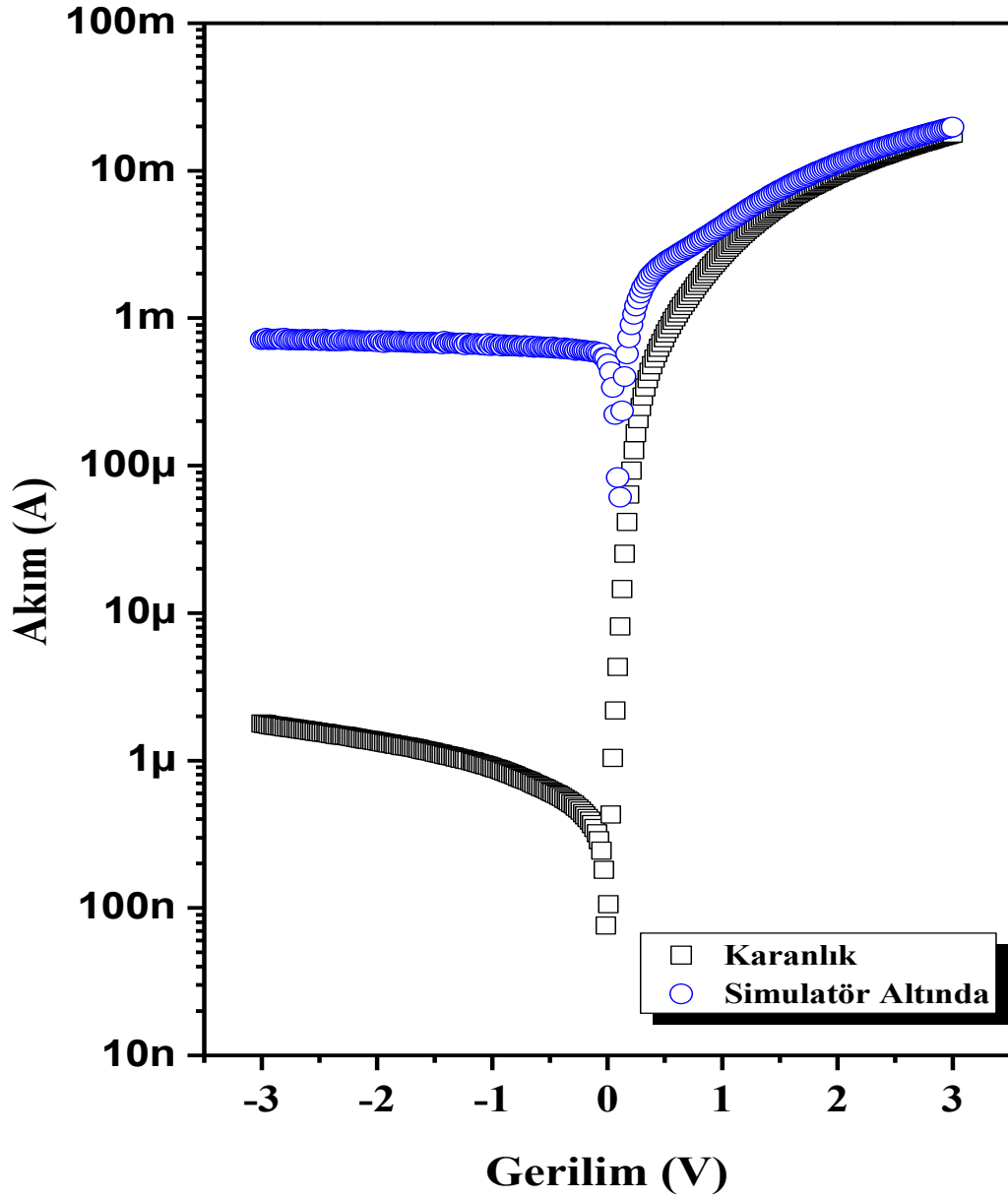
$$\Phi_b = kT/e \cdot \ln(AA^*T^2/J_0) \quad (6.5)$$

eşitliği elde edilir.

(6.5) eşitliğinde A ; diyotun alanı ($A = 1,767 \text{ cm}^2$), A^* ; Richardson sabiti (112), k ; Boltzman sabiti ($k=8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), T ;Kelvin cinsinden numunenin sıcaklık değeridir. Doyma akım yoğunluğu ve shottky engel yüksekliği sırasıyla 6.4 ve 6.5 eşitlikleri ile hesaplanabilir.

$\ln I-V$ grafiğindeki doğrunun düşey ekseni kestiği noktadan doyma akım yoğunluğunu değeri elde edilebilir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz diyotun engel yüksekliği 0.716 eV, idealite faktörü 1,12 olarak bulundu.



Şekil 6.1. Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotunun karanlık ve aydınlık ortamda I-V grafiği

6.2. Fotoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi

Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotunun aydınlık ortamdaki I-V ölçümleri AM 1,5 global filtreye sahip güneş simülatörü altında, 100 Mw/cm² ışık kullanılarak gerçekleştirildi.

Bu ölçümler doğrultusunda diyotun foto diyot özellik gösterdiği görüldü. Diyotun açık devre voltajı $V_{oc} = 112$ mV ve kısa devre akımı $I_{sc} = 536$ μA olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.1 bu ölçümlere ait karanlık ve aydınlık ortam karşılaştırmalı I-V grafiğini göstermektedir.

6.3. Norde Fonksiyonu Yardımıyla Engel Yüksekliğini ve Seri Direnç Değerlerinin Bulunması

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{A^*AT^2}\right) \quad (6.6)$$

Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tamsayıdır. I(V) ifadesi I- V eğiminden elde edilen akım değeridir. Yapmış olduğumuz çalışmada idealite faktörünü 1,12 hesapladık.

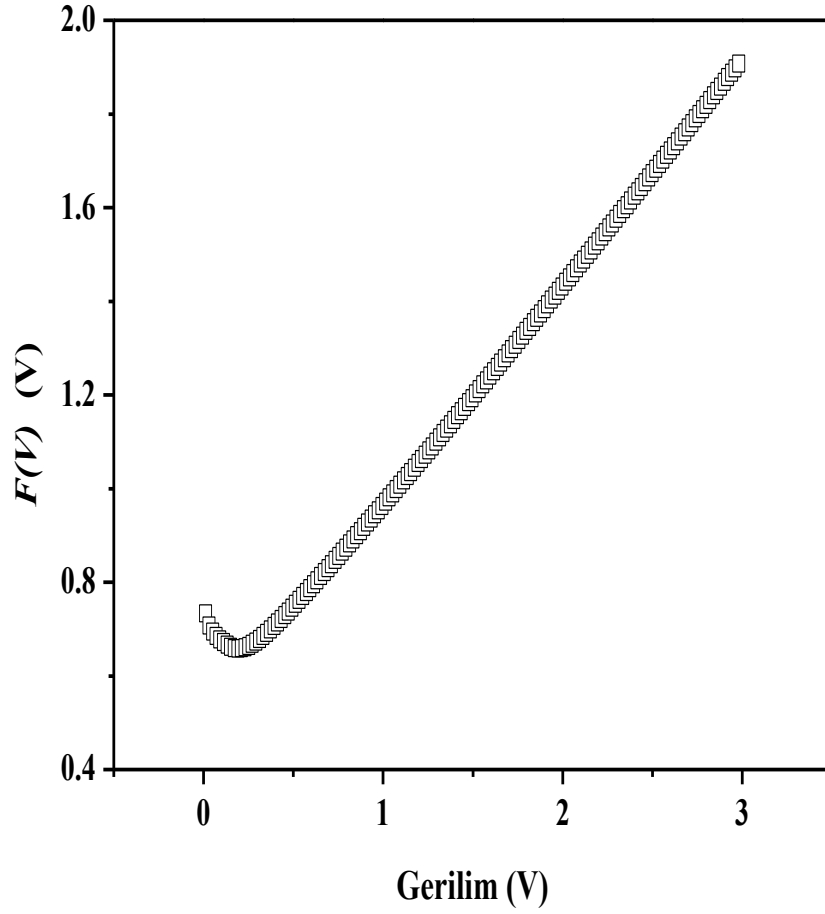
Norde metodunda engel yüksekliği ifadesi,

$$\phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (6.7)$$

olarak verilir. Burada $F(V_0)$ ifadesi F-V grafiğinin minimum F(V) değeridir. Yapılan hesaplamalarda bu değer 0,6604 olarak bulundu. V_0 ise bu değere karşılık gelen V değeridir ve 0.23 V olarak hesaplandı. Bu değerler yardımı ile Φ_b engel yüksekliği ifadesi 0.75 eV olarak bulundu. Norde metodu ile seri direnç değeri;

$$R = \frac{\gamma-n}{qI_0} \quad (6.8)$$

formülü ile 180 Ω olarak hesaplandı.



Şekil 6.2. Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotuna ait Norde fonksiyonlarından çizilen F(V)-V grafiği

6.4. Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi

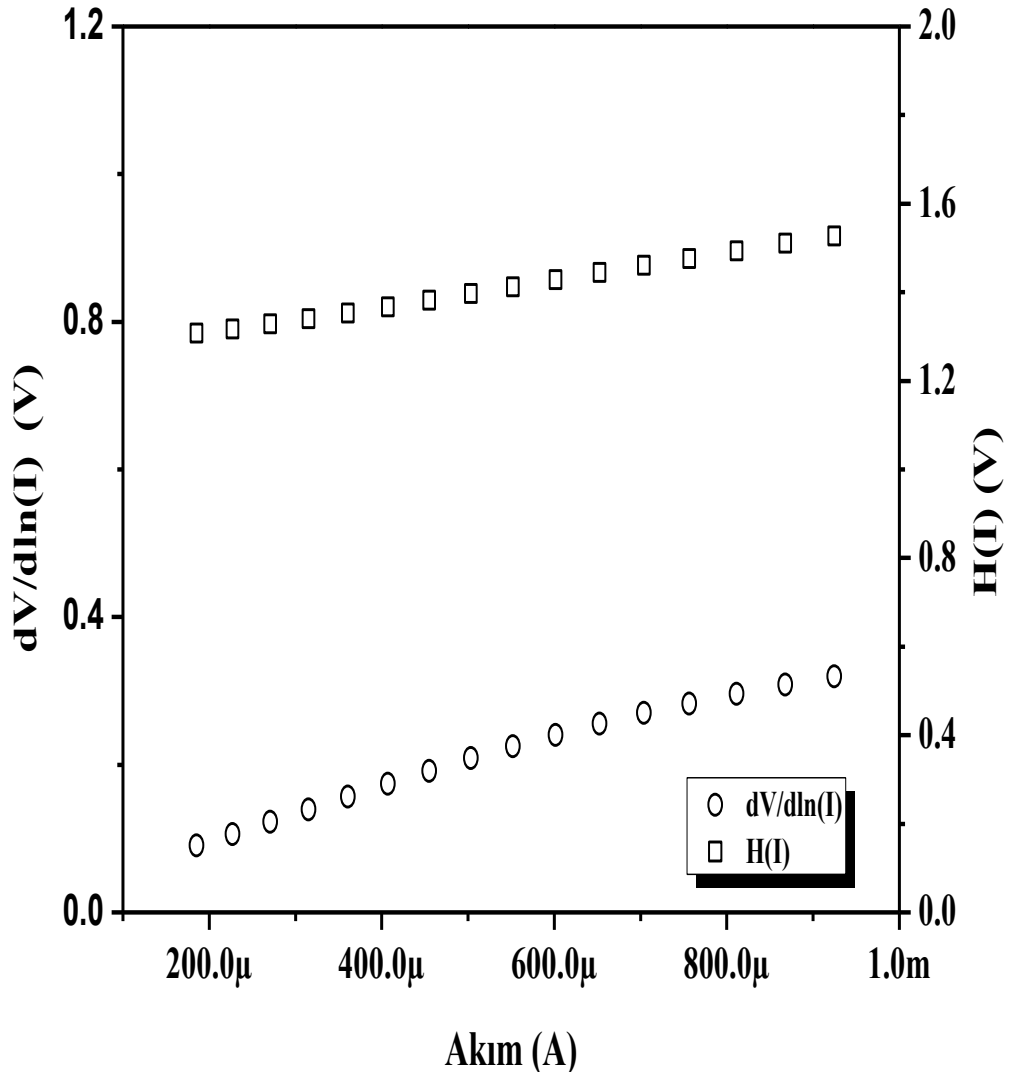
$$\frac{dV}{d \ln(I)} = n \frac{kT}{q} + IR_s \quad (6.8)$$

ve

$$H(I) = IR_s + n\Phi_b \quad (6.9)$$

Kullanılarak seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği yeniden elde edildi. Cheung fonksiyonlarına ait $dV/d \ln(I)$ -I grafiği şekilde görülmektedir. $dV/d \ln(I)$ -I grafiğinde I=0 düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü, eğiminden de seri direnç değeri bulundu. $dV/d \ln(I)$ -I ve H(I)-I eğrileri seri direnç bölgelerinde lineer doğrular vermelidir. Grafikte görüldüğü gibi diyot seri direnç bölgelerinde lineer bölgeye sahip $dV/d \ln(I)$ -I grafiğinin eğiminden R_s ve y eksenini kestiği yerden $n(kT/q)$ değerleri hesaplanır. Benzer şekilde

H(I)-I eğrisinin eğiminden R_s ve y eksenini kestiği yerden Φ_b değeri bulunur. Her iki grafikten elde edilen R_s değerleri yöntemin doğruluğunu kontrol amaçlı kullanılır. Bu yöntemlerle elde edilen tüm sonuçlar Tablo 6.2’de gösterilmiştir. Bu metot ile numunenin idealite faktörü 1.33 ve seri direnç değeri ise 334 olarak bulundu, H(I)-I grafiğinde ise doğrunun I=0 düşey eksenini kestiği noktadan engel yüksekliği ($n\Phi_{bn}$) elde edilir. Burada n değeri denklem (6.3)’ten bulduğumuz $n=1,12$ olan değeridir. Bulduğumuz Φ_b değeri 0.86 eV dir. Bulduğumuz R_s değeri ise 301 Ω dur.



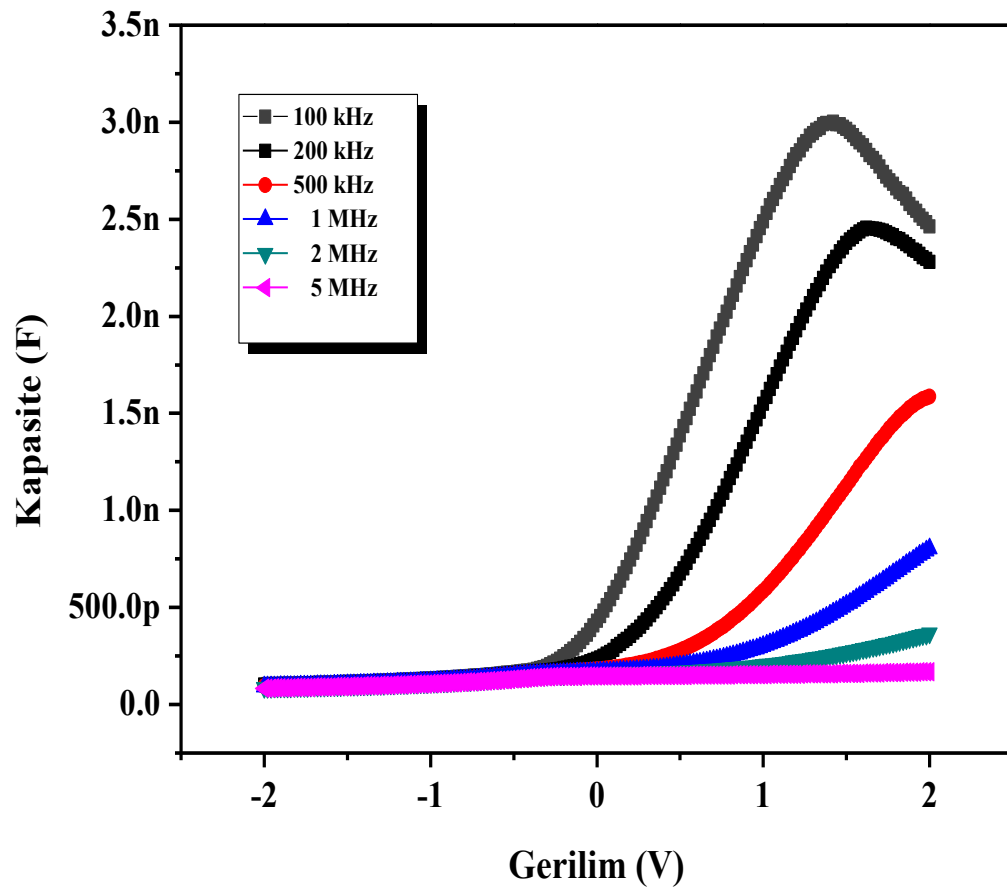
Şekil 6.3. Au/n-Si/Pyrene($C_{16}H_{10}$)/Au diyotuna ait Cheung fonksiyonlarından çizilen $dV/d\ln(I)$ -I ve H(I)-I grafiği

Tablo 6.1. Oluşturulan Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotunun Norde ve Cheung fonksiyonlarından hesaplanan elektriksel parametreleri.

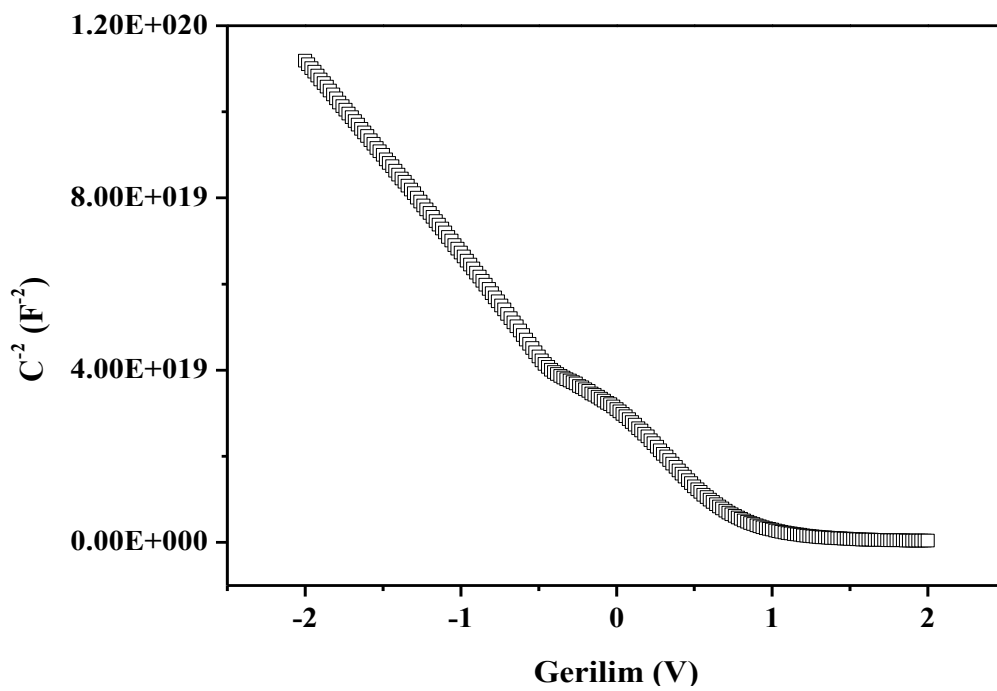
lnI-V			
n	Φ_b (eV)		
1,12	0,716		
Norde Fonksiyonları			
F(V) (V)	V (V)	Φ_b (eV)	R _S (Ω)
0,6604	0,23	0,75	180
Cheung Fonksiyonları			
dV/dln(I)		H(I)	
n	R _S (Ω)	Φ_b (eV)	R _S (Ω)
1,33	334	0,86	301

Tablo 6.2. Oluşturulan Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotunun lnI-V grafiğinden elde edilen elektriksel parametreleri

	lnI-V	dV/dln(I)	H(I)	Norde
n(eV)	1,12	1,33	-	-
Φ_b	0,716	-	0,86	0,75
R _S (Ω)	-	334	301	180



Şekil 6.4. Kapasite – Gerilim (C-V) grafiği

Şekil 6.5. C^{-2} - V grafiği

Tablo 6.3. Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au diyotunun C⁻²-V grafiğinden hesaplanan kapasite parametreleri

C ⁻² -V Grafiği			
V _{bi} (eV)	N _d (cm ⁻³)	E _f	φ _b
0,517	8,58x10 ¹⁴	0,254	0,772

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada (100) doğrultusunda büyütülmüş N tipi silisyum tabanlı altlığa ilk önce Altın(Au) omik kontak yapıldıktan sonra Pyrene C₁₆ H₁₀ organik maddesi vakumda buharlaştırma yöntemi kullanılarak 5.10⁻⁶ torr basınçta kaplama yapılmıştır. Daha sonrada Au maskeleyesi yapıp Au/n-Si/Pyrene(C₁₆H₁₀)/Au yapılı diyot elde edilmiştir. I-V eğrisinin lineer bölgesinden faydalanarak diyotumuzun temel elektriksel parametreleri olan Φ_b ve I_0 (I-V) eğrisinin lineer kısmının V= 0 değerine fit edilmesiyle elde edildi) Elde edilen diyotun engel yüksekliği 0,716 eV, idealite faktörü 1,12 olarak bulundu. İdealite faktörü bir diyotun ideale ne kadar yakın olduğunu gösterir. İdeal bir diyot için idealite faktörü 1'dir. İdealite faktörü 1'e yaklaştıkça diyotun ideale yaklaştığını 1'den uzaklaştıkça ideallikten uzaklaştığını gösterir. Diyotumuzun idealite faktörünün 1'den büyük çıkması kullandığımız ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direnç etkisine dayandırılabilir.

Elde ettiğimiz diyotun önce karanlıkta I-V ölçümleri alınmıştır. Yapılan ölçümler sonunda diyotun doğrultma özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

Diyotun lnI-V eğrisi yüksek gerilimlerde lineerlikten sapmaktadır. Bu sapsmalar ara yüzey diyotlardaki mevcut seri direnç etkisini göstermektedir. Diyota ait seri direnç değerleri Cheung tarafından geliştirilen metot ile hesaplanmıştır. Bu yöntemle önce $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafikleri çizilmiş ve bu grafikler yardımı ile diyotun idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnci hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonunda $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafiklerinden elde edilen seri direnç değerlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 6.1'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi bu yöntemle hesaplanan idealite faktörünün lnI-V grafiğinden elde edilen değerden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç seri direncin varlığına, ara yüzey durumlarının etkisine ve ara yüzey tabaka boyunca gerilim düşmesine dayandırılabilir.

Ayrıca yapının seri direnç değeri ve engel yüksekliği Norde tarafından ortaya konan model ile tekrar hesaplanmıştır. Bu yöntemle hesaplanan değerler Tablo 6.1’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonunda Norde yöntemi ile elde edilen seri direnç değerlerinin Cheung fonksiyonları ile hesaplanan değerlerden daha küçük olduğu görüldü. Bu değerlerin karşılaştırması Tablo 6.2’de verilmiştir. Bu durum ölçüm metotlarının farklı olmasından ve Norde fonksiyonlarının tüm doğru beslem değerleri üzerinde hesaplanırken, Cheung fonksiyonlarında sadece seri direnç bölgesinin hesaba katılmasına dayandırılabilir.

Daha sonra elde ettiğimiz diyotun C-V ölçümleri alınmış ve diyotta düşük frekanslarda kapasite değerinin frekans artarken arttığı görülmüştür. Bu durum düşük frekanslarda AC sinyalinin elektronlar tarafından takip edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca yeterince yüksek frekansta alınan C-V ölçümleri ara yüzeydeki yüklerin AC sinyallerini takip edemediğini göstermektedir. Diyotun engel yüksekliği ayrıca ters besleme $C^{-2}-V$ eğrisinden de hesaplanmıştır. . Bu yöntemle hesaplanan değerler Tablo 6.3’te verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonunda ters besleme $C^{-2}-V$ eğrisinden hesaplanan değerlerin $\ln I-V$ eğrisinden hesaplanan değerden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum kapasitenin tükenim bölgesindeki potansiyel dalgalanmaya karşı hassas olmamasına ve ölçülen engel yüksekliği değerinin engel yüksekliği dağılımının ortalama değeri olmasına, buna karşın ara yüzeyden geçen akımın engel yüksekliğine üstel olarak bağlı olmasına ve ara yüzey dağılımına karşı hassas olmasına dayandırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkılıç, K., Kılıçoğlu, T., Türüt, A., Linear Correlation Between Barrier Heights and Ideality Factors of Sn/n-Si Schottky Diodes With and Without the Interfacial Native Oxide Layer. *Physica B*, 337: 388-393, 2003.
- Aktaş, Y., Ftalosiyenin İnce Filmlerin Elektriksel ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006
- Ambica, M., Losurdo, M., Capezzuto, P., Bruno, G., Ligonzo, T., Schiavulli, L., Farella, I., Augelli, V., *Solid State Electronics*, 49: 413-419, 2005.
- Archer, R.J., and Atalla, M.M., *Am. Acad. Sci.*, NY, 101: 697, 1963.
- Aydın M.E., Akkılıç K. ve Kılıçoğlu T., The Importance of the Neutral Region Resistance for the Calculation of the Interface State in Pb/p-Si Schottky Contacts. *Physica B*, 352: 312-317, 2004.
- Braun, F., Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle, *Ann. Physik Chem.*, 153: 556-563, 1874.
- Brütting, W., *Physics of organic semiconductors*, Wiley-Vch-Verlag, Weinheim, 2005.
- Bose, J.C., U.S. Patent, 775. 840, 1904.
- Boy, Feza., Organik Ara yüzeyli GaAs Schottky Diyotların Elektriksel karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.
- Bengi, A., Altındal, S., Özçelik, S., Mammadov, T.S., Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al_{0.24}Ga_{0.76}As/GaAs structures, *Physica B: Condensed Matter*, 396: 22-28, 2007.
- Chattopadhyay, P., and Daw, A.N., On the Current Transport Mechanism in a Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) diode. *Solid State Elect.*, 29: 555-560, 1986.
- Card, H.C., and Rhoderick, E.H, Studies of Tunnel MOS Diodes I. Interface Effects in Silicon Schottky Diodes. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 4: 1589-1601, 1971.
- Crowell, C.R., Sarace, J.C. and Sze, S.M., Surface State and Barrier Height of Metal-Semiconductor Systems. *Trans. Metal. Soc. AIME*, 233: 478, 1965.

Cheung, S.K., and Cheung, N.W., "Extraction of Schottky diode parameters from forward current- voltage characteristics," *Appl. Phys. Lett.*, 49: 85- 87, 1986.

Çakar, M., Temirci, C., Türüt, A., *Synthetic Metals*, 142: 177–180, 2004.

Çetinkara, H.A., Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayınlanmamış), 1996.

Saglam, M., Türüt, A., ve Yalçın N., The Effects of the Time – Dependent and Exposure Time to Air on Au/Epilayer n-Si Schottky Diodes. *Eur. J. Appl. Phys.*, 6: 89-94, 1999.

Türüt, A., Zengin, D.M., ve Erel, S., The Energy Distribution of the Interface State Density of Pb/p-Si Schottky Contacts Exposed to Clean Room Air. *Appl. Sur. Sci.*, 207: 190-199, 2003.

El-Nahass, M.M., Zeyada, H.M., Aziz, M.S., El-Ghamaz, N.A., Carrier transport mechanisms and photovoltaic properties of Au/p-ZnPc/p-Si solar cell, *Solid-State Electronics*, 49: 1314-1319, 2005.

Gomila, G., and Rubı M., Relation for the Nonequilibrium Population of the Interface States: Effects on the Bias Dependence of the Ideality Factor. *J. Appl. Phys.*, 81: 2674-2681, 1997.

Güllü, Ö., Asubay, S., Aydoğın, Ş., Türüt, A., Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device, *Physica E*, 42: 1411-1416, 2010.

Henisch, H.K., *Semiconductor Contacts*, Celerondon Press, New York, 1984.

Klauk, H., "Organic Transistors," *Organic Electronics Materials Manufacturing and Applications*, Wiley-Vch Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 4, 2006.

Kumar, P., Misra, A., Kumar, D., Dhama, N., Sharma, T.P., Dixit, P.N., Structural and optical properties of vacuum evaporated, *Optical Materials*, 27: 261, 2004.

Kutluca, H., Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

Li, S.S., *Semiconductor Physical Electronics*, Springer, New York, 2006.

Ma, L., Ouyang, J., and Yang, Y., "High-speed and high-current density C60 diodes," *Appl. Phys. Lett.*, 84: 4786-4788, 2004.

Mott, N.F., Note on the Contact Between a Metal and an Insulator or Semiconductor, *Proc. Camb .Phil. Soc.*, 34: 568-572, 1938.

Mottram, J.D., Northrop, D.C., Reed, C.M. and Thanailakis, A., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 12: 773, 1979.

Norde, H., "A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance," J. Appl. Phys., 50: 5052-5054, 1979.

Pauling, L., The Nature of the Chemical Bond, 3rd editon, New York, Cornell University Pres, 1962.

Rockett, A., The materials science of semiconductors, Springer-Verlag, New York, 2008.

Ocak, Y.S., Kulakçı, M., Kılıçoğlu, T., Turan, R., Akkılıç, K., Synthetic Metals, 159: 1603-1607, 2009.

Ocak, Y.S., Organik-İnorganik Hbrit yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karekterizasyonu, Doktora Tezi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2010.

Ocak, Y.S., Ebeoğlu, M.A., Topal, G., Kılıçoğlu, T., Physica B, 405: 2329–2333, 2010

Oral, D.D., Silisyum Tabanlı Organik-İnorganik Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2012.

Oktay, G., Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Yöntemi, Galvanoteknik, 2006. Ürgen, M., Modern Surface Modif. Tech. Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul, 2005.

Pauling, L., The Nature of the Chemical Bond, 3rd editon, New York, Cornell University Pres, 1962.

Reis, F.T., Mencaraglia, D., Ould, S.S., Seguy, I., Oukachmih, M., Jolinat, P., and Destruel, P., "Electrical characterization of ITO/CuPc/Al diodes using temperature dependent capacitance spectroscopy and I–V measurements," J. Non-Cryst. Solids., 338–340: 599–602, 2004.

Rhoderick, E.H., and Williams, R.H., "Experimental Studies of Metals on Semiconductors" Metal-Semiconductor Contacts, Clarendon Press, Oxford, 1-100, 1988.

Rockett, A., The materials science of semiconductors, Springer-Verlag, New York, 2008.

Schottky, W., Halbleitertheorie der Sperrschicht, Naturwissenschaften., 26: 843-843, 1938.

Sağlam, M., Cimilli, F.E., Türüt, A., Physica B, 348: 97–403, 2004.

Saglam, M., Ayyıldız, E., Gümüş, A., Efeoglu, H., ve Tüzemen, S., Series Resistance Calculation for the Metal-Insulator-Semiconductor Schottky Barrier Diodes. Appl. Phys. A, 62: 269–273, 1996.

So, F., Organic Electronics; Materials, Processing, Devices and Applications, CRC Press, Boca Raton, 2010.

Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, Wiley, New York 134-153, 1981.

Sze, S.M., Kwok, K. Ng, , Physics of Semiconductor Devices, third ed., Wiley, 2007.

So, F., *Organic Electronics; Materials, Processing, Devices and Applications*, CRC Press, Boca Raton, 2010.

Schroder, D.K., *Semiconductor Material and Device Characterization*, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, 2006.

Sharma, B.L., *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junction and Their Applications*, Plenum Press, New York, 1984.

Tatar, B., Bulgurcuoğlu, A. E., Gökdemir, P., Aydoğan, P., Yılmaz, D., Özdemir, O., Kutlu, K., *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 5208-5212, 2009.

Türküz, C., *Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.

Türüt, A., ve Sağlam, M., *Determination of the Density of Si-Metal Interface States and Excess Capacitance Caused by Them*. *Physica B*, 179: 285-294, 1992.

Yalçın, N., ve Sağlam, M., *Parameter Extraction from Non-ideal CV Characteristics of a Schottky Diode With and Without Interfacial Layer*. *Solid State Electron*, 35: 835-841, 1992.

Turner, M.J., and Rhoderick, E.H., *Metal-Silicon Schottky Barriers*. *Solid-State Elect.*, 11: 291-300, 1968.

Thanailakis, A., *Proc. Manchester Conf. Metal-Semiconductor Contacts*, p. 59. Institute of Physics, London, 1974.

Contacts between Simple Metals and Atomically Clean Silicon. *J. Phys. C: Solid-State Phys.*, 8: 655-668, 1975.

Rasul, A., *J. Phys. C: Solid-State Phys.*, 9: 337, 1976.

Van Otterloo, J.D. ve Groot, J.G., *Relation between Interface States and Temperature Behavior of the Barrier Height of Silver Contact on Clean Cleaved N-Type Silicon*. *Surf. Sci.*, 57: 93-108, 1976.

Gerritsen, L.J., *J. Appl. Phys.*, 49: 723-729, 1978.

Schottky Barriers on Clean-Cleaved Silicon. *Surface Sci. Lett.*, 104: 205-209, 1981.

Varma, R.R., McKinley, A., Williams, R.H. and Higginbotham, I.G., *Interface State and The Nature of Metal-Silicon Contacts*. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 10: 171-174, 1977.

Yakuphanoglu, F., Okur, S., Analysis of electronic parameters and interface states of boron dispersed triethenolemine/p-Si structure by AFM, I-V, C-V-f and G/w-V-f techniques, Mikroelectronic Engineering, 87: 30-34, 2010.

Ziel, A.V., Solid State Physical Electronics, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1968.

Zafer, C., Organik boya esaslı nanokristal yapılı ince film güneş pili üretimi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.

Wilson, A.H., The Theory of Electronic Semi-Conductor, Proc. Roy. Soc. A, 133, 458-491, 1931.

WU, C.Y., Interfacial Layer Theory of the Schottky Diodes. J. Appl. Phys., 51: 3786-3789, 1980.

ÖZGEÇMİŞ

1974'te Diyarbakır Çermik'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 1996 yılında Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünden mezun oldu. 1996 yılından itibaren Milli Eğitim Bakanlığında fizik öğretmeni olarak görev yapmaktadır.