



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK YARIİLETKEN KULLANILARAK ÜRETİLEN SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Fadimana ÜLKÜER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Ekim-2014

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fadimana ÜLKÜER
Tarih: 07.10.2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORGANİK YARIİLETKEN KULLANILARAK ÜRETİLEN SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Fadimana ÜLKÜER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Berna GÜLVEREN

2014, 55 Sayfa

Jüri
Doç.Dr. Berna GÜLVEREN
Doç.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
Doç.Dr. Mahmut KUŞ

Bu çalışmada, Al/perylene-diimide/ITO Schottky diyot üretilmiştir. Üretim aşamasında, ITO/cam alttaşın yüzeyi damlatma yayma yöntemi ile perylene-diimide (PDI) ile kaplanmış, daha sonra Aluminyum(Al) Schottky kontaklar organik malzeme üzerinde yaklaşık $5x10^{-6}$ Torr basınç altında 150 nm kalınlığında termal olarak buharlaştırılmıştır. Deneysel değerler elde edilmiş ve diyotun akım(I)-voltaj(V) grafiği çizilmiştir. I-V grafiğinin asimetrik doğası açık bir şekilde Schottky bariyer tipi davranışa sahip olduğunu gösterir. Bununla birlikte Alüminyum PDI ile doğrultucu kontak oluşturmuştur. Yapının elektriksel özellikleri üzerine detaylı analiz, termiyonik emisyon teorisi kabulu ile gerçekleşmiştir. I-V karakteristikleri kullanılarak, idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), ve diğer diyot parametreleri hesaplanmıştır. Bu amaçla,öncelikle klasik yöntem(ln(I)- V grafiği analizi) kullanılmıştır. Daha sonra, hesaplamalarda Cheung-Cheung metodu kullanılmıştır. Sonuçlar klasik yöntemle elde edilen sonuçlarla uyumludur. n idealite değeri birden çok büyüktür (n>>1). Hesaplanan n değrinin bir değerinden sapması oluşma-yeniden birleşme, arayüzey durumları gibi mümkün mekanizmaları gösterir.

Anahtar Kelimeler: Organik yarıiletkenler , perilen, Schottky diyot, termiyonik emisyon teorisi.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF ELECTRICAL CHARACTHERISTICS OF SCHOTTKY DIODES FABRICATED BY ORGANIC SEMICONDUCTORS

Fadimana ÜLKÜER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF SCIENCE IN PHYSICS

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Berna GÜLVEREN

2014, 55 Pages

Jury
Doç.Dr. Berna GÜLVEREN
Doç.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
Doç.Dr. Mahmut KUŞ

In this work, we have fabricated an Al/perylene-diimide/ITO Schottky barrier diode. In sample fabrication stage, the surface of ITO/glass substrate has been coated with perylene-diimide by drop casting method and then the Aluminium (Al) Shottky contacts have been thermally evaporated on the on the organic material with a thickness of 150 nm in a pressure of approximately $5x10^{-6}$ Torr. Experimental values are obtained and the Current(I)-Voltage (V) graph of the diode is drawn. The asymmetric nature of the I-V curve clearly indicates a Schottky barrier type behavior. Moreover Al forms rectifying contacts with PDI. Detail analysis on electronic properties of the structure is performed by assuming the standard thermionic emission model(TEM). By using I-V characteristics, the idealite factor (n), barrier height (Φ_b), and some other diode parameters have been calculated. For this purpose,first, conventional method (i.e lnI-V) graph anaysis) is used. Then , Cheung-Cheung method is employed to perform the calculation. The values are good agreement with ones which are obtained from convensional method. The ideality factor n is calculated as much bigger than unity n>>1. Deviations of calculated n value from the unity shows possible mechanisms as generation-recombination processes and the interface states .

Keywords: Organic semiconductor, perylene, Schottky diode, termionic emission theory

ÖNSÖZ

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen, bana manevi destek sağlayan ve beni bu konuda motive eden danışmanım sayın Doç. Dr. Berna GÜLVEREN'e teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca numunelerin hazırlanmasında, deneylerin yapılmasında ve sonuçların değerlendirilmesindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Ö. Faruk YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bununla birlikte fikir aşamasında Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU'ndan faydalanılmıştır. Al/PDI/ITO yapının hazırlanmasında Selçuk Üniversitesi Ar-Ge ve Fizik bölümü laboratuvarlarından faydalanılmıştır.Organik malzeme Doç. Dr. Mahmut KUŞ ve çalışma grubu tarafından temin edilmiştir. Desteklerinden dolayı hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Fadimana ÜLKÜER

KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

ÖNSÖZ ..... **v**

İÇİNDEKİLER ..... **vi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR (Devamı) ..... **viii**

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI **1**

2. ORGANİK YARIİLETKENLER **7**

2.1. Perilenler 10
2.2 Perilendiimidler 11

3. METAL YARIİLETKEN KONTAKLAR **12**

3.1. Metal- p tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar 14
3.2 . Metal- p tipi yarıiletken omik kontaklar 15
3.3 Metal- n tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar 17
3.4 Metal- n tipi yarıiletken omik kontaklar, ... 19
3.5 Metal - Organik Yarıiletken Kontakların Akım İletim Mekanizması 20
3.5.1 Termiyonik Emisyon Teorisi 20
3.6 Metal-Organik Yarıiletken Kontakların Akım-Voltaj Karakteristikleri 24

4. SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ **27**

4.1 Klasik Yöntem 27
4.2 Norde ve Norde Benzeri Yaklaşım 28
4.3 Cheung Cheung Metodu 35

5. ORGANİK YARIİLETKENLER KULLANILARAK DİYOT ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ **37**

6. ITO/PDI/Al SCHOTTKY DİYOTUN ÜRETİMİ VE ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ **42**

6.1 Deneysel Prosedür 42
6.2 Ölçüm Sonuçları ve Tartışma 44

7.YORUM VE ÖNERİLER **48**

KAYNAKLAR **50**

ÖZGEÇMİŞ **56**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	**Açıklamaları**
A	Alan
Å	Angström
A^*	Etkin Richardson sabiti
Al	Alüminyum
Ag	Gümüş
Au	Altın
B	Bor
C	Sığa
C_{60}	Karbon fulleren
C-V	Sığa-Gerilim
CVD	Kimyasal buhar çöktürme
cm^2/Vs	Santimetrekare / volt saniye
d	Yalıtkan tabaka kalınlığı
DAG	Diazoamino glyoxime
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_f	Fermi enerjisi
eV	Elektron volt
Ge	Germanyum
g (E)	Durum yoğunluğu
HOMO	En yüksek enerjili dolu orbital
H_2O	Su
h	Planck sabiti
ħ	İndirgenmiş Planck sabiti ($h/2\pi$)
I	Akım
I_o	Doyma akımı
I_m	Minimum akım
I-V	Akım-Gerilim
ITO	İndium Tin oxide
J	Akım yoğunluğu
K	Kelvin
k	Boltzmann sabiti
LUMO	En düşük enerjili boş orbital
MIS	Metal/yalıtkan/yarıiletken
MS	Metal/yarıiletken
μ_n	Elektron mobilitesi
μ_h	Deşik (hole) mobilitesi
m_e^*	Elektron etkin kütlesi

SİMGELER VE KISALTMALAR (Devamı)

m_h^*	Deşik (Hole) etkin kütlesi
m_o	Serbest elektron kütlesi
N_d	Verici (donor) atom yoğunluğu
N_a	Alıcı (akseptör) atom yoğunluğu
N_c	İletkenlik bandındaki etkin durumların yoğunluğu
N_v	Değerlik bandının etkin durumların yoğunluğu
n	İdealite faktörü
OLED	Organik ışık yayan diyotlar
OTFT	Organik alan etkili ince film transistörler
PANI	Polianiline
POT	poli(o-toluidine)
PEDOT	propylene karbonat
PTCDA	(perilen-3,4:9,10-tetrakarboksilik asit dianhidrid)
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
PLD	Lazer ile buharlaştırma
PDI	Perylene diimide
PMI	Perylene monoimide
q	Elektrik yükü
R_s	Seri direnç
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık
V	Voltaj
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru beslem
V_R	Ters beslem
W_d	Tüketim tabakasının kalınlığı
υ_x	Taşıyıcı hızı
Φ_b	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{b0}	Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_e	Etkin potansiyel engel yüksekliği
Ω	Ohm
ρ	Özdirenç
X_s	Elektron ilgisi
π	Pi sayısı

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde ihtiyaçların değişip farklılaşması, elektronik endüstrisi alanında yapılan çalışmaların yönelimini belirlemiştir. Çalışmaların temelinde katıların elektriksel özelliklerini araştırmak ve uygun koşullarda devrelere uyarlayabilmek yatmaktadır. Katıların elektriksel özelliklerinin incelenmesi ve elektronik devrelerde kullanılması hakkındaki ilk çalısma 1874 yılında Braun tarafından metal-yarıiletken yapılar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Braun; çalıştığı metal yarıiletken kontakları ilk olarak radyo dedektörlerinde daha sonra radar dedektörü ve entegre devrelerde kullanmıştır. Yarıiletken devre elemanları 1900'lü yıllarda ilk olarak nokta kontak olarak adlandırılan metal yarıiletken diyot şeklinde üretilmiştir(Bose, 1904). Nokta kontaklar, mekanik güvenirliklerinin az olması ve üretimde pratik olmamaları nedeniyle zamanla yerlerini p-n eklem diyotlara bırakmıştır. Metal-yarıiletken kontaklarla ilgili ilk ciddi çalışma 1930 yılında Walter Schottky tarafından yapılmıştır. Eklem alanı üzerinde daha homojen kontak potansiyeli ve akım dağılımı elde etmek için yarıiletken yüzeyine sınırlı alanlarda metal buharlaştırarak oluşturulan bu kontaklara Schottky kontaklar denilmiştir.

Schottky diyotlar, katıhal elektroniğinde kullanılan en eski ve en basit devre elemanlarından biridir. Metal yarıiletken devre elemanlarının birleştirilmesi ile oluşturulan bu yapıda bir eklem bölgesi meydana gelir. Elektron ve hollerin kolayca geçemeyeceği bu bölgede bir enerji engeli oluşturur. Bu engelin uygulanan gerilimle artması veya azalması ile akım taşıyıcılarının bir yönden diğerine geçişi kontrol edilebilir(Azoroff ve Brophy 1963).

Schottky engel diyodlar, daha önce yapılmış olan nokta kontak diyotlara göre daha düşük seri direnç, düşük gürültü karakteristiği ve yüksek güç kapasitesine sahip olmalarından dolayı teknolojide büyük önem arz ederler. Ticari anlamda Schottky diyotlar, entegre unipolar devrelerde çoğunluk taşıyıcılarının yüksek hızda iletim sağlamaları sebebiyle avantaj sağlamaktadırlar.

Yarıiletkenlerin cinsine göre birçok yöntemle Schottky diyot hazırlanabilmektedir. Bazı diyot hazırlama yöntemleri şunlardır; fiziksel buhar biriktirme (PVD),termal buharlaştırma, saçtırma (Sputtering), lazer ile buharlaştırma (PLD), kimyasal buhar çöktürme (CVD), Sol-jel yöntemi, spin kaplama yöntemi, drop casting yöntemi (damlatma- yayma)'dir(Shirota,Strohriegl,Grazulevicius, 2005).

Kontak ara-yüzey durumu, seri direnç, metal ile yarı iletken arasındaki oksit tabaka, sıcaklık gibi faktörler göze alınarak akım-iletim mekanizmaları belirlenebilir ve elektriksel karakterizasyonu yapılabilir. Başlıca akım iletim mekanizmaları; termionik emisyon teorisi, difüzyon teorisi, termionik emisyon-difüzyon teorisi, kuantum mekaniksel tünelleme termionik alan teorisi, uzay yük bölgesinde yeniden birleşme, yüksüz bölgede yeniden birleşme ve deşik enjeksiyonudur(Şimşek, 2006; Boy, 2013). Litereatürde ilk olarak metal - vakum sistemlerinin akım iletim mekanizmaları Rıchardson tarafından 1921 yılında termiyonik emisyon olayı ile açıklanmıştır (Rıchardson, 1921). Bethe, Rıchardson'nin termiyonik emisyon olayını metal yarıiletken kontaklarda uygulanabileceğini göstermiştir(Bethe, 1942). Schottky'nin difüzyon ve Bethe'nin termiyonik emisyon teorilerini Crowel ve Sze 1965'te tek bir teori (emisyon-difüzyon teorisi) olarak birlşetirmiştir (Crowel ve Sze, 1965). 1960'ın başlarında Conley ve Stratton engel tabanında gerçekleşen alan emisyon tünelleme olayını açıklamıştır.

Metal Yarıiletken kontakların elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasında kullanılan arayüzey malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Metal yarıiletken kontakların arayüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü, gibi diyota ait parametreleri değiştirmektedir. Bu nedenle, kullanılan arayüzey malzemesi, direkt olarak malzemenin özelliklerini performansını ve verimini etkiler(Sze, 1981; Rhoderick, 1978). 1979 yılında Norde tarafından ideal 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 geliştirilmiştir. 1986 yılında Cheung ve Cheung tarafından akım yoğunluğunun lineer fonksiyonları yardımıyla çizilen grafiklerden hem ideal hem de ideal olmayan durumda diyot parametrelerinin elde edilmesini sağlayan farklı bir model sunulmuştur.

Schottky cihazların elektriksel özellikleri organik yarıiletkenler kullanılarak önemli ölçüde değiştirilebilir. 1987'de ilk organik diyot Eastman Kodak'ta Ching W. Tang and Steven Van Slyke tarafından üretilmiştir. Daha sonraki yıllarda, iletken organiklerle oluşturulan cihaz üretimi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmış, 2000 yılında Nobel fizik ödülü, kimya dalında iletken polimerler üzerinde yaptıkları çalışma ile Alan J.Heeger, Alan G. MacDiarmid, and Hideki Shirakawa 'ya verilmiştir. Son on yıllarda iletken organiklerle oluşturulan cihaz üretimi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Çeşitli organik yarıiletkenler ve onların türevleri kullanılarak, Schottky

diyotlar hazırlanmakta ve elektronik karakterizasyonu yapılmaktadır. Organiklerin ilgili alandaki etkileyici gelişimi, ileride polimer tabanlı elektronik cihazların bilgisayar hafıza ve bilgisayar ciplerinde silikonun yerini alabileceğini göstermektedir.

Organik yarıiletkenler, diyot uygulamalarının yanında organik alan etkili ince film transistörler (OTFT), organik ışık yayan diyotlar (OLED), organik güneş pilleri, lazer boyaları ve organik foto-voltaikler gibi elektronik aygıt teknolojisinde oldukça geniş bir alanda uygulamaya sahiptirler (Kumar, 2009; Sutty, Williams, Aziz, 2013). Organik yarıiletkenleri bu kadar yaygın yapan özelliği, ilginç elektronik özellikleri, bu malzemelerin geniş yüzeylere uygulanabilir olması, mekaniksek olarak esnek ve oldukça ucuz olmalarının yanında kolay ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulamaya özgün sentezlenebilen malzeme özelliklerine sahip olmalarıdır(Aydın, 2007; Ceron Solis).

Elektriksel optiksel ve dielektrik özellikleri sebebiyle mikro-elektronik cihazların üretiminde kullanılabilecek perylene, pentacene, poly(3-octylthiophene), Rhadomine B, Poly(o toluidine), polianilin…. gibi pek çok polimer mevcuttur (Perez, 2007 ; Lee, 2002). Örneğin; organik yarıiletkenler arasında n tipi yarıiletken olan perylen ve türevleri elektron alıcı ve taşıyıcı özellikleri, ısısal ve foto karalılığı, soğurma kabiliyeti ve yüksek floresans yeteneği sebebiyle son yıllarda oldukça ilgi çekici hale gelmiştir. Bu malzemeler alan etkili transistörler, floresans güneş toplayıcıları, elektro-fotoğrafik cihazlar, lazer boyaları, organik LED lambalar gibi daha birçok organik elektrik uygulamalarında kullanılmaktadırlar(Cormier, 1997; Kuş, 2008). Polianiline (PANI), p tipi bir yarı iletken olarak iyi çevresel kararlılığı iyi iletkenliği sebebiyle oldukça ilgi görmüştür(Mısra, 1994; Mac Diarmid, 1981). PANI türevleri içerisinde poli(o-toluidine)(POT), içerisinde kloroform ve türevleri gibi organik çözücüler içerisinde en iyi çözülen organik olarak literatürde verilmiştir(Elmansouri, 2010). Poly(3-octylthiophene)'nin oksitli şeklinin kararlılığı yüksek iletkenliği ilginç elektrokimyasal davranışı, bu malzemeyi elektro-kimyasal süper kapasitörlerde elektrot malzemesi olarak kullanılmasını mümkün kılar(Gnanakan, 2009; Osiris, 2011). Bunun yanında bu malzeme cihaz teknolojisinde pek çok avantaja sahiptir, düşük maliyetli malzeme olması basit üretim teknikleri kullanılabilmesi moleküler yapısının oldukça geniş seçeneklere sahip olması diğer önemli özellikleridir. Pentacene, yüksek alan etki hareketliliği sebebiyle organik ince film transistörler için uygun yarı iletken malzemedir (Lin, 1997; Lee, 2002).

Schottky diyotunun performansı, metal inorganik malzeme arasına organik malzeme eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu amaçla birçok araştırmacı Schottky kontakların ara yüzeyinin organik malzeme ile modifiye edilmesi sonucu diyotların elektrik özelliklerinin değişimi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Örneğin; poly(3-4-ethylenedioxithiophene)-block-poly(ethylene glycol) organik arayüzeyde GaAs schottky diyotların elektronik özellikleri Aydın ve ark. (2011) tarafından analiz edilmiştir. Bu çalışmada metal/ yarıiletken arayüzeyin propylene karbonat (PEDOT) film ile modifye edilmesi ile oluşturulan Au/PEDOT/n-GaAS/In schottky diyotun organik özelliklerinin organik arayüzey eklenmesi ile nasıl değiştiği tartışılmıştır(Aydın ve Ark. 2011). Bununla birlikte Kampen ve ark. (2002) tarafından akım-voltaj (I-V) ve sıga-voltaj (C-V) ölçümleri kullanılarak bariyer yüksekliği Ag/n-GaAS(100) schottky kontaklarda PTCDA arayüzey modifikasyonu yapılarak hesaplanmıştır. Yüksel ve ark. (2013) tarafından Au/perylene-monoimide/n-Si ve Au/PMI/p-Si diyotların I-V, C-V ,idealite faktörü , seri direnç , bariyer yüksekliği, termiyonik emisyon teorisi kullanılarak 75K-300 K aralığında hesaplanmıştır.Ayrıca yapılan çalışmada cihaz performansının sıcaklık organik arayüzey modifikasyonu gibi etkilerle nasıl değiştiği tartışılmıştır. Sonuçların ideal diyot davranışından sapmasının fiziksel açıklamaları görüntü kuvveti düşürücü oluşma-tekrar birleşme işlemleri ve arayüzey durumları gibi bazı mekanizmalarla birleştirilerek açıklanmıştır (Tung, ve ark., 1992; Card ve Rhoderick, 1971). Bununla birlikte, bu çalışmalarda silisyum çeşidinin (n yada p tipi) perylene monoimide(PMI) katkılı Schottky cihazların performansını nasıl değiştirdiği tartışılmıştır.

Organiklerin yukarıda örnekleri verilen metal/inorganik kontak ara yüzey modikasyonunu sağlamak amacıyla kullanımının dışında, literatürde, inorganiklerin yerine doğrudan kullanılarak Schottky diyot oluşturulması üzerine yapılan uygulamaları da mevcuttur. Örneğin; Elmansouri ve ark. (2010) ITO/POT/Al cihazları, indium tin oxide(ITO) kaplı cam üzerinde depozite ettikleri film üzerinde termal buharlaştırma yöntemiyle oluşturdukları dairesel aluminyum kontaklar oluşturarak üretmişlerdir(Elmansouri ve ark., 2010). Bu cihazların lineer olmayan I-V karakteristiklerinden doğrultucu davranış gösterdiği ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, ITO/DAG/In Schottky diyot n tipi diazoamino glyoxime(DAG) kullanılarak üretilmiştir(Sharma, 2001). I-V ölçümlerinden enjeksiyon ve taşınım özelliklerinin negatif yük taşıyıcıları tarafından gerçekleştirildiği ortaya konulmuştur. DAG ‘nin n tipi bir malzeme olduğu ITO ile Schottky bariyer oluşturduğu çoğunluk taşıyıcıların

elektronlar olduğu sonucuna varılmıştır. ITO/poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulphonate)(PEDOT-PSS)/POLYMER/Al heteroyapı diyot Şahingöz ve ark.(2006) tarafından üretilmiştir. I-V karakteristikleri doğrultma özelliğini açıklamak amacıyla çalışılmıştır. Diyotun bununla birlikte aydınlık ortamda I-V karakteristiği araştırılmıştır. Diyotun idealite faktörünün birden büyük olması sebebiyle ideal olmayan I-V davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Bu iletim mekanizması kullanılarak bariyer yüksekliği, idealite faktörü gibi diyot parametreleri sırasıyla 0.71 ev ve 2.07 olarak bulunmuştur. Osiris ve ark. (2010) tarafından Al/P3OT/ITO cihazın ara yüzey yoğunluk dağılımı ve karakteristik parametreleri çalışılmıştır. İdealite faktörü, seri direnç bariyer yüksekliği düz beslem akım yoğunluğu-voltaj (J-V) karakteristiklerinden elde edilmiştir. J-V ve C-V karakteristiklerinin lineer olmayan davranışları ara-yüzeylerin varlığı ve seri dirençle bağlantılı olarak açıklanmıştır.

Bilindiği gibi perylene organik yarıiletkenler arasında, kararlı anyon ve dianyon oluşumuna yol açan özellikleri nedeniyle yakın kızılötesi yayıcılar, elektrokromik aygıtlar ve lüminesans içeren uygulamalarda ilgi çekici malzemeler arasındadır (Kuş ve ark., 2008; Lee ve ark., 1999). Bununla birlikte, bu malzemenin doğrudan inorganik malzeme yerine kullanılması ile oluşturulan Schottky diyotun elektriksel özelliklerini belirlemek oldukça ilginçtir.

Bu amaçla, Al/Perylene Diimide(PDI)/ITO organik arayüzeyli Schottky diyot Perilendiimide(PDI) organik yarıiletkenin sıvı-kristal formu kullanılarak üretilmiştir. Üretim aşamasında perylene diimide, damlatma yayma (drop-casting) yöntemi kullanılarak ITO üzerinde büyütülmüştür. 1cm çapındaki dairesel Al kontaklar termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak 5.10^{-6} Torr basınç altında oluşturulmuştur. Akım-Gerilim (I-V) ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Diyot hazırlama aşamasında sentezlenmiş hazır organik malzeme kullanılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen veriler kullanılarak bu yapıya ait idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_b), kontak direnci (R_s), doyma akımı (I_0) gibi çeşitli diyot parametreleri hesaplanmıştır. Diyotun I-V grafikleri çizilmiştir. Sonuçlar ideal diyot karakteristiği ile karşılaştırılıp tartışılmıştır.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, Schottky organik kontakların tarihsel gelişimi ve literatür araştırma özeti verilmiştir. İkinci bölümde, yarıiletkenlerin ve Schottky organik yarıiletken diyotların özelliklerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde metal yarıiletken kontak teorisi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, Schottky diyot parametrelerinin I-V grafiklerinden elde edilme yöntemleri olan; klasik yaklaşım ,

Norde ve Norde benzeri yaklaşım ve Cheung-Cheung yöntemleri örneklerle açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise, organik yarıiletkenlerin Schottky diyotlarda metal inorganik yarıiletken arayüzey modifikasyonu amacı ile kullanımından bahsedilmiş olup, altıncı bölümde Al/PDI/ITO Schottky diyotun üretim aşamaları anlatılmıştır. Diyotun elektriksel parametreleri belirlenmiş olup son olarak sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. ORGANİK YARIİLETKENLER

Yarıiletken aygıtlar günlük hayatta sık olarak kullandığımız telefon bilgisayar gibi cihazların elektronik bileşenlerini oluşturur. Günümüz teknolojisinde kullanılan güç tüketen aygıtların büyük bir çoğunluğu yarıiletken malzemelerdir.

Yarıiletkenler oda sıcaklığında 10^{-2} den 10^{9} ohm-cm ye kadar ve sıcaklıkla hızla değişen elektrik özdirençleriyle sınıflandırılırlar. Özdirenci 10^{14}cm'den büyük olan maddelere yalıtkan denirse mutlak sıfırda saf yarıiletkenlerin çoğu yalıtkan olurlar(Kittel, 1996).

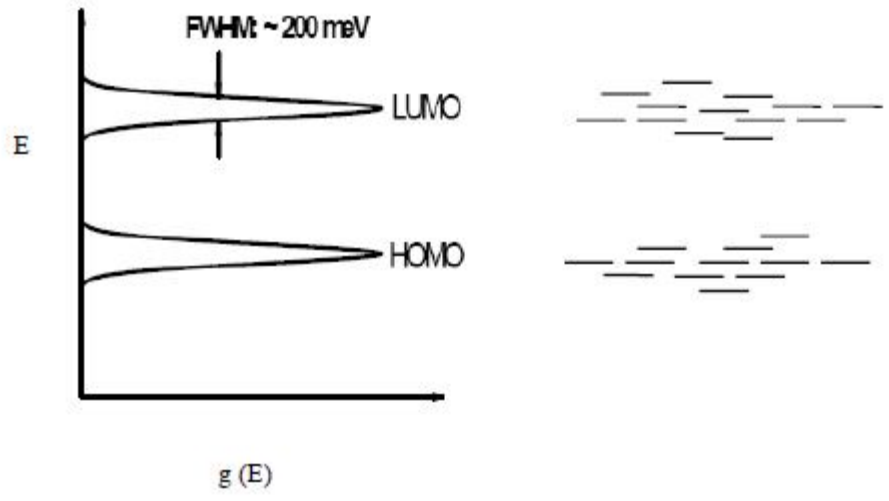
Yarıiletken malzemelerin sayısı oldukça fazladır. Element ve bileşik formunda bulunurlar . Yarıiletkenler doğal(ıntrinsic) yarıiletkenler ve katkılı(extrinsic) yarıiletken olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Doğal yarıiletkenler, kusur veya safsızlık içermeyen dışarıdan başka bir madde ile katkılanmamış ve Eg yasak enerji aralığı iletkenlerle yalıtkanlar arasında yer alan malzemelerdir.

Katkılı yarıiletkenler; yarıiletken malzemeye malzeme içerisindeki elektron veya deşik yoğunluğunu artırmak amacıyla kontrollü miktarda safsızlık atomunu eklenmesi ile gerçekleşir.

Katkısız bir yarıiletken safsızlık atomlarıyla katkılandırıldığında, malzemenin mevcut elektronik durumları değişir ve yarıiletkenin özelliğinde önemli değişiklikler oluşur. Bu özellikler safsızlıklara bağlı olduğundan, malzeme katkılı yarıiletken olarak adlandırılır. Safsızlık atomlarıyla meydana gelen iletkenliğe de katkılı iletkenlik denir. Örneğin, IV. grup elementi olan silisyum (Si) kristali, III. grup elementi olan bor (B) atomu ile katkılandırıldığında, bor atomunun en dış yörüngesinde bulunan 3 elektron, Si kristalinin dört serbest elektronunun üçü ile bağ yapar. Silisyum ile bor atomu arasında bir bağ boşta kalır, bu boş bağ pozitif yük taşıyıcısı olarak davranır ve iletim boşluklar tarafından sağlanmış olur. Bu durumda, çoğunluk taşıyıcıları boşluklar olduğundan bu tür malzemelere p-tipi yarıiletkenler denir. Eğer IV. grup elementi olan Silisyum kristali , V. grup elementi olan arsenik (As) atomu ile katkılandırıldırılırsa, As atomunun en dış yörüngesinde bulunan 5 elektrondan 4 tanesi, Silisyumun atomuyla kovalent bağ yaparlar. Geride kalan bir elektron ise zayıf bağlı olarak kalır. Katkılanan As atomu serbest elektron vermek suretiyle akıma katkı sağlar. Bu durumda çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olduğundan bu tip yarıiletkenlere, n-tipi yarıiletken malzemeler denir. Yarıiletlenler, organik ve inorganik olmak üzere iki grupta incelenebilir.

İnorganik yarıiletkenler çoğunlukla yapılarında karbon(C) -hidrojen(H) bağı içermeyen maddelerdir. İnorganik malzemeler, kristal olarak bilinir ve elektronik aygıtlarda (ışık yayan diyotlar-LED, Si tabanlı alan etkili transistörler, vb.) aktif malzeme olarak kullanılır (Sze, 1981). İnorganik yarıiletkenlerin yapısı oldukça serttir. Günümüz teknolojisinde halen üretilen çiplerin % 95 inden fazlasını silisyum(Si) olusturmaktadır. Ancak yüksek alt yapı ve işletim maliyeti sebebiyle dezavantajlara sahiptir. İnorganik yarıiletken malzemelere örnek olarak silisyum (Si), germanyum (Ge) ve galyum arsenik (GaAs) verilebilir. Bunlar aynı zamanda katkısız, katkılı ve bileşik yarıiletkenler sınıfındaki bazı yarıiletkenleri de kapsar.

Organik yarıiletken yapılar karbon(C) ve hidrojen(H) atomlarından meydana geldikleri için organik yarıiletkenler olarak adlandırılırlar. Organik yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliği sıcaklıkla üstel bir artış göstermektedir. Organik malzemelerde elektronlar tarafından işgal edilen dolu olan en yüksek enerji orbitali (Highest Occupied Molecular Orbital) HOMO boş olan en düşük enerji orbitali (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) LUMO adı verilir(şekil 2.1). Polimerin birçoğunda HOMO ve LUMO arasında geniş bir yasak enerji aralığı vardır, bu sebeple yalıtkandırlar. İletken polimerler ise konjuge bağlardan oluşmaktadır. Konjugasyon arttıkça HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasındaki fark gittikçe azalır. Böylece bantlar arası mesafe azaldığı için bu tür konjuge olmuş polimerler yarıiletken gibi davranarak düşük voltaj uygulandığında elektrik akımını iletirler. İletken polimerlere örnek olarak poliasetilen, politiyofen, polipirol gibi polimerler verilebilir



Şekil 2.1. Organik bir yarıiletkende HOMO ve LUMO seviyeleri

Organik yarıiletkenler, polimerler ve monomerler olmak üzere iki sınıftan oluşmaktadır. Monomerler kendini tekrarlamayan küçük moleküllerdir. Monomerlerin bağlı zincirlerinden (basit polimerler) tekli veya iki ya da daha fazla monomerin (kopolimer) birleşmesinden polimerler oluşur. Monomer veya polimer olsun tüm elektronik malzemeler konjuge bağlardan ana zincir içerir. Bu yapı, moleküldeki iletkenliğin sağlanması için oldukça önemlidir(Rockett, 2008). Hem monomer hem de polimer malzemeler, konjuge bantların temel unsurudur. 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 malzemelerin yapıları 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 bir yarıiletkende yük taşıyıcıları hareket ettiği zaman kusurlardan, düzensizliklerden ya da polarizasyondan kaynaklanan potansiyel tarafından lokalize olurlar. Yük iletimi, ısısal 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} cm^2/Vs değerine yaklaşır.

Organik yarıiletkenler de inorganikler gibi kullanılan polimer zincirlerine istenildiği kadar molekül bağlanılarak p veya n tipi hale getirilebilirler. Örneğin; transistör teknolojisinde kullanılan boşlukların(hole) iletkenlikte rol aldıgı p tipi organik yarıiletken olan pentacene bu alandaki ilk organiktir. Bunun yanında rubrene , anthracene, polianiline, oligothiopheneler p tipi, perylene ve türevleri, aromatic bis-imideler, fluorinated pentacene, C_{60} türevleri ise n tipi yarıiletkenlere örnek olarak verilebilir.

İnorganik malzemeler ve organik malzemeler karşılaştırılırsa (Çizelge 2.1), inorganik malzemelerin fotoiletkenliklerinin ve yük mobiletelerinin daha yüksek olduğu

söylenilebilir . İnorganik malzemelerde exiton oluşumu organiklerle karşılaştırıldğında bant aralıklarının düşük olması sebebiyle daha kolaydır. İnorganik malzemelerde iletkenlik bant geçişleri ile mümkün olurken, organik malzemelerde hopping transfer mekanizması ile sağlanır.

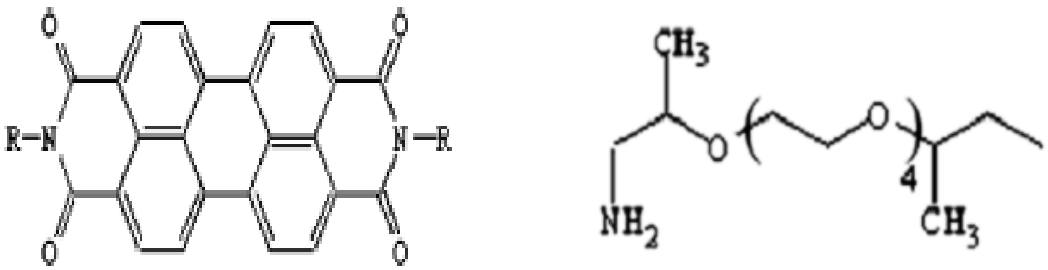
Çizelge 2.1. Bazı inorganik ve organik yarıiletkenlerin band aralığı ve mobilite değerleri

	Malzeme	Band aralığı (eV)	Mobilite (cm^2/Vs) Deşik	Mobilite (cm^2/Vs) Elektron
İnorganik Yarıiletkenler	Si	1.11	500	1900
	GeAs	1.35	400	8800
	GaP	2.24	150	300
	Ge	0.67	1820	3800
Organik Yarıiletkenler	TPD	3.2	10^{-3}	10^{-7}
	α- NPB	3.0	10^{-4}	10^{-4}
	m - MTDATA	3.2	10^{-5}	-
	Alq_3	2.7	10^{-8} - 10^{-9}	10^{-6}

Organik yarıiletkenler, kolay üretilebilirliği, düşük maliyeti ve geniş alanlara rahatlıkla uygulanılabilirliği gibi avantajlara sahiptir. Bu durum, organik malzemeler ile inorganik malzemelerin yer değiştirmesine yeni bir olanak sağlar. Çeşitli cam ve plastik alt taşlar üzerine bu malzemeler kolaylıkla spin kaplama, daldırıp çıkarma, buhar biriktirme yöntemlerle kaplanarak ince film üretilebilir. Ancak polimerlerde mekaniksel kararlılığın oluşturulacağı ortam çok önemlidir. Bununla birlikte organik malzemelerin nem, oksijen ve suya dayanıksızlığı sebebiyle bu tip ortamlarda cihaz uygulamalarında performansın düştüğü bilinmektedir.

2.1. Perilenler

Organik moleküllerin bir türü olan perilenler sentezlenerek değişik alanlarda kullanılmaktadır. Perilenler $C_{20}H_{12}$ kimyasal formüllü polisiklik aromatik hidrokarbondur. Perilen ve türevleri organik elektronikteki potansiyel uygulamaları dolayısıyla büyük ilgi cekmiştir.Perilen turevlerinin onemli bir kısmı icerisinde imidik bileşikler bulunduran perilenlerdir (Yao, Bender, Gerroir, 2005).Perilen türevleri olan Perilen monoimid PMI ve perilendiimid PDI organik elektronikte oldukça sık kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. a) PDI' nın kimyasal yapısı (Kuş, 2008) **b)**PDI'nın R grubu gösterimi (Kuş, 2008)

2.2 Perilendiimidler

Perilendiimidler maliyeti ucuz, hazır bileşiklerdir. Perilenler ilk olarak 1913'te Kardos tarafından kesfedilmişlerdir (Kardos 1913). Perilen diimidler ilk kez Cormier ve ark. tarafından sentezlenmiştir. Perilendiimidlerin mukemmel termal ve foto kararlı uyarıcılar olduğu bilinir. Çözelti fazındaki perilendiimidlerin, incelenmesi sonucu, onların hem elektron çekici hem de elektron verici özelliğe sahip oldukları gözlenmiştir. Katı hal opto-elektronik uygulamalarda ise n-tipi yarıiletken oldukları raporlanmıştır (Gebeyehu, 2004).

PTCDA (perilen-3,4:9,10-tetrakarboksilik asit dianhidrid) kristali, organik yarı iletkenler arasında en yüksek elektron mobilitesine sahip maddelerden birisidir PTCDA' ten çıkılarak sentezlenen perilen diimidler şekil 2.2'de gösterilmiştir.

İlk olarak tekstilde kullanılmışlardır. 1940'larda Giessler ve Remy tarafından perilenlerin fluoresans özellikleri keşfedilmiştir(Kızılok, 2008). Daha sonraki dönemlerde yüksek performanslı pigmentler olarak kullanılmışlardır. Perilen bileşklerinin pigment olarak kullanımı 1950 yılıdan sonraya rastlar. Çok sayıda perilen pigment serileri endüstriyel ölçekte üretilmeye başlanmıştır(Herbst ve Hunger, 2004). Perilen pigmentler geniş bir renk aralığında bulunabilirler; kırmızı, bordo, mor, kahverengi ve siyaha yakın renk tonu verebilirler.

Perilendiimid türevleri boya duyarlı güneş hücrelerinde (Jin ve ark., 2008; Zafer ve ark., 2007), organik ışık yayan diyotlarda (Chiu ve ark., 2009), organik alan etkili transistörlerde (Kim ve ark., 2002), sıvı kristal ekranlarda (LCD) (Cormier, 1998), boya lazerlerde (Sadrai, 1992), fotodinamik terapi (Yukruk, 2005) gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. METAL YARIİLETKEN KONTAKLAR

Metal yarıiletken kontakları elektronik devrelerde kullanabilmek için elektriksel karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir. Metal, yarıiletken ve yalıtkan maddelerin iletkenlik özelliklerinin incelenmesi, bu malzemelere uygun kontakların yapılması ile mümkündür (Buget ve Wright, 1967). Kontak, genel anlamda iki maddenin en az dirençle temas etmesi olarak düşünülür. İdeal kontak elde etmek için temas eden yüzeylerin temiz, pürüzsüz ve parlak olması gerekir(Crowell ve Sze, 1996).

Bir metal ile bir yarıiletken, aralarında başka bir madde olmaksızın kontak durumuna getirildiklerinde meydana gelen yeni sistem metal-yarıiletken yapı olarak adlandırılır. Kontak haline getirilen malzemeler arasında Fermi enerji seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar yük alışverişi olur(Ziel, 1968). Bu durum her iki maddenin elektronik enerji-band diyagramı ile ilgilidir. Dolayısıyla, metal-yarıiletken ara yüzeyinde yüklerin ayrışmasıyla bir potansiyel engel yüksekliği (Φ_b) oluşur. Bu bölgeye, hareketli yükler olmadığıdan, yüsek dirençi bir yalıtkan tabaka denir. Aynı zamanda bu bölgeye, bu konuda ilk çalışan bilim adamına atfen Schottky tabakasıda denir. Schottky-Mott modeline göe potansiyel engel, iki maddenin iş fonksiyonları arasıdaki farktan kaynaklanmaktadır. Metal yarıiletken kontaklar her iki madenin iş fonksiyonuna göre omik ve doğrultucu (Schottky) kontak olmak üzere iki kısımda incelenir.

İş fonksiyonu, metalin yüzeyinden kinetik enerjisi sıfır olacak şekilde bir elektron koparmak için gerekli enerji yada bir elektronu enerji bandındaki Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için elektrona verilmesi gerekli olan enerji olarak tanımlanır(Çizelge 3.1)

Enerji -band diyagramında Φ_m ; metalin iş fonksiyonu , Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonunu göstermektedir. N tipi bir yarıiletken kullanılarak oluşturulan diyotlarda İş fonksiyonları $\Phi_m > \Phi_s$ olduğu durumlarda oluşan yapı doğrultucu Schottky kontak adını alır(Çizelge 3.2)

Bir yarıiletken için diğer önemli bir yüzey parametresi elektron ilgisi (χ) 'dir ve yüzeyin dışında, durgun haldeki bir elektronun enerjisi ile yüzeyin hemen içinde iletkenlik bandı tabanındaki bir elektronun enerjisi arasındaki fark olarak bilinir(çizelge 3.3.)

Çizelge 3.1. Bazı elementlerin iş fonksiyonları

Element	İş fonksiyonu (Φ_m, Volt)
Gümüş	4.26
Alüminyum	4.28
Altın	5.10
Krom	4.50
Molibden	4.60
Nikel	5.15
Paladyum	5.12
Platin	5.65
Titanyum	4.33
Tungsten	4.55

Çizelge 3.2. n-tipi ve p-tipi kontakların iş fonksiyonuna bağlı olarak doğrultucu ve omik kontak olarak adlandırılması.

n - tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	Doğrultucu kontak
n - tipi	$\Phi_m < \Phi_s$	Omik kontak
P-tipi	$\Phi_m < \Phi_s$	Doğrultucu kontak
P- tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	Omik kontak

Çizelge 3.3. Bazı elementlerin elektron ilgisi değerleri

Element	Elektron ilgisi (χ, volt)
Germanyum	4.13
Silisyum	4.01
Galyum Arsenid	4.07
Aluminyum Arsenid	3.50
İndium Fosfat	4.35

3.1. Metal- p tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

P-tipi yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonuna baglı olarak, Φ_m ; metalin iş fonksiyonu ve Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere, $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda metal p tipi doğrultucu kontak oluşur.

Şekil 3.1. de, p-tipi bir yarıiletken için doğrultucu kontak enerji-band diyagramı gösterilmektedir. Oda sıcaklığında alıcıların(akseptör) hepsi iyonize olduğu durumda Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontaktan sonra, elektronlar Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metalden yarıiletkene akarlar. Buna baglı olarak, yarıiletkenin yüzey tabakası iyonize olmus alıcılar tarafından negatif yükle yüklenir ve bu yükler d kalınlıklı bir uzay yükü tabakası boyunca dağılır. Uzay yük bölgesindeki deşiklerin yoğunluğu, alıcı konsantrasyonu ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar azdır.

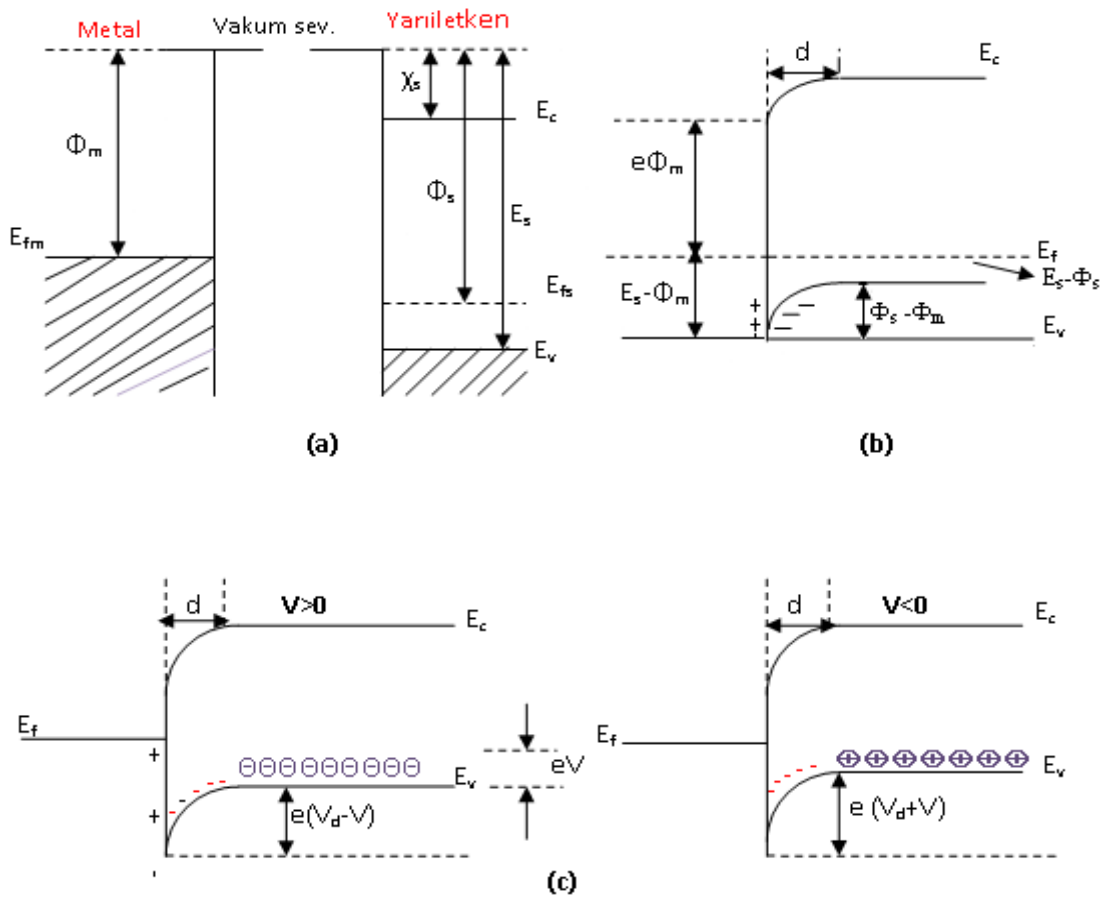
Yarıiletken tarafındaki enerji seviyeleri kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındaki bosluklar için yüzey engeli

$$\Phi_s - \Phi_m = eV_d \qquad (3.1)$$

eşitliği ile verilir. Bu denklemde V_d difüzyon potansiyelidir. Yarıiletken içindeki potansiyel metalin yüzeyine göre alınır.Kontağın metal tarafında boşluklar için potansiyel engeli ise

$$e\,\Phi_b = E_s - \Phi_m \qquad (3.2)$$

olur.



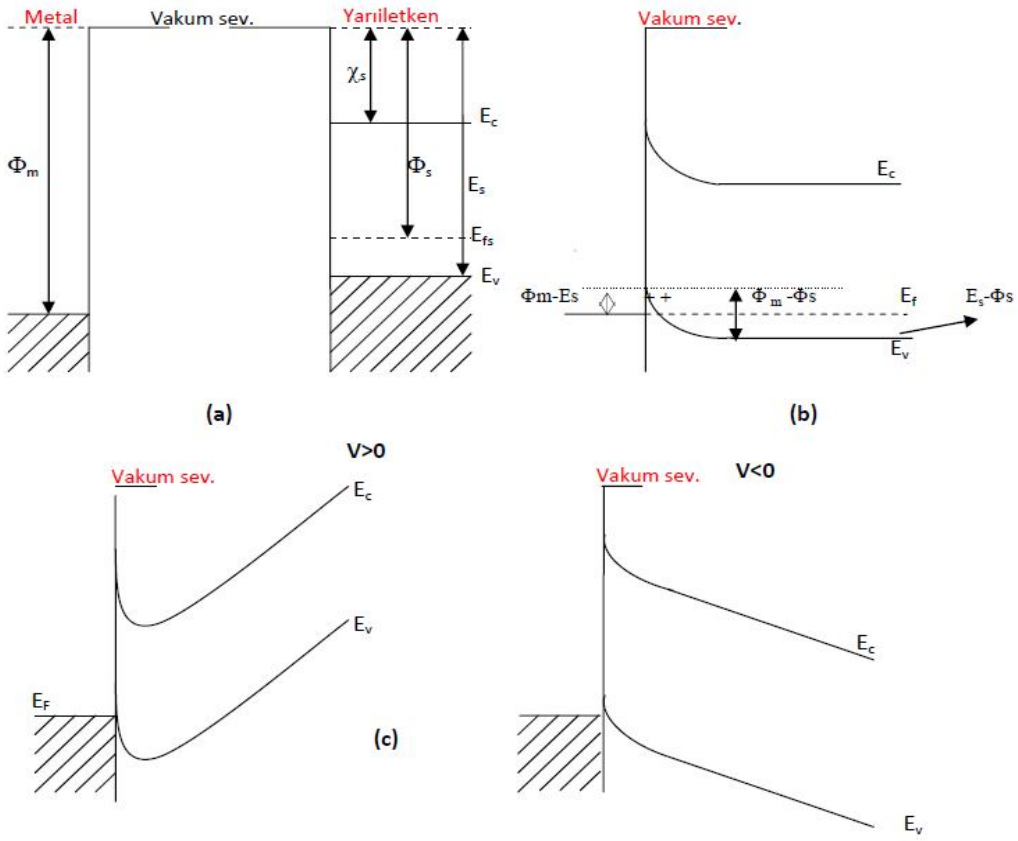
Şekil 3.1. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-bant diyagramı a) Kontaktan önce, b) kontaktan sonra ve termal dengede, c)V≠ 0 durumunda

3.2 . Metal- p tipi yarıiletken omik kontaklar

Omik kontak, uygulanan gerilimin polaritesinden bağımsız olarak her iki yönde de akım akışına minimum direnç gösteren bir metal yarıiletken eklemdir (Brillso, 1993; Neamen, 1992).

P-tipi yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu ($\Phi_m > \Phi_s$) durumda metal p tipi omik kontak oluşur. Kontak oluştuktan sonra bir yük alışverişi meydana gelecektir. Yarıiletkendeki elektronlar, geride bir pozitif yüzey yükü (boşluklardan dolayı) bırakarak metal tarafına akarlar ve metal tarafında bir negatif yüzey yüküne neden olurlar. Bundan dolayı yarıiletkendeki Fermi seviyesi Şekil 3.2. b'de görüldüğü gibi Φ_m-Φ_s kadar aşağı düşer. Boşluk konsantrasyonunun artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi olur.

Bir V voltajı uygulandığında, bu potansiyel farkı tüm yarıiletken bölge boyunca dağılır (Şekil 3.2.c). Φ_s - χ_s nispeten elektronlar zorlukla karşılaşmadan engeli geçebilirler. Doğru beslem durumunda, elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolayca hareket edebilirler. Bu yük hareketi, boşlukların yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen boşluklar(hole) yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı hemen nötralize olurlar. Ters beslem durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan boşluklar da kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçebilirler. Bu durumda kontak omiktir



Şekil 3.2. Metal p tipi yarıiletken omik kontağın enerji bant diyagramı a) kontaktan önce b) kontaktan sonra c) V≠ 0 durumunda

3.3 Metal- n tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Doğrultucu kontaklar akım tasıyıcılarını (boşluk ve elektron) bir doğrultuda diğerine göre daha kolay geçiren kontaklardır. n-tipi yarı iletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m > \Phi_s$ ise metal-n tipi yarı iletken doğrultucu kontağı oluşur. Burada Φ_m metalin iş fonksiyonu , Φ_s ise yarı iletkenin iş fonksiyonudur.

Sekil 3.3'te gösterildiği gibi, kontaktan önce, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontaktan sonra, elektronlar yarıiletkenin yüzey tabakasından geride iyonize olmuş donorlar bırakarak metalin içine geçerler. Yük geçişi bittikten sonra, her iki maddenin Fermi seviyesi aynı yüksekliğe gelir(Shroder, 2006). Elektronlar, geride iyonize olmuş donorlar bırakarak yarıiletkenden metale geçerler. Doğrultucu kontak oluşumu sonucunda n-tipi yarıiletken tarafındaki uzay yükleri ile metal tarafındaki yüzey yükleri arasında zıt yüklemelerinden dolayı bir dipol tabakası olusur. Bu da kontakta, bir potansiyel engelinin oluşmasını sağlar. Yani yarıiletken tarafına bantların yukarı doğru bükülmesine neden olur. Kontaktan önceki ve sonraki durumlar için enerji band diyagramları Şekil 3.3'de görülmektedir. Metal n-tipi yarıiletken için engel yükseklikleri: Yarıiletken tarafında

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s \qquad (3.3)$$

denklemi ile verilir. Potansiyel engelin metal tarafındaki boşluklar için yüksekliği

$$\Phi_b = \left(\Phi_m - \chi_s\right) \qquad (3.4)$$

olur. (Wilson, 1931). Burada χ_s yarıiletkenin elektron yakınlığıdır.

$$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n \qquad (3.5)$$

ve

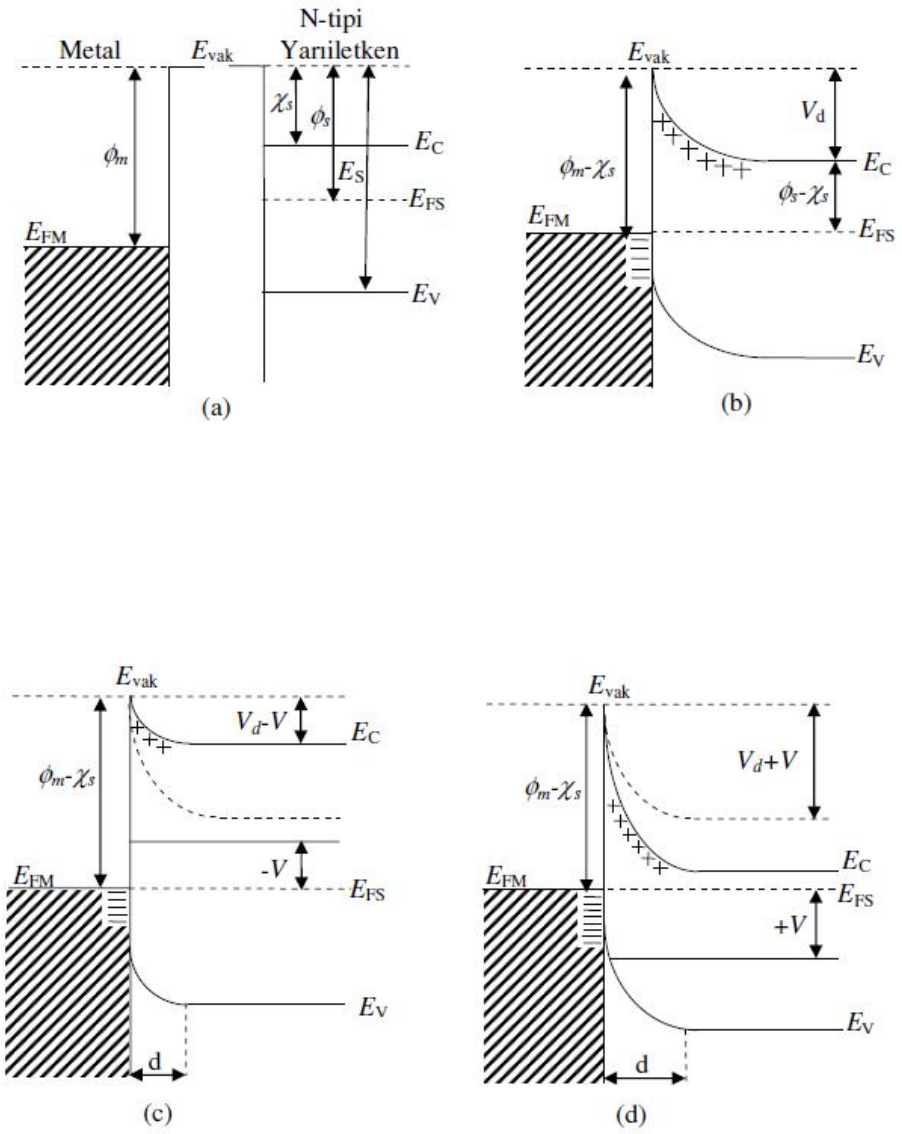
$$\Phi_m = qV_i + \Phi_s \qquad (3.6)$$

olduğundan

$$\Phi_b = qV_i + q_n \qquad (3.7)$$

elde edilir. Aralarında mesafe bulunan yük tabakalarının yük dağılımı yardımıyla potansiyel engelin tam şekli hesaplanabilir. Engelin şekli yarıiletkendeki verici dağılımıyla belirlenir. Elektrik alanın büyüklüğü sabit bölge yükü için, yük bölgesi

kıyısından mesafe ile doğrusaldır ve bundan dolayı parabolik bir engel oluşur. Bu engele Schottky engeli denir. Termal uyarılmadan dolayı, yeterli enerjiye sahip olan metalin bazı elektronları, potansiyel engelini aşarak yarıiletkenin içine geçerler. Benzer şekilde yarıiletkenin bazı elektronları da potansiyel engelini aşarak metalin içine girerler. Denge durumunda eşit ve zıt yönlü akımları oluşacaktır. Yarıiletkene bir (-V) voltajı uygulanırsa soldan sağa (metalden yarıiletkene) giden elektronlar için engel değişmez ve bundan dolayı sağdan sola karşılık gelen akım da değişmeyecektir.

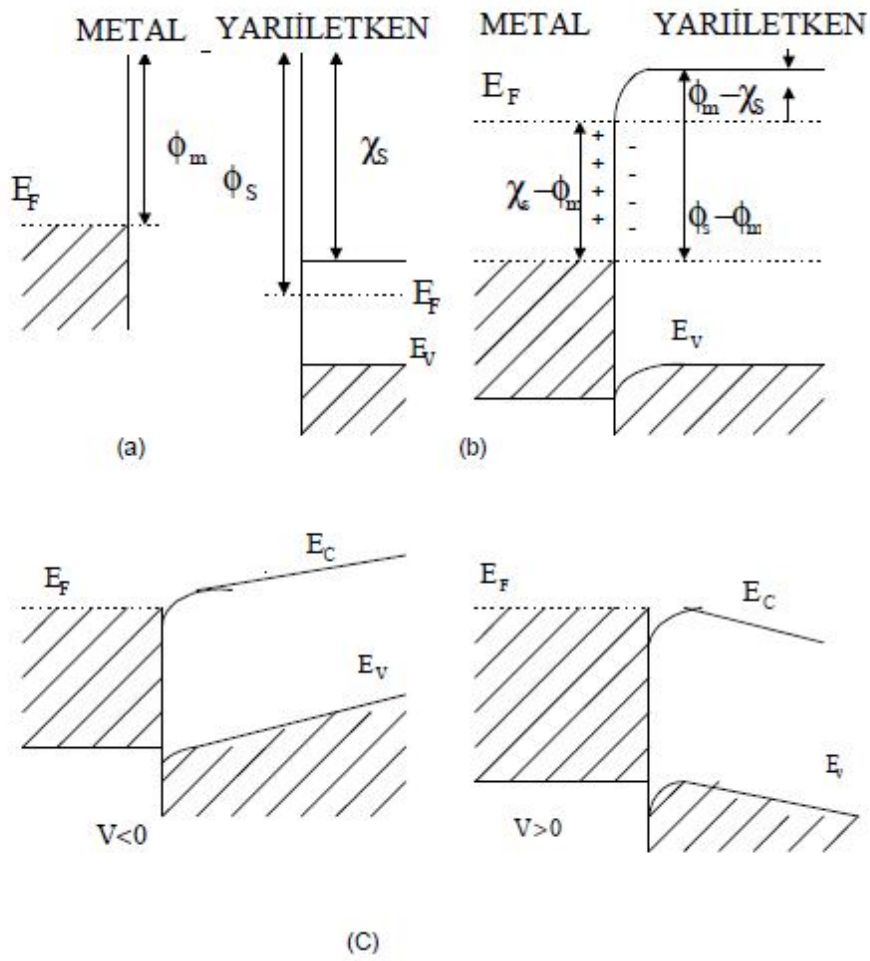


Şekil 3.3. Metal n tipi yarıiletken doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı a) kontaktan önce b) kontaktan sonra c) V< 0 durumunda d) V>0 durumunda

3.4 Metal- n tipi yarıiletken omik kontaklar,

İş fonksiyonları $\Phi_m < \Phi_s$ olan n–tipi yarıiletken ile oluşturulan omik kontağın enerji band diyagramı Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Malzemeler ayrı durumda iken enerji band diyagramı Şekil 3.4.a'da gösterilmiştir

Metal/n-tipi yarıiletken omik kontak oluşturulduktan sonra elektronlar arkalarında pozitif yükler bırakarak, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına doğru akarlar ve sınırın yarıiletken tarafında elektronların yığılmasına sebep olurlar. Termal dengeye ulaşıldığında yarıiletkenin Fermi seviyesi Şekil 3.4.b' de gösterildiği gibi (Φ_s-Φ_m) kadar yükselir. Yarıiletkende negatif yüklerin yığılımı ile oluşan tabaka Debye mesafesi kadar bir kalınlık içinde sınırlanır ve bunlar yüzey yükleridir. Metaldeki elektronların konsantrasyonu çok fazla olduğu için metal tarafındaki pozitif yükler, metal-yarıiletken arayüzeyinden yaklaşık 0.5Å bir uzaklık içinde sınırlanmış olan yüzey yükleridir. Yarıiletken içinde oluşan bir tüketim bölgesi yoktur ve yarıiletkenden metale yada tersi yönde elektronların akması için bir potansiyel engeli yoktur. Arayüzey yakınındaki bölgede elektron konsantrasyonu artırılır ve sistemin en yüksek dirençli bölgesi yarıiletken bölgesinde oluşur. Şekil 3.4.c ve 3.4. d' de doğru ve ters beslemde yarıiletken bölgesini göstermektedir. Akımın bu bölgenin direnci ile belirleneceği açıktır ve uygulanan voltajın yönünden bağımsızdır. Böyle doğrultucu olmayan kontaklar, omik kontak olarak isimlendirilir ve akımı iki yönlü kontak haline getirilmis ve dengedeki metal-yarıiletken omik kontakta metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale kolayca yük akısı olur. Omik kontaga bir V gerilimi uygulanırsa, oluşan potansiyel dogrultucu kontakta oldugu gibi sadece Schottky bölgesinde değil, bütün yarıiletken boyunca dağılacaktır. Omik kontak elde edebilmek için n-tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlastırılan metal, yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Daha sonra, yarıiletkenin yüzeyinde bir + n tabakası olusturmak için belirli bir sıcaklıkta tavlanır. Tavlamayla metalin difüze olduğu tabaka, yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir (Sze, 1981).



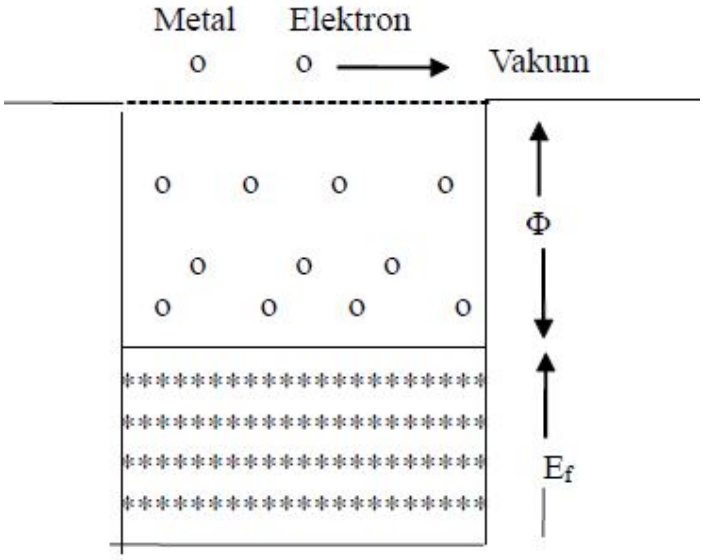
Şekil 3.4. n tipi yarıiletken -metal omik kontağın enerji bant diyagramı a) kontaktan önce b) kontaktan sonra c) V< 0 ve V>0 durumunda

3.5 Metal - Organik Yarıiletken Kontakların Akım İletim Mekanizması

Saxena ve Santhana (2003), organik/metal ekleminin lineer olmayan davranışının uzay yük limitli iletim (space-charge limited conduction), poole- frenkel emisyonu(Poole- Frenkel emission) veya termiyonik emisyondan kaynaklanabileceğini önermiştir.

3.5.1 Termiyonik Emisyon Teorisi

Isıtılan metalin yüzeyinden elektron yayınlanması olayına "termiyonik emisyon'' denir(Omar, 1993)Şekil (3.5). Serbest elektron modeline göre metallerde elektronların enerji düzeylerini göstermektedir. T= 0^0K' de bütün düzeyler E_f düzeyine kadar doludur. Fermi düzeyinin üstü boştur. Bununla birlikte, metalde yüzeydeki enerji



Şekil 3.5 .Termiyonik emisyon

bariyeri sebebiyle Fermi enerji seviyesindeki elektron metalden ayrılamaz. Bu bariyerin yüksekliği Φ_b ve aynı zamanda iş fonksiyonu olarak adlandırılır(şekil 3.5). T = 0^0K'de metalden hiçbir elektron kaçamaz. Fakat sıcaklık arttıkça, Fermi seviyesinin üstündeki seviyeler elektronların Fermi seviyesinin üstüne taşınması ile işgal edilir. Bu seviyelerdeki elektronlar artık enerji bariyerini aşabilecek enerji miktarına sahip olurlar ve yüzeyden yayınlanırlar. Yayınlanan elektronların akım yoğunluğu metal yüzeyini x eksenine normal alarak hesaplanabilir. Hızı (v_x, v_y, v_z) ile $(v_x + dv_{x,} v_y + dv_y, v_z + dv_z)$ olan elektronların konsantrasyonu,

$$d^3N = N\left(\frac{m^*}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-m^*\left(v_x^2+v_y^2+v_z^2\right)/2kT} dv_x dv_y dv_z \tag{3.8}$$

ifadesi ile verilebilir. Burada N toplam parçacık sayısı, m^* etkin kütle , k boltzman sabiti, T mutlak sıcaklıktır. Burada, yayınlanma esnasındaki elektronların tümünün Fermi enerjisinin çok üstünde enerjiye sahip olması sebebiyle Maxwell-Bolzman dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Elektronların Akım yoğunluğu,

$$dJ_x = -ev_x d^3N \tag{3.9}$$

şeklinde yazılabilir. Burada J= I/A olup birim yüzey alan başına düşen akım miktarıdır. Akım yoğunluğunun elde edilebilmesi için burada integral tum hız bileşenleri üzerinden alınmalıdır;

$$\begin{aligned} J_x &= \int dJ_x \\ &= -eN\left(\frac{m^*}{2\pi kT}\right)^{3/2} \iiint v_x e^{-m^*\left(v_x^2+v_y^2+v_z^2\right)} dv_x dv_y dv_z \end{aligned} \tag{3.10}$$

Burada υ_y ve υ_z bileşenleri için integral sınırları (- ∞,+ ∞) iken υ_x için bu aralık $\frac{1}{2}m^*v_x^2 \geq E_f + \Phi$ olup ancak bu aralıktaki elektronlar yüzeyden kaçabilecek enerjiye sahiptirler. Bu nedenle x yönündeki akım yoğunluğu,

$$J_x = -eN\left(\frac{m^*}{2\pi kT}\right)^{1/2} \int_{v_{x0}}^{\infty} v_x e^{-m^*v_x^2/2kT} dv_x \tag{3.11}$$

şeklinde yazılabilir. Burada $v_{x0} = \left[2\left(E_F + \Phi\right)/m^*\right]^{1/2}$ olup integrasyon işlemi gerçekleştirilirse,

$$J_x = AT^2 e^{-\Phi/kT} \tag{3.12}$$

eşitliği elde edilir. Burada $A = m^* ek^2/2\pi^2\hbar^3$ olup A'nın nümerik değeri 120 amp/cm^{2}K^2'dir. Bu sonuç deneysel sonuçlarla da uyum gösteren Richardson-Dushman denklemi olarak bilinir.

Metal-n tipi yarıiletken arasında kontak gerçekleştirildiğinde, kontak yüzeyi x-yönüne dik olarak alındığında, Hızı $\left(v_x, v_y, v_z\right)$ ile $\left(v_x + dv_{x,} v_y + dv_y, v_z + dv_z\right)$ aralığında olan elektronların konsantrasyonu (3.8) denklemine benzer biçimde

$$dn_x = N_d\left(\frac{m_n^*}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-m_n v^2}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} dv_x \tag{3.13}$$

şeklinde yazılabilir. Burada N_d verici atomların yoğunluğu, m_n^* elektronun etkin

kütlesidir. Yarıiletkene bir gerilim uygulandığında $\frac{1}{2}m_n^* v_x^2 > qv_d$ şartını sağlayan yarıiletkenden metale geçen elektronların akım yoğunluğu;

$$J_{S\to M} = \int_{v_{0x}}^{\infty} qv_x dn_x = \int_{v_{0x}}^{\infty} qN_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} v_x \exp\left(-\frac{m_n^* v_x^{\,2}}{2kT}\right) dv_x$$
$$= qN_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2\pi T}\right) = qN_d = \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{qv_d}{2kT}\right) \quad (3.14)$$

şeklinde verilebilir. Burada $v_x = \left(\frac{2qv_d}{m_n^*}\right)^{1/2}$ dir. Bu, taşıyıcının eV_d yüksekliğindeki potansiyel engeli aşması için sahip olması gereken minimum hızdır. İletketkenlik bandının alt kenarı sıfır enerji seviyesi olarak referans alınırsa, verici katkı atomların birim hacimdeki yoğunluğu;

$$N_c = \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E_f}{kT}\right) \qquad \text{ve} \qquad N_v = \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{E_f}{kT}\right) \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir (Shuer, 1990). Denk. (3.15) denk.(3.2)' de yerine yazılırsa,

$$J_{S\to M} = \left(\frac{4\pi q m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{qv_d + E_f}{kT}\right)\right) \quad (3.16)$$

ifadesi elde edilir. Metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre görülen potansiyel engel yüksekliği Φ_b;

$$q\Phi_b = qv_d + E_f \quad (3.17)$$

olmak üzere, yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi için

$$J_{S\to M} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (3.18)$$

eşitliği elde edilir. Burada A^* Richardson sabiti olup $A^* = \frac{4\pi q m_n^* k^2}{h^3}$ dir. 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

$$J_{S\to M} = A^{*}T^{2}\exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right)\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \tag{3.19}$$

şekline dönüşür. Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunlukları eşit olur. Dolayısıyla toplam akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_n = A^{*}T^{2}\exp\left(\frac{q\Phi_b}{kT}\right)\left[\exp\left(\frac{qv}{kT}\right)-1\right] \tag{3.20}$$

şeklini alır. Burada köşeli parantez önündeki tüm ifade sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğudur. Yani,

$$J_0 = A^{*}T^{2}\exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \tag{3.21}$$

şeklindedir.

3.6 Metal-Organik Yarıiletken Kontakların Akım-Voltaj Karakteristikleri

Organik yarıiletkenlerle oluşturulan Schottky diyotlar termiyonik emisyon teorisine uyan I-V karakteristiğine sahiptirler. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda termiyonik emisyon teorisi, tasıyıcıların (elektron ve bosluklar) ısısal enerjileri nedeniyle, potansiyel engelini aşarak metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale geçmeleri esasına dayanır. Bu olay, metal/p-tipi yarıiletken yapılarda bosluklar , metal/n-tipi yarıiletken yapılarda ise elektronlar tarafından , yani her iki yapıda da çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır (Ziel, 1968; Rhoderick ve Williams, 1988).

Termiyonik emisyon teorisine göre akım-gerilim bağıntısı

$$I = I_0\left[\exp\left(\frac{qv}{nkT}\right)-1\right] \tag{3.22}$$

denklemi ile verilir. Burada I ,doğru beslem diyottan geçen akımı I_0, doyma akımı temsil etmektedir. Doyma akımını veren ifade ise

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_b}{kT}\right) \tag{3.23}$$

denklemi ile verilir. Burada A diyot kontak alanıdır. Bir Schottky diyotu için, engel yüksekliği,

$$\Phi_b = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \tag{3.24}$$

ifadesi ile verilebilir. n=1 olan ideal durumunun pratikte elde edilmesi zordur. Bunun sebeplerinden birinin engel yüksekliğinin uygulanan gerilimle değişmesi olduğu söylenilebilir. Bununla birlikte, metal-yarıiletken arasında, ideale en yakın Schottky yapılarda bile en azında 5–20 Å kalınlık mertebesinde ince bir oksit tabakasının doğal olarak oluşması da n değerinin birden büyük elde edilmesine neden olur (Singh, A., 1985; Akkal, B., 1998). Dolayısıyla diyotlar, denk. (3.22)'yi uygulamalarda tam olarak sağlamazlar ve bu denklem aşağıdaki gibi düzeltilir.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)\left[1 - \exp\left(\frac{-qV}{kT}\right)\right] \tag{3.25}$$

buradaki n idealite faktörüdür ve

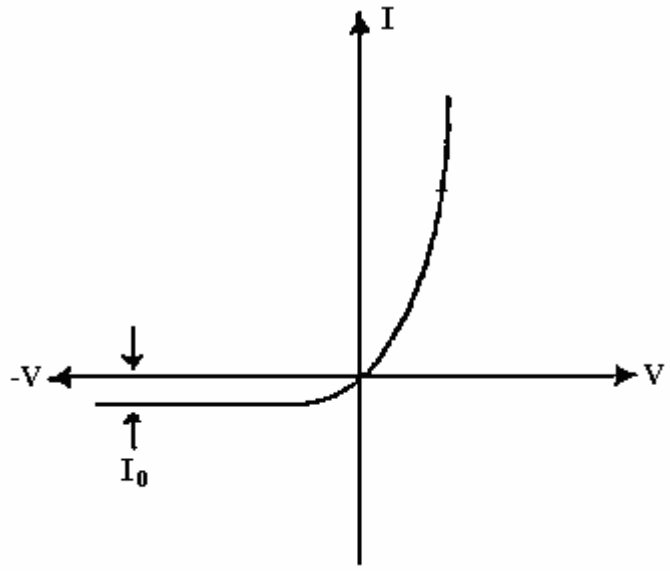
$$n = \frac{q}{kT}\frac{dV}{d\ln(I)} \tag{3.26}$$

denklemi ile ifade edilir. Denklemde V > 3kT/q olduğu durumunda (3.22) denklemi ,

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \tag{3.27}$$

olarak yazılır. Şekil 3.6'da görülen Schottky diyot doğrultucu özelliğine sahiptir, yani düz besleme durumunda akım geçer ve ters yönde ise neredeyse hiç akım geçmemektedir. Schottky diyota doğru yönde gerilim uygulandığında, yarıiletkenden metale geçen elektronlar için potansiyel engel yüksekliği, gerilimle azalmakta ve akım-gerilim karakteristiği düz besleme tarafı üstel bir değişim göstermektedir(Cafer, 2000).

Bir Schottky diyotun akım-gerilim karakteristiğinin ters besleme kısmında (V<0), uygulanan gerilimin büyük değerleri için, diyottan geçen akım sabittir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bir Schottky diyotunun akım-gerilim karakteristiği

4. SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Diyot parametrelerinin elde edilmesi, voltaj bağımlılıkları ve seri direncin varlığı sebebiyle genellikle zordur. Diyot parametrelerinin I-V grafiği kullanılarak elde edilmesi amacıyla en çok kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir;

a) Klasik yöntem ln(I)-V çiziminin lineer kısmının analizi,

b) Norde ve Norde benzeri yaklaşım kullanılması,

c) Cheung-Cheung yöntemi

4.1 Klasik Yöntem

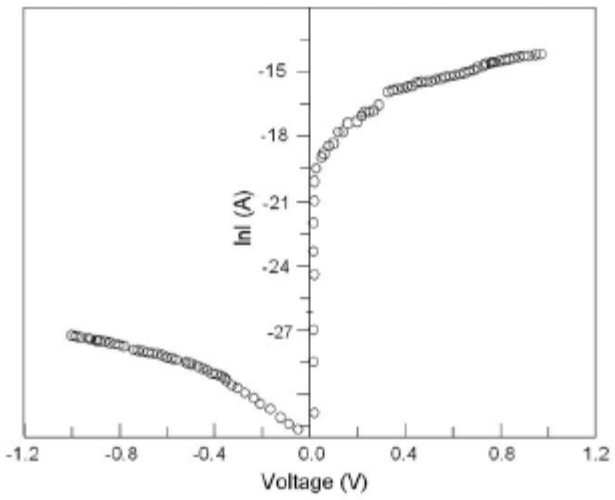
Klasik bir yaklaşım olan ln(I)-V değişim grafiğinden faydalanılarak n ve Φ_b elektriksel parametreleri hesaplanabilir. Bu amaçla Şekil 4.1'de örneklendiği gibi ln(I)-V grafiğinin lineer değişen bölgesi kullanılabilir. Bu bölge için doğru denklemi $z(I)=z_0+pz$ şeklinde yazılırsa,

$$Z_0 = \ln(I_0) = \ln\left(AA^*T^2\right) - \frac{q\Phi_b}{kT} \qquad (4.1)$$

değeri ekstrapole edilen doğrunun düşey ekseni kestiği noktadır. Bu değer kullanılarak Φ_b bariyer yüksekliği bulunabilir Eğim p ise,

$$p = \frac{q}{nkT} \qquad (4.2)$$

bulunabilir. idealite faktörü n parametresini verir.



Şekil 4.1. Schottky diyot ln(I) -V garfiği (Şahingöz, 2006)

4.2 Norde ve Norde Benzeri Yaklaşım

Klasik hesaplamada hatayı azaltmak için seri direnç etkisi hesaba alınmalıdır(Şahingöz, 2008). Seri direnç değeri metal yarıiletken, metal yalıtkan, yarıiletken-metal oksit yarıiletken ve güneş pilleri gibi cihazlarda önemli bir elektriksel karakteristiktir genellikle seri direnç kaynakları;

a) Yarıiletkenin arka kontak

b) Bağlantı kablosuyla kapı arasındaki kontak sebebiyle

c)Arka kontakla yarıiletken arayüzeydeki sanki nötral yığın yarıiletkenin direnci

d)Yarıiletken yüzeyin kenarındaki tüketim bölgesi

e)Metal yarıiletken arayüzeydeki özel arayüzey dağılımları sebebiyle artma gösterir. R_s değerleri bununla birlikte bölgeden bölgeye bariyer yüksekliğinin homojen olmaması yüzey yükleri sebebiyle değişim gösterir.

Eğer taban malzeme seri dirence sebep olursa klasik yöntem bir takım zorluklar yaratabilir. I-V grafiğinde düz çizginin olduğu bölge aralığı

$$\frac{1}{\beta q} << V << IR$$

ile sınırlanır. Burada β=1/kT dir. R direncinin çok büyük olduğu durumlarda, I_s için anlamlı bir değer verecek olan düz çizgi bölgesi daralır. Seri direnç problemi,

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \tag{4.3}$$

fonksiyonu kullanılarak ortadan kaldırılabilir(Norde, 1979). R direncine sahip diyot için akım ifadesi,

$$I = I_s\left[\exp(\beta V_D) - 1\right] = I_s\left\{\exp\left[\beta(V - IR)\right] - 1\right\} \tag{4.4}$$

şeklinde ifade edilebilir. V>>kT/q durumları için denklem (4.3)

$$F(V) = \Phi_b + IR - \frac{1}{2}V \ldots \tag{4.5}$$

şeklinde yazılabilir. Direncin sıfır olduğu durum için (R=0) , F(V), m=-1/2 eğimine sahip bir doğrudur. Ekstrapole edilen doğrunun düşeyde F(V) eksenini kestiği nokta kullanılarak bariyer yüksekliği Φ_b bulunabilir. Eğer, direnç söz konusu ise F(V)

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{V}{RAA^*T^2}\right) \tag{4.6}$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Büyük voltajlarda bu yaklaşımla bulunan doğru eğimi m=1/2 'dir. F(V) fonksiyonu düşük akım değerleri için ideal durum değerine, büyük akım değerlerinde ise $F_R(V)$ değerine yaklaşacaktır. F(V) iki extramum değer arasında minumum değere sahip olacaktır. Şekil 4.2'de hesaplanmış olan F(V) ve $F_R(V)$ eğrileri farklı dirençler için verilmiştir. Bariyer yüksekliği rastgele Φ_b=0.79 ev olarak alınmıştır. Denklem(4.5)' de verilen F fonksiyonun V gerilim değişkenine göre türevi alınırsa,

$$\frac{dF}{dV} = R\left(\frac{dI}{dV}\right) - \frac{1}{2} \tag{4.7}$$

elde edilir. Bununla birlikte dI/dV ;

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV}\left[1 + R\left(\frac{dI}{dV}\right)\right]^{-1} \tag{4.8}$$

ve

$$\frac{dI}{dV} = \frac{d}{dV}\left[I_s \exp\left(\beta V\right)\right] = \beta I \tag{4.9}$$

şeklinde ifade edilirse, denklem (4.7) yeniden,

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\beta RI}{1 + \beta RI} - \frac{1}{2} \tag{4.10}$$

şeklinde yazılabilir. dF/dV =0 alınarak, F(V)'nin minimum olduğu noktanın bulunması ile I_m akımı elde edilebilir;

$$I_m = \frac{1}{\beta R} = \frac{kT}{qR} \tag{4.11}$$

I_m akıma karşılık gelen voltaj değeri V_m ise denk.(4.11) kullanılarak hesaplanabilir.

$$V_m = I_m R + V_D(I_m) = \frac{1}{\beta} + \ln\left(\frac{I_m}{AA^*T^2}\right) \tag{4.12}$$

$F(V_m)$ fonksiyonunun minimum değeri denk.(4.12)'de verilen V_m değeri kullanılarak elde edilebilir;

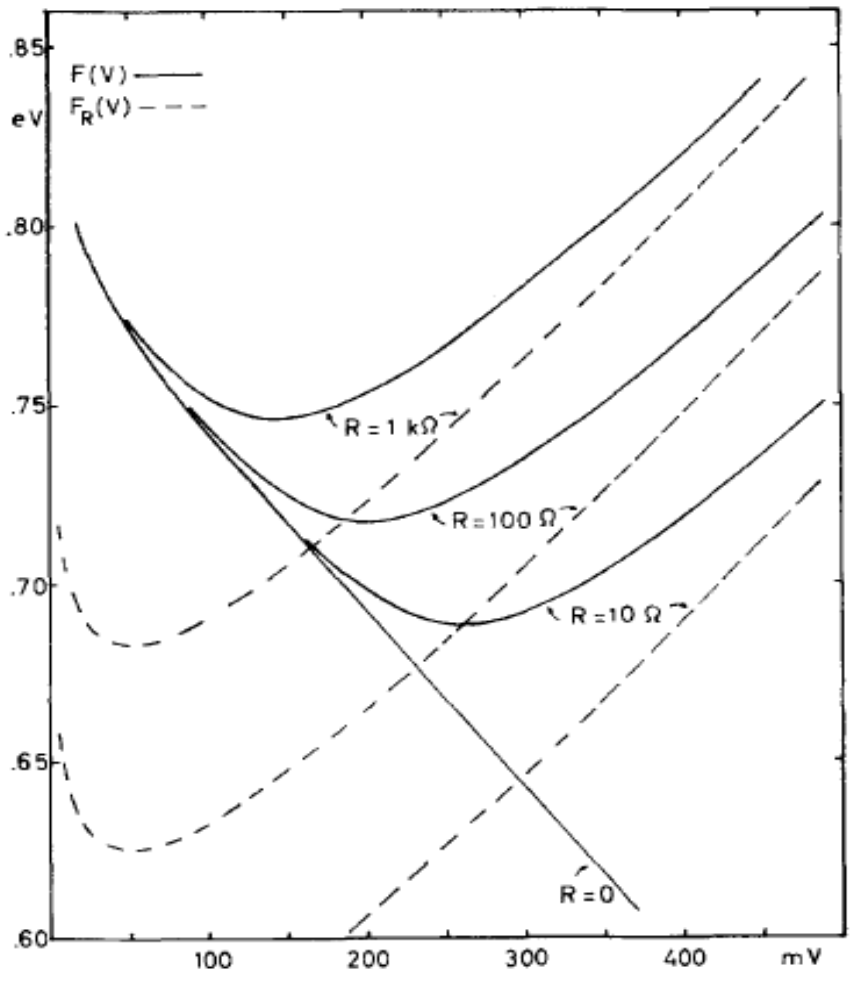
$$F(V_0) = \frac{V_0}{2} - \frac{1}{\beta}\left(\frac{I_m}{AA^*T^2}\right) \tag{4.13}$$

I_m, V_m, $F(V_m)$ ve denk.(4.11) ve denk.(4.13) değerleri kullanılarak R ve Φ_b değerleri,

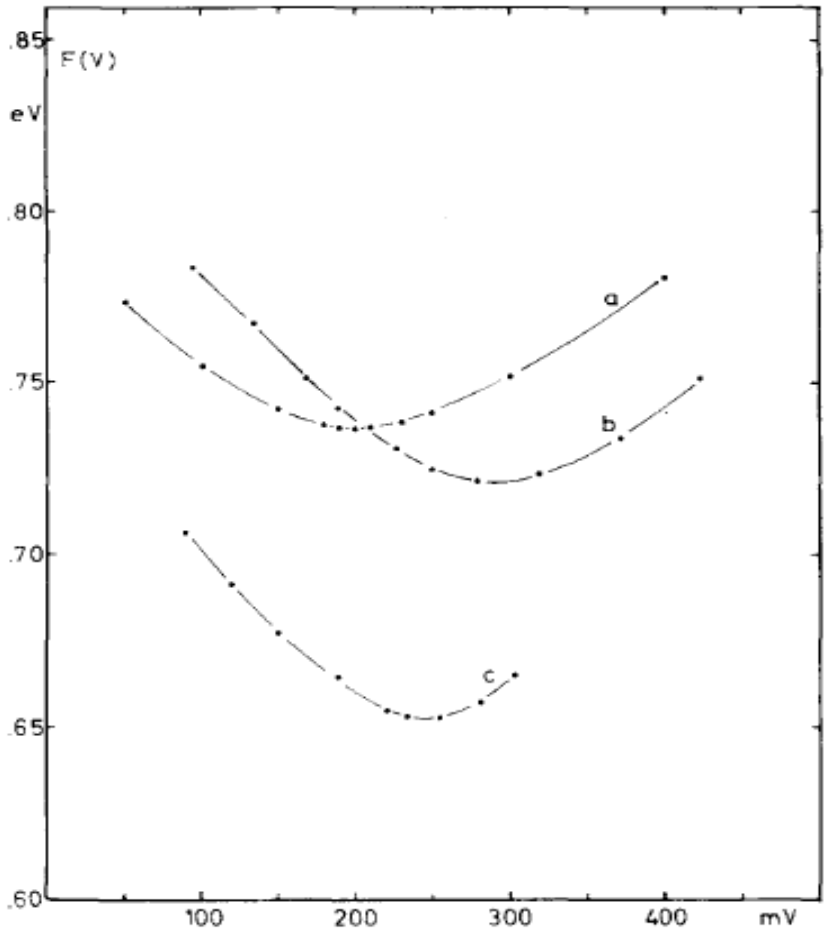
$$R = \frac{kT}{qI_0} \tag{4.14}$$

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{2} - \frac{kT}{q} \tag{4.15}$$

eşitlikleri kullanılarak bulunabilir. Şekil(4.3) de deneysel olarak elde edilen farklı Schottky diyotları için F(V)-V grafikleri verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen Φ_b değerleri beklenen değerlerle iyi uyuşma göstermektedir.



Şekil 4.2. F(V) fonksiyonuna karşılık gelen $F_R(V)$ fonksiyonu grafiği Φ_b= 0.79 eV, A=1 cm^2, A** = 120 (Ccm^2) T= 20 ^{0}C (Norde, 1979)



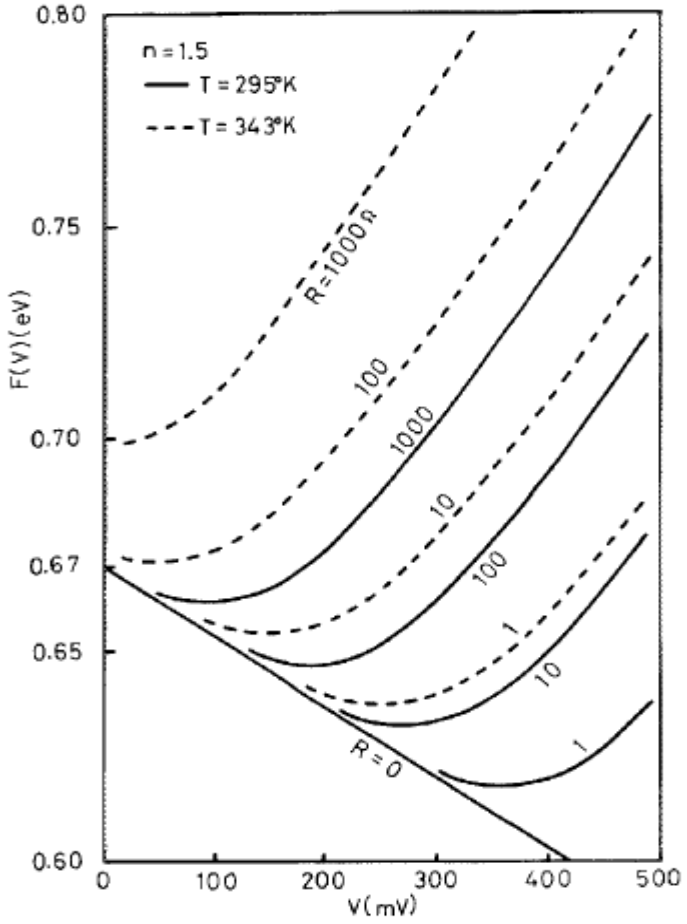
Şekil 4.3. üç farklı diyot için F(V) nin deneysel grafiği
Minimum noktaları aşağıdaki seri direnç ve bariyer yüksekliği değerlerini verir.
a) Φ_b=0.81 eV, R=4.9 kΩ b) Φ_b=0.84 eV, R=58Ω c) Φ_b=0.75 eV, R=107 Ω (Norde , 1979)

Norde yaklaşımı kullanılarak hesaplanan R ve Φ_b değerleri yüksek R dirence sahip ideal bir diyot için deneysel sonuçlarla oldukça uyum göstermektedir. Fakat deneysel yollarla üretilen pek çok diyotun tam olarak ideal davranış göstermesi beklenemez. Bu durumda n idealite faktörü de göz önünde bulundurularak I ve F(V) yeniden

$$I = I_0\left\{\exp\left[\frac{\beta}{n}(V - IR)\right] - 1\right\} \tag{4.16}$$

$$F(V) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right)V + \phi + \frac{IR}{n} \tag{4.17}$$

şeklinde düzenlenilebilir(Sato ve Yasumura, 1985). R=0 durumu için, F(V), eğimi (n-2)/2n (<0) bir doğruyu verecektir. Pek çok pratik durumda, eğim, (-1/2) 'ye yakın değer alacağından n bir değerine çok yakın olarak hesaplanır.



Şekil 4.4. F(V) 'nin çiziminden hesaplanan değerler Φ_b=0.67 eV, S=3.14X10^{-2}cm^{-2}, A=120 A/^{0}Kcm^2(Sato ve Yasumuro, 1985)

Şekil (4.4)' de n=1.5 durumu için, farklı sıcaklık ve dirençler için F(V)-V değişimleri gösterilmiştir. Bariyer yüksekliği Φ_b=0,67 eV ve eklem yüzey alanı A=3.14x10^{-2} cm^2 olarak alınmıştır.

Denk.(4.17)'de verilen F(V) fonksiyonunun, gerilim değişkeni V'ye göre türevi alınırsa ve ideal durum(n=1) için yukarıda özetlenen Norde yaklaşımında kullanılan adımlar tekrarlanırsa, ideal olmayan diyot için R ve Φ_b ifadeleri

$$R_i = (2-n)/\beta_i I_{mi} \tag{4.18}$$

$$\Phi_b = F(V_{0i}) + \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{2}\right)V_{0i} - \left(\frac{2}{n} - 1\right)/\beta_i \tag{4.19}$$

şeklinde elde edilir.

Burada R_i, β_i, ve I_{mi} ve V_{mi} , i=1,2 olan farklı iki sıcaklık T_1 ve T_2 için geçerlidir. T_1 , T_2 için ayrı ayrı (4.17) ve (4.18) denklemlerinden faydalanılarak elde edilen dört denklem kullanılarak elde edilen sonuç denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$n = (2\Gamma\Delta T - \Delta V)/(\Delta F + \Gamma\Delta T - \Delta V/2) \quad ; \tag{4.20}$$

$$R_i = (2\Gamma T_i \Delta F / I_{mi})/(\Delta F + \Gamma\Delta T - \Delta V/2) \quad . \tag{4.21}$$

Burada $\Gamma = k/q$, $\Delta T = T_1 - T_2$ $\Delta V = V_{01} - V_{02}$ ve $\Delta F = F(V_{01}) - F(V_{02})$'dir.
Bununla birlikte (4.18) ve (4.19) denklemleri kullanılarak bariyer yüksekliği Φ_b, de hesaplanabilir.

Sato ve Yasamura (1985) tarafından Norde yaklaşımının modifiye edilmesiyle elde edilen norde benzeri yaklaşım, n değerinin ikiden küçük olduğu durumlarda anlamlıdır. Ancak n değerinin daha büyük değerler aldığı durumlarda F(V)'nin minimum değeri tam olarak belirlenemez. Bu da grafiksel orak V_m değerini bulmayı zorlaştırır. Bununla birlikte bu yaklaşım, üretilen Schottky diyot için iki farklı sıcaklıkta iki deneysel I-V ölçümünü ve bunlara karşılık gelen F(V) fonksiyonunun minimumunu bulmayı gerektirir.

4.3 Cheung Cheung Metodu

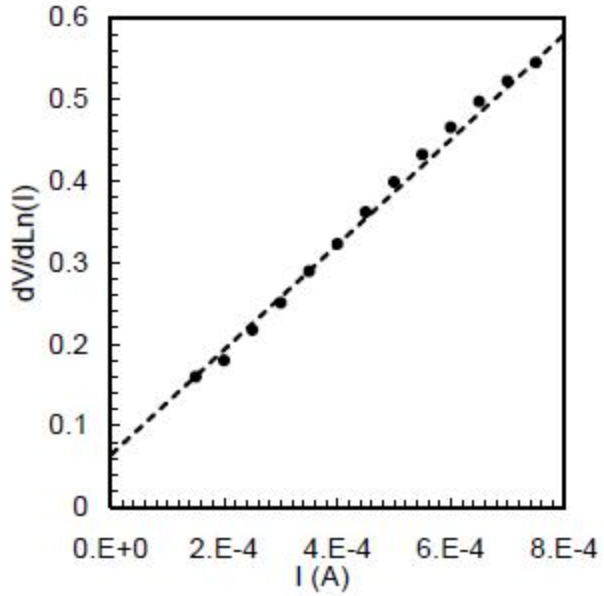
Cheung-Cheung farklı tavlama sıcaklıklarında Schottky diyotların karakterizasyonu için daha pratik olan başka bir yöntem geliştirmişlerdir. Denklem (4.16) dan faydalanılarak

$$Y(I) = \frac{dV}{d(\ln(I))} = R\ I + \frac{nkT}{q} \tag{4.22}$$

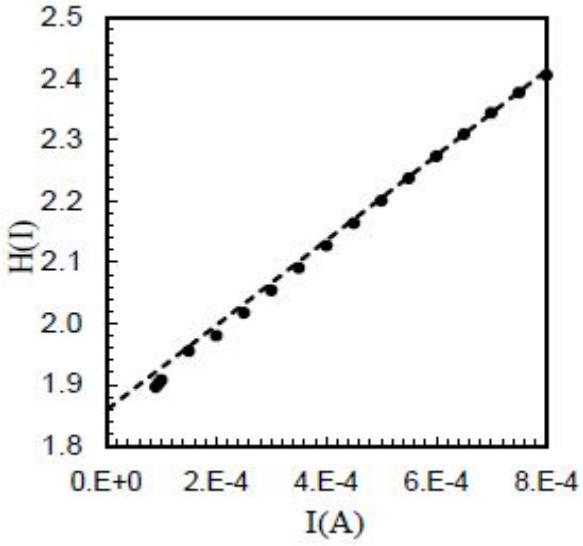
eşitliği elde edilebilir(Cheung, 1986). Bununla birlikte Φ_b bariyer yüksekliğini hesaplamak amacıyla Cheung-Cheung, metal-yarıiletken sistemlerinde yeni bir fonksiyon olan H(I) fonksiyonu

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right)\ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) = IR\ + n\Phi_b \tag{4.23}$$

şeklinde tanımlamışlardır. denk (4.22), Y(I)=aI+bşeklinde bir doğru denklemi gibi ele alınabilir. Y(I)-I değişim grafiğinde lineer bölge kullanılarak çizilen doğrunun eğimi bize R_s ve n değerlerini verir. verir. Bununla birlikte, benzer bir yolla H(I)-I grafiği kullanılarak tekrar R_s değeri bulunabilir. Bu değerin bir önceki adımda elde edilen direnç değeri ile karşılaştırılması ile yapılan işlemlerin doğruluğu kontrol edilebilir. H(I)-I grafiği kullanılarak çizilen doğrunun düşey ekseni kestiği noktadan ($n\Phi_b$) değeri; dV/dln(I) - I eğrisinden elde edilen n değerinin bu çarpım içinde yerine konulması ile Φ_b bariyer yüksekliği değeri elde edilir.



Şekil 4.3. Schottky diyotun oda sıcaklığındaki dV/dLn(I)-I grafiği(Karataş, 2004)

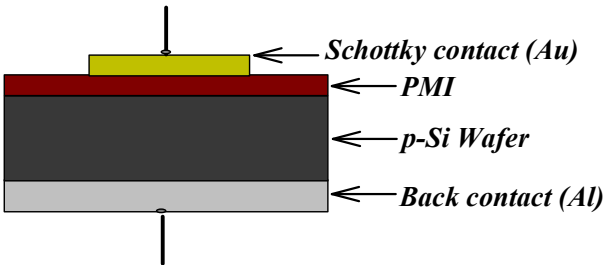


Şekil 4.3. Schottky diyodun oda sıcaklığındaki H(I)-I grafiği(Karataş, 2004)

5. ORGANİK YARIİLETKENLER KULLANILARAK DİYOT ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ

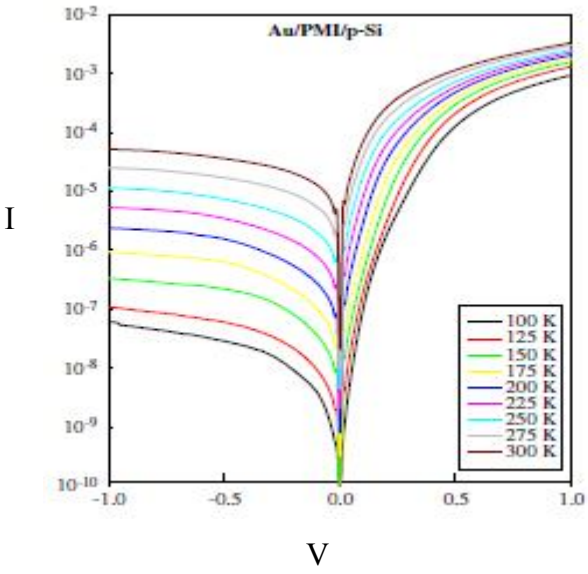
Literatürde metal ile yarıiletken arasında organik arayüzey kullanılmasıyla diyot özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yoğunlaşmış pek çok araştırma mevcuttur. Bu bölümde öncelikle arayüzey modifikasyonu amacıyla Yüksel ve ark.(2013) tarafından üretilmiş olan Au/PMI(perylene-monoimide)/p-Si Schottky diyotun n, Φ_b, R_s gibi elektriksel parametrelerini termiyonik emisyon modeli kullanılması ile belirlenmesinden bahsedilecektir. Daha sonraki bölümde ise bu tez çalışmasının asıl konusu olan Al/PDI(perylene-diimide) /ITO Schottky diyotun üretim aşamaları numuneler üzerinde yapılan ölçümler ve diyot parametrelerinin termiyonik emisyon teoremi kullanılarak belirlenmesi hakkında bilgi verilecektir.

Yüksel ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışmada Au/PMI(perylene-monoimide)/p-Si Schottky diyotun idealite faktörü(n), bariyer yüksekliği(Φ_b) ve seri direncini(R_s) içeren elektriksel parametrelerinin belirlenmesi üzerine 75K-300K sıcaklık aralığında detaylı bir analiz sunulmuştur. Sıcaklığın ve organik ara yüzeyin diyot parametrelerini nasıl değiştirdiği üzerine tartışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada standart termiyonik emisyon modeli kullanılarak veri analizi yapılmıştır. Oluşturulan diyotun ideal diyot davranışından sapması oluşma-tekrar birleşme işlemleri, arayüzey durumları gibi mekanizmalarla birleştirilerek açıklanmıştır.



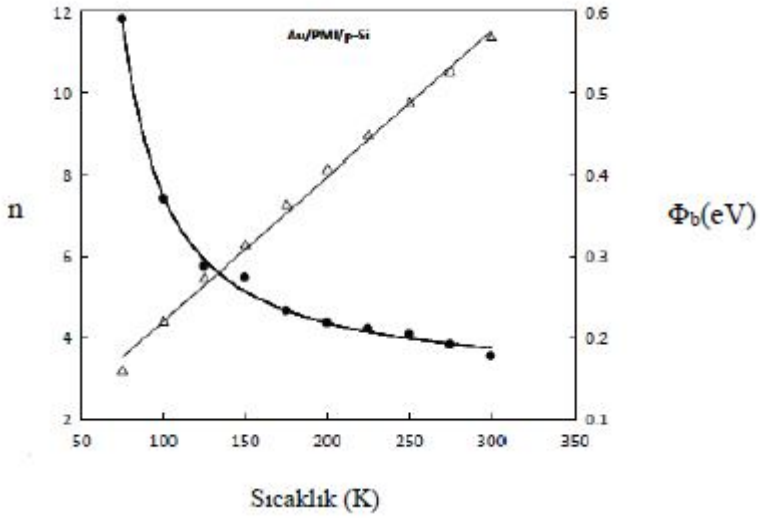
Şekil 5.1. Au/PMI/p-Si schottky kontağı

Şekil(5.2) Au/PMI/p-Si Schottky diyotun ln(I)-V eğrisini göstermektedir. Burada dikkat edilirse, ters beslem durumunda diyot gerilime zayıf bir şekilde bağımlıdır. Bu, diyotun iyi bir doğrultucu etkiye sahip oldugunu göstermiştir. Şekilden görülebileceği gibi, denk (3.28) ile tutarlı olarak akım değerleri düşük pozitif voltaj



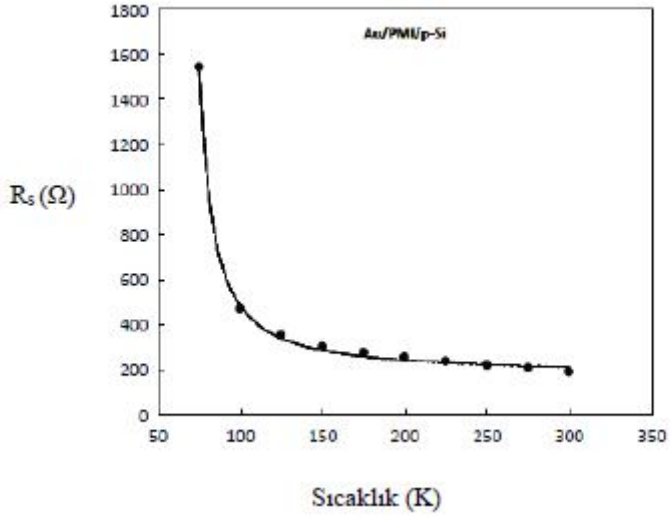
Şekil.5.2 .Au/PMI/p-Si Schottky diyotun farklı sıcaklıklar için I-V grafiği (Yüksel ve ark. 2013)

değerlerinde belli bir dereceye kadar lineer olarak artmıştır. Voltaj arttırılmaya devam edildiğinde, eğri doyum noktasına ulaşmış ve lineer davranışdan sapma göstermiştir. Şekil (5.3), n idealite faktörünün sıcaklıkla değişimini göstermektedir. n değerleri bütün sıcaklıklarda bir değerinden, başka bir deyişle termionik emisyon teorisinden sapma göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda yüksek idealite faktörü gözlemlenirken, sıcaklık yükseldikçe n değerleri eksponansiyel olarak azalmıştır. Düşük sıcaklıkta bu düşüş daha keskin olurken, yüksek sıcaklıklarda (175K-300K) daha yavaştır. Eğrilerin fiziksel davranışlarına fiziksel açıklama T_0 etkisi ve tünelleme etkisi göz önünde bulundurularak verilmiştir. Bununla birlikte, yüksek idealite faktörü değerleri oluşma-yeniden birleşme mekanizması ile açıklanmıştır. Şekil 5.3 aynı zamanda etkin bariyer değerleri Φ_b'nin belirlenmesinde sıcaklığın etkisi hakkında bilgi verir. Sıcaklık arttıkça, yüksek bariyer etkisi ile başa çıkabilen elektron sayısı artmış bu da bariyer yüksekliğini arttırmıştır. Eğrinin davranışı bariyer yüksekliğinin sıcaklık azaldıkça arttığı ideal system davranışı ile çelişkiye düşse de buradaki davranış Werner-Gutler model ile açıklanabilir(Hudait ve ark., 2001)



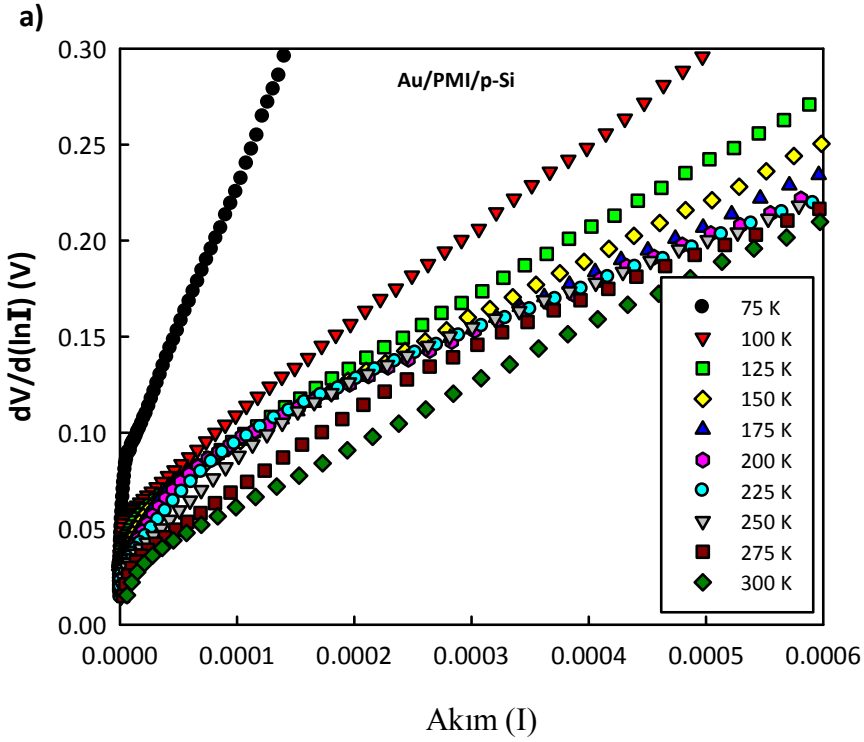
Şekil 5.3.Au/PMI/p-Si Schottky diyot için n idealite faktörü ve bariyer yüksekliği Φb'nin sıcaklıkla değişimi.(Yüksel ve ark., 2013)

Şekil 5.4'de R direnç değerlerinin sıcaklıkla değişimi analiz edilmiştir. Şekilden açıkça anlaşılabileceği gibi R değerleri sıcaklıkla azalmıştır. Bu davranış metal-yarıiletken sistemlerinin temel davranışı ile uyumludur. Bond bending ve kafesleme mekanizması eğrinin temel davranışı ile uyumluluk gösterir. Bununla birlikte serbest taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklıkla artışının R_s değerini düşürmesi eğri davranışının bir diğer açıklamasıdır.

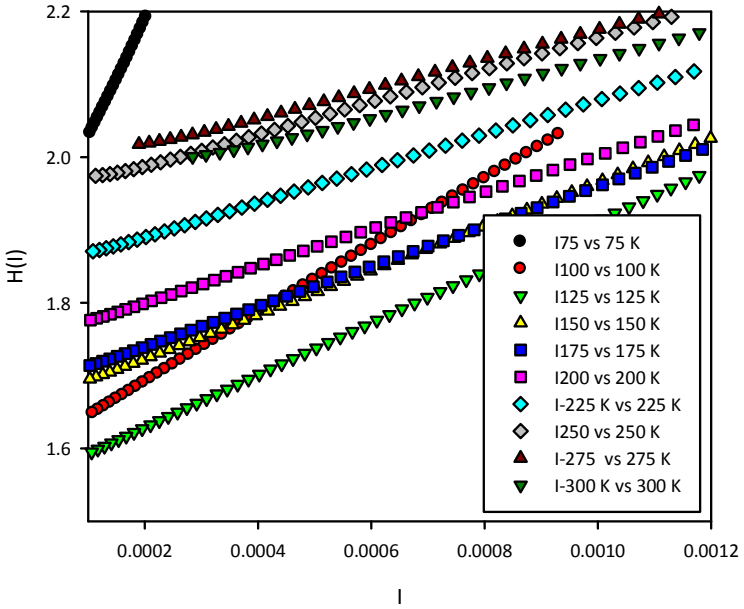


Şekil 5.4 . R_s nin sıcaklıkla değişimi(Yüksel ve ark.,2013)

Şekil.5.5 ve Şekil.5.6, denk.(4.22) ve denk.(4.23) de tanımlanan Y(I) ve H(I) fonksiyonlarının I ile değişimini vermektedir. Burada her iki şekil için de sıcaklık artışının hesaplanan değerleri arttırdığı dikkate değerdir.



Şekil 5.5. Au/PMI/p-Si schottky diyotun dV/d(lnI)- I grafiği (Yüksel ve ark. 2013)



Şekil 5.6. Au/PMI/p-Si schottky diyotun H(I) - I grafiği (Yüksel ve ark., 2013)

Çizelge 5.1'i yakından incelemek her iki tekniğin kullanışlılığını araştırmak açısından yardımcı olacaktır. Bununla birlikte sonuçlar tablodan görüldüğü gibi her iki teknik birbirleri ile uyum içerisindedir. Yüksel ve ark.(2011) Au/PMI/n-Si çalışması ile karşılaştırılırsa değerlerin etkin bariyer yüksekliği Φ_b , idealite faktörü n değerinden daha küçükken, seri direnç R_s için hesaplanan değerlerden daha yüksektir. Sonuçlardan, n yada p tipi olmasının sıcaklıklığa bağlı olarak sistemin elektriksel özelliklerinin belirlenmesindeki etkisinin oldukça öneemli olduğu sonucuna varılabilir.

Çizelge 5.1. Au/PMI/P-Si Schottky diyotun farklı yöntemlerle hesaplanan sıcaklığa bağlı diyot parametrelerinin değişimi(Yüksel ve ark., 2013)

T (K)	I-V		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
	n	Φ_b(eV)	n	R_s (Ω)	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
75	11.80	0.159	11.74	1540.8	0.159	1540.7
100	7.42	0.219	7.38	466.0	0.217	466.6
125	5.75	0.272	5.79	351.7	0.268	351.9
150	5.47	0.314	5.46	300.7	0.310	299.9
175	4.65	0.363	4.69	274.8	0.358	274.9
200	4.36	0.406	4.35	251.0	0.401	252.4
225	4.21	0.447	4.18	235.3	0.440	232.3
250	4.08	0.486	4.06	218.3	0.478	218.9
275	3.81	0.525	3.84	205.9	0.517	205.9
300	3.53	0.567	3.53	188.2	0.560	189.0

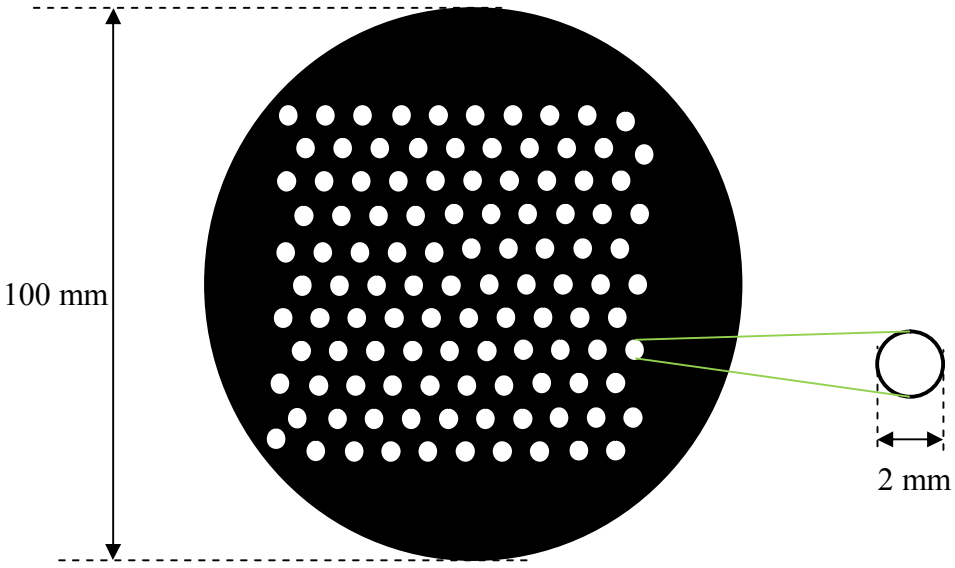
6. ITO/PDI/Al SCHOTTKY DİYOTUN ÜRETİMİ VE ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

6.1 Deneysel Prosedür

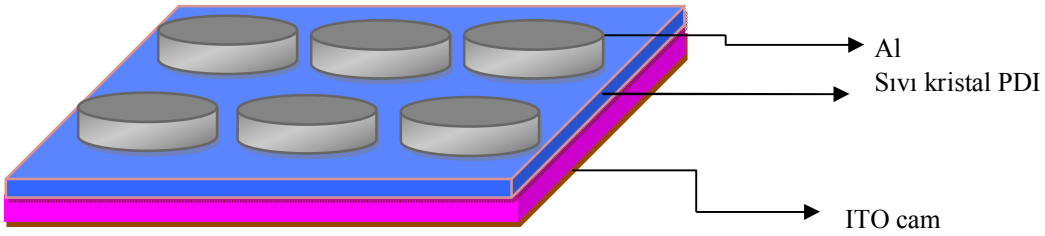
Bu çalışmada 2,5cmx2,5cm kare şeklinde İndium tin Oxide (ITO) alttaş kullanılmıştır. Cam saf su, aceton ve etanol ile temizlendikten sonra hava tabancası ile kurutulmuştur. Daha sonra damlatma yayma (drop-casting) kaplama metodu ile organik sıvı-kristal perylenediimide (PDI) kaplanmıştır. Hazırlanan filmler, Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümü İnce Film Laboratuvarında bulunan yüksek vakum ince film kaplama ünitesi (Nanovak NVTS21) (Şekil 6.1) kullanılarak, termal buharlaştırma metodu ile %99,99 saflıktaki Aliminyum (Al) metali ile kaplanmıştır. Kimyasal yolla temizlenen Al, kaplanmak istenen miktar kadar potaya konulmuş, basınç altında buharlaştırılmıştır. 2mm çapında yuvarlak deliklerden oluşan maske(Şekil 6.2) kullanılarak film üzerine kaplanan Al kalınlığı yaklaşık olarak 150nm' dir. Oluşturulan Schottky cihazların etkin yüzey alanı $3,14\ 10^{-6}$ m'dir. Hazırlanan Al/perylenediimide(PDI) /ITO Schottky cihazların I-V karakteristikleri Keithley 2410 programlanabilir sabit akım kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında S.Ü İleri Teknoloji laboaratuvarlarında ölçülmüştür.



Şekil 6.1 .Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan buharlaştırma sisteminin fotoğrafı.



Şekil 6.2 Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.

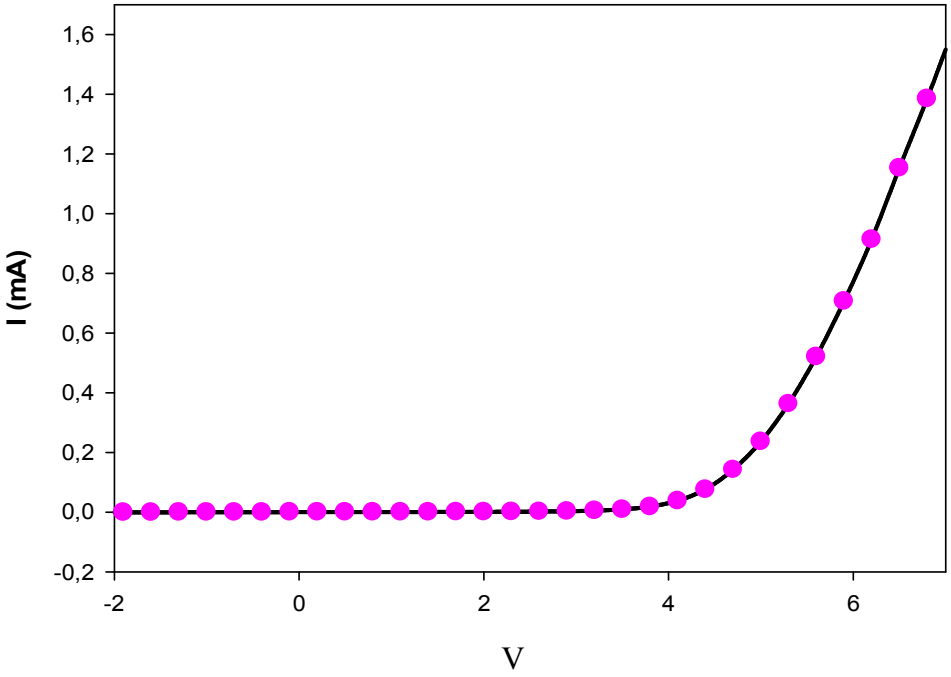


Şekil 6.3. Al/PDI/ITO diyotun şematik gösterimi.

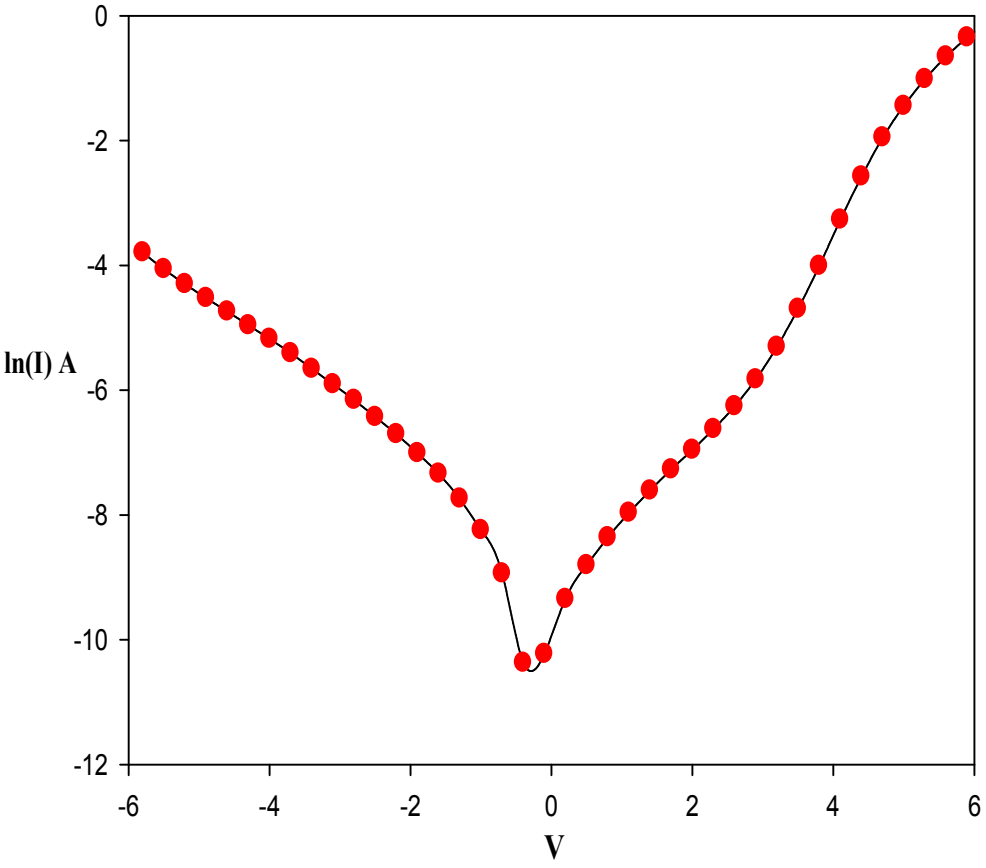
6.2 Ölçüm Sonuçları ve Tartışma

Bu tez çalışmasında Al/PDI/ITO organik Schottky diyot (Şekil 6.3) üretilmiş ve termiyonik emisyon teorisi kullanılarak idealite faktörü n, bariyer yüksekliği Φ_b, seri direnç R gibi elektriksel parametreleri hesaplanmıştır.

Şekil 6.4. Al/PDI/ITO Schottky diyotun doğru ve ters beslem I-V eğrileri ve yarı logaritmik çizimlerini (ln(I)-V) göstermektedir. -6V, +6V aralığında akım değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.4'den doğru akımın düşük voltajlarda yaklaşık exponansiyel arttığı ve yaklaşık 3.8 V civarında doğrultucu etki göstermeye başladığı söylenebilir. I-V eğrisinin antisimetrik ve lineer olmayan doğası üretilen cihazın diyot özelliği gösterdiğinin kanıtıdır. Schottky bariyer teorisine göre metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olduğu durumda arayüzeyde doğrultucu bariyer oluşur. Eğer iş fonksiyonları tam tersi düzende ise omik kontak meydana gelir. PDI/Al kontağı doğru beslem uygulandığında yük taşıyıcıları olan elektronların hareket edebildiği Schottky bariyer meydana gelir. Diğer tarafta ITO/PDI arayüzeyinde omik kontak oluşmuştur. Grafiksel sonuçlardan PDI' nın iş fonksiyonunun aliminyum ve ITO nun iş fonksiyonları olan 4.3 ve 4.8 değerlerinin arasında olduğu söylenilebilir(Hill, 1998).



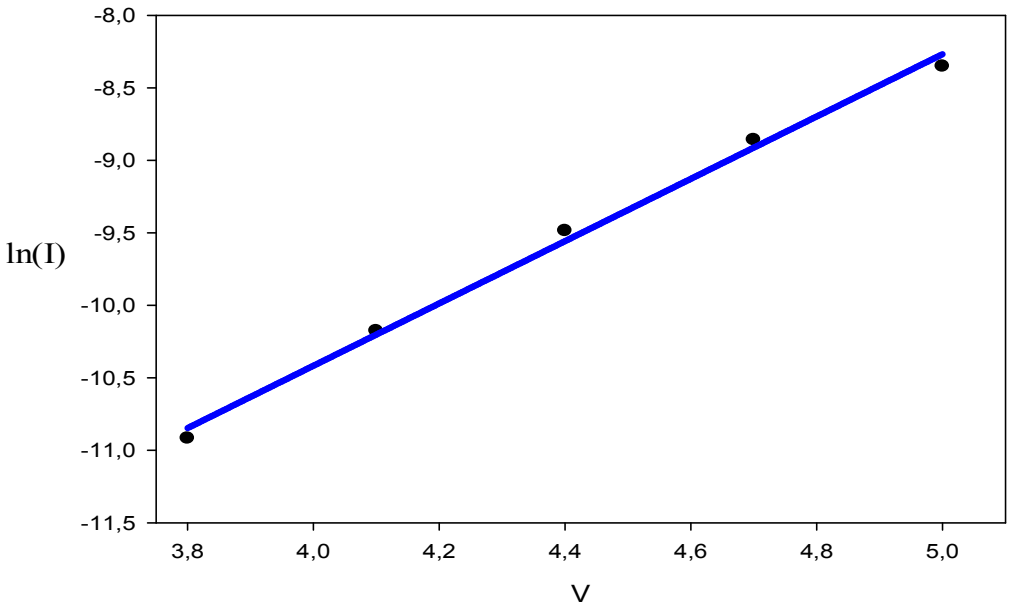
Şekil 6.4. Al/PDI/ITO Schottky diyotun I-V grafiği



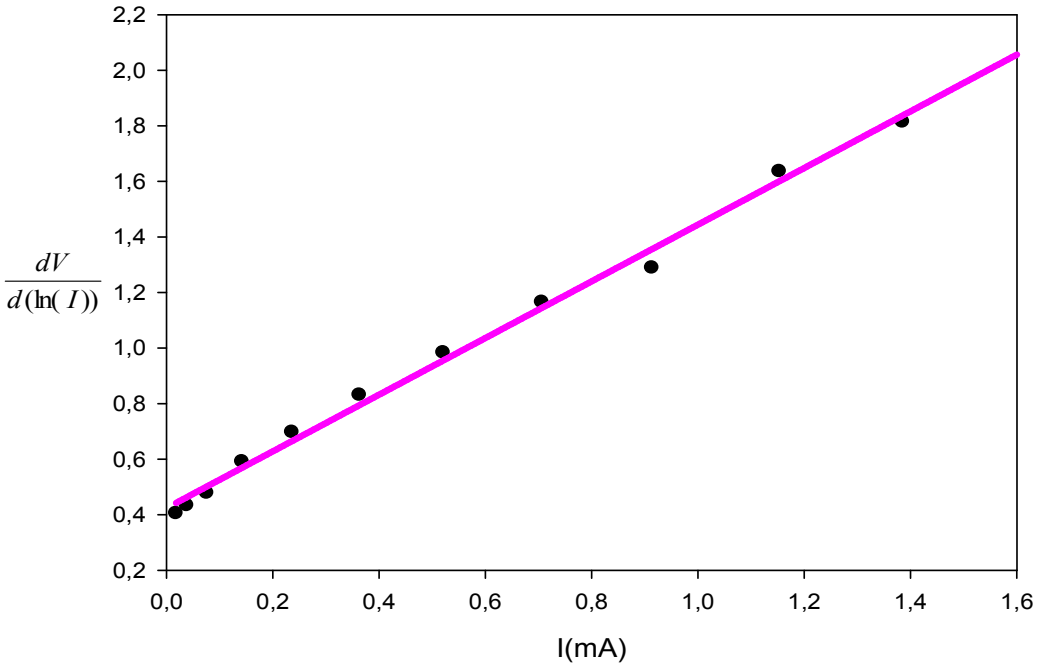
Şekil 6.5. Al/PDI/ITO Schottky diyotun ln(I)-V grafiği

Al/PDI/ITO Schottky diyotun şekil 6.5'de verilen ln(I)-V grafiğinin düz beslem bölgesindeki değişim bölgesinden faydalanılarak denk.(4.1) ve denk.(4.2) yardımıyla bariyer yüksekliği Φ_b ve idealite faktörü n yardımıyla. Φ_b= 0,8515eV ve n=17,98 olarak bulunur. Burada T oda sıcaklığı olup 300K dir. n değerinin birden büyük çıkması diyotun ideal termiyonik emisyon davranışından sapma gösterdiğini gösterir. İdealite faktörünün birden çok yüksek değer alması, tüketim bölgesindeki elektron ve boşlukların tekrar birleşmesi, arayüzeylerin varlığı ve alüminyum kontakla reaksiyona giren yapıların bulunması, tünellemenin varlığı ve akım birikmesi gibi farklı mekanizmalarla açıklanabilir (Mcdonald, 1987).

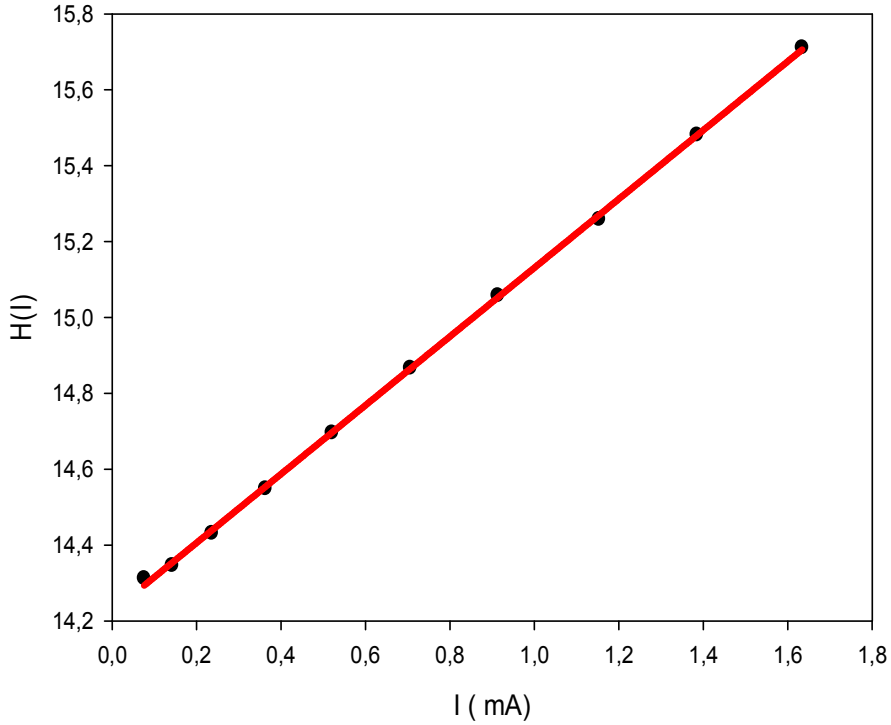
dV/dln(I)-I grafiğinin lineer değişen bölgesi kullanılarak çizilen doğrunun eğiminden eğimi, düşey ekseni kestiği nokta ve denk.(4.22) kullanılarak R_s ve n sırasıyla R_s =1,02k Ω n=16,3865 olarak hesaplanmıştır. Cheung Cheung tarafından önerilen bir başka fonksiyon olan H(I)-I değişiminin verildiği eğrinin lineer kısmından ve denk.(4.23) den faydalanarak Φ_b ve R_s değerleri sırasıyla Φ_b=0,8678 eV ve R_s= 906,2Ω olarak hesaplanmıştır. R_s =1,02k Ω ve R_s= 906,2Ω değerlerinin karşılaştırılması sonucunda değerlerin birbirine çok yakın çıkması uygulanılan prosedürün tutarlı olduğu sonucunu verir.



Şekil 6.6. Al/PDI/ITO Schottky diyotun ln(I)- V grafiği



Şekil 6.7. Al/PDI/ITO Schottky diyotun dV/dln(I) - I grafiği



Şekil 6.8. Al/PDI/ITO Schottky diyotun H(I)-I grafiği

7.YORUM VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Al/PDI/ITO Schottky diyot üretilmiştir. Üretim aşamasında ITO cam alttaş, PDI organik yarıiletken ile damlatma yayma yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Daha sonra Aluminyum(Al) Schottky kontaklar, 5.10^{-6} torr basınç altında termal buharlaşma yöntemiyle organik malzeme üzerinde oluşturulmuştur. Diyotun I-V karakteristikleri oda sıcaklığında 300K' de ölçülmüş ve iyi doğrultma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte termiyonik emisyon teorisi kullanılarak diyotun I-V karakteristiklerinden, idealite faktörü n , bariyer yüksekliği Φ_b gibi elektriksel parametreler öncelikle seri direnç etkisinin göz önünde bulundurulmadığı klasik yöntem olan ln(I)-V değişim grafiğinden, daha sonra hassas bir yöntem olan Cheung-Cheung yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Klasik yöntemle bulunan parametreler Cheung Cheung metodu ile bulunan değerlerle karşılaştırılmış ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir(Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1. Al/PMI/ITO Schottky diyotun farklı yöntemlerle hesaplanan elektriksel parametreleri

T (K)	I-V		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
	n	Φ_b(eV)	n	R_s (Ω)	Φ_b(eV)	R_s (Ω)
300	17,98	0,8515	16,3865	1020	0,8678	906,2

Burada Norde ve Norde benzeri yaklaşım kullanılarak elektriksel parametrelerin hesaplanması çok kullanışlı değildir. Elde edilen idealite faktörü değerinin birden çok büyük olması Schottky diyotun ideal diyot davranışı göstermedğinin kanıtıdır. Burada yukarıda özetlendiği gibi, n değerinin büyük çıkması tüketim bölgesindeki elektron ve boşlukların tekrar birleşmesi, arayüzeylerin varlığı ve alüminyum kontakla reaksiyona giren yapıların bulunması, tünellemenin varlığı ve akım birikmesi gibi farklı mekanizmalarla açıklanabilir. Bununla birlikte, bölgeden bölgeye bariyer yüksekliğinin homojen olmaması yüzey yükleri bir önceki bölümde özetlenen R_s direnç kaynaklarına ek olarak verilebilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bundan sonra farklı organik malzemelerle yapılacak olan metal/organik/ metal Schottky diyotlar için bir örnek oluşturacaktır. Bununla birlikte, yine aynı malzeme için farklı sıcaklıklarda diyot parametrelerinin

değişimi araştırılabilir. Metal ile organik yarıiletken arasında yük geçişlerini düzenlemek ve yarıiletken malzemenin performansını incelemek amacıyla SiO_2, TiO_2 gibi yüksek dielektrik katsayısı yüksek oksit tabakalılar kllanılabilir ve oluşturulan cihazın elektriksel parametreleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

Aydın, M. E., Soylu, M., Yakuphanoğlu, F., Farooq W. A., 2011, Controlling of electronic parameters of GaAs Schottky diode by poly(3,4-ethylenedioxithiophene)-block-poly(ethylene glycol) organic interlayer, *Microelectronic Engineering*, **88**, 867-871.

Aydoğan Ş., İncekara Ü., Deniz A.R., Türüt A., 2010, Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Orcein, Microelectronic Engineering, 87 2525-30.

Akkal, B., Benamara, Z., Boudissa, A., Bouiadjra, N.B., Armani, M., Bideux, L. and Gruzza, B., 1998, Modelization and characterization of Au/InSb/InP Schottky systems as a function of temperature, Materials Science and Engineering, B55, 162-168.

Aydoğan Ş., İncekara Ü., Türüt A, 2010, Determination of contact parameters of Au/Carmine/n-Si Schottky device, Thin Solid Films, 518 7156-7160.

Aboelfotoh, M.O. and Tu, K.N., 1986, Schottky-Barrier Heights of Ti and on n-type Si (100), Physical Review B, 34 (4), 2311-2318. 2TiSi

Aydın,M.D., Yakuphanoğlu,F., J.Phys.Chem.Solids 68(2007)1770

Bohlin, K. E. 1986. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. J.Appl. Phys. 60, 1223.

Bose, J.C., 1904, U.S. Patent, 775. 840.

Boy, F. 2013, organik ara yüzeyli GAs Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu Yüksek lisans tezi,S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Cafer, T., 2000, Katıhal Elektroniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi,İstanbul.

Cheung,S.K., Cheung,N.W., Appl.Phys.Lett.49(1986) 85

Card,H. C., and Rhoderick,E.H., J.Phys.D4, 1589(1971)

Ceron Solis,J., De la Rosa,E., Caprera,E.P.,Opt.Mater.Sci.42(2007)8158

Cormier,R.A., and Gregg,B.A., J.Phys.Chem B 101,11004(1997).

Cormier, R.A. ve Gregg B.A., 1997, Self-organization in thin films of liquid crystalline perylene diimides, The Journal of Physical Chemistry B, 101 (51), 11004-11006.

Çakar, M., Onganer, Y. and Türüt, A., 2002, The nonpolymeric organic compound pyronine-B)/p-type silicon/Sn contact barrier devices, Synth. Met. 126, 213-218.

Edvinsson, T. ve ark., 2007, Intramolecular charge-transfer tuning of perylenes: spectroscopic features and performance in dye-sensitized solar cells, The Journal of Physical Chemistry C, 111 (42), 15137-15140.

Elmansuri,A.; Malaoui,A. et.al., M.J.Condensed Matter, 12(2010)230

Elmansuri,A.; Outzourhit,A. et.al., Active and passive Electronic Components, Volume 2007, Article ID:17846

Gnanakan,S.R.P., Rajasekhar M. et.al, Int.J.Electrochem.Sci.4(2009)1289

Gebeyehu, D., et. al., 2004; WO/2005/124453 (patent); Chuang, K. H. et. al, (2006).

Gupta,R.K., Singh,R.A., Mater. Sci.Semicond.Process 7(2004) 83.

Gupta R. K., Singh R. A., 2005, Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organics semiconductor, Composites and Science and Technology 65 677-681.

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

Greenham, N.C., Friend,R.H. in: Ehrenreich,H. Spaepen(Eds.),F. Solid State Physics, Academic Publishers, Boston, UK, 1995

Herbst, H., Hunger, K., Industrial Organic Pigments, 3rd edition, WILEYVCH, Wienheim, (2004) p.474-477

Haungh, T.S., Peng, J.G. and Lin, C.C., 1992, High temperature stable Schottky Diodes with Enhanced Barrier Height, J. Appl. Phys., 61, 3017-3020. n

Hill,I.G., Khan,A., J. Appl. Phys. 84(1998)5583

Hudait,M.K., Venkateswarlu, P. , Krupanidhi,S.B., Solid State Electron. 45 (2001)133.

Kalinowski,J J. Phys. D; Appl. Phys. 32(1999) R179

Karataş Ş.,Altındal Ş.İdeal Olmayan Schottky Diyotlarının Temel Parametrelerinin Akım-Voltaj (I-V) Karakteristiklerinden Hesaplanması*,KSU. Journal of Science and Engineering 7(2)-2004.

Kittel, C., 1996, Katıhal Fiziğine Giriş, Çev: B. Karaoğlu, *Güven Kitap Yayın Dağıtım,* İstanbul.

Kızılok, Ş., 2008, Singlet O2 oluşturabilecek yüksek fotoaktiviteye sahip perilen diimidlerin sentezi, Yüksek lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 3.

Kampen,T.U., Park,S., Zahn,D.R.T., 2002, barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. Applied Surface Science 190, 461-466.

Kuş, M., 2006, Sıvı özellikli Perilendimidlerin sentezi ve organik fotosensörlerin fotofiziksel fotokimyasal parametrelerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

Kuş, M. ve ark., 2008, Optical and electrochemical properties of polyether derivatives of perylenediimides adsorbed on nanocrystalline metal oxide films, *Organic Electronics*, 9 (5), 757-766.

Kumar,P., Jain,S.C. et. Al.Applied Physics A 94(2009)2816

Langhals, H., Control of the interactions in multichromophores : Novel concept.Perylene bisimidesas components for larger functional units.Helvevica Chimica Acta- 2005, 88.

Lee,Y.S.,Park, J.H., Choi,J.S.,Optical Materials 21(2002)433

Lin, Y.Y., Gundlach D. et.al, IEEE Trans.Electron Devices 44 (8)(1997)1325

Lee, J.H., Kim, S.W., Ju,S.H., Lee,W.G., Choi,J.S., Kim, Y.K.,Kim,W.Y. Synth. Metals 111-112(2000) 63.

Mac Diarmid,G., Chiang,J.C.Halpern,M., Tuang,W.S. , Liu, S.L., Somasiri,N.L.D., Wu, W.Q.,Yaniger,S.L., Mol. Cryst. Liq. Cryst 121 (1981) 173.

Mac Diarmid,A.G. J.C.Chiang et.al.Mol.Cryst.Liq.Cryst.121(1981)173

Mcdonald,J.R., ImpedanceSpectroscopy, Wiley, New York, 1987.

Misra,S.C.,Chandra, S., Ind. J. Chem 33A (1994) 583-94

Mısra,S.C.,Chandra,S. Ind.J.Chem 33A(1994)583

Norde., H., 1978. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. Journal of Applied Physics, 50(7). July, 1979.

Okur S., Yakuphanoğlu F., Özsöz M., Kadayıfçılar P. K., 2009, Electrical and interface properties of Au/DNA/n-Si organic-on-inorganic structures, Microelectronic Engineering 86 (11) 2305-2311.

Osiris, W.G.,.Farag, A.A.M.,Yahia,I.S.,Synthetic Metal 161(2011)1079

Omar, M.Ali.,1975. Elemantary solid State Physics: Principles and Applications

P´erez , R.,Nicholas J. Pinto , Alan T. Johnson Jr. Synthetic Metals 157 (2007) 231–234.

Rideout, V.L., 1978. Thin Solid Films, 48-261p.

Rhoderick, E. H., Williams R. H., 1988, Metal Semicondutor Contacts , *Clarendon Press*, New York.

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

Stallinga, P., Gomes, H.L., Murgia, M. and Müllen, K., 2002, Interface state mapping in a Schottky barrier of the organic semiconductor terrylene, Org. Electron., 3, 43-51.

Sadrai, M., Hadel, L., Sauers, R.R., Husain, S., Jespersen, K.K., Westbrook, J.D., et al. "Lasing action in a family of perylene derivatives: singlet absorption and emission spectra, triplet absorption and oxygen quenching constants, and molecular mechanics and semiempirical molecular orbital " Journal of Physical Chemistry, 96/20, (1992) 7988-96.

Saxena,V. , Malhotra ,B.D. Current Applied Physics 3(2003) 293-305

Sato, K. ve Yasumura, Y. Department of Electronics, Faculty of Engineering, Tokai University 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-12, Japan (Received 22 April 1985; accepted for publication 25 June 1985).

Schön,J.H. , Batlogg,B., J.Appl. Phys. 89(1)(2001) 336.

Sharma, G.D.; Sangodkar, S.G.; Roy,M.S. Thin Solid Films 278 (1996) 129.

Strohriegl P. and Grazulevicius,J. V. Adv. Mater. 14, 1439 (2002).

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

Sutty,S.,Williams, G.,Aziz,H., Organic Electronics 14(2013)2392

Soylu M., 2007, Au/n-InP ve Au/Pyronine-B/n-InP Schottky yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Sze, S. M., 1981, Physics of Semiconductor Devices , 2nd Ed., John Wiley, New York.

Saxena,V., Malhotra ,B.D. Current Applied Physics 3 (2003) 293-305

Smıth R. A., 1978, Semiconductors, Second edition, Cambridge, University Press, Cambridge, 178s

Singh, A., 1985, Characterization of interface states at Ni/n Schottky barrier type diodes and the effect of surface preparation. Solid-State Electronics, 28, 223-232.

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

Shirota, Y. , Mater,J. ,Chem. 10, 1 (2000).

Shirota,Y.,Okumoto,K., Ohishi, H., Tanaka, M., Nakao,M., Wayaku, K., Nomura,S. and Kageyama,H. Proc. SPIE 5937, 593717 (2005).

Şahingöz,R., Soykan,C.,Yakuphanoğlu, F. Voigt,M., Çetin,H., Optical Materials 28(2006)962

Şahingoz, R., Soykan, C., Yakuphanoglu, F., Voigt, M. and Çetin, H., 2006, The determination of the conduction mechanism and extraction of diode parameters of ITO/PEDOT-PSS/POLYMER/Al heterojunction diode, 28, 962-965.

Şimşir N., Şafak H., Yüksel Ö. F., Kuş M., 2012, Investigation of currentevoltage and capacitanceevoltage characteristics of Ag/perylene-monoimide/n-GaAs Schottky diode, Current Applied Physics,

Tang, C.W. Appl. Phys. Lett. 48 (1986) 183.

Tung,R.T., Sullivan,J.P. , Schrey, F.,Mater. Sci. Eng.B14 (1992)266

Türüt, A. and Köleli, F., 1992, Metallic polythiophene/inorganic semiconductor Schottky diodes, Physica B, Condensed Matter, 192 (3) 279-283.

Vural Ö., Şafak Y., Altındal Ş., Türüt A.,2010, Current–voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs structures in the wide temperature range, Current Applied Physics 10 761-765.

Vural Ö., Yıldırım N., Altındal Ş., Türüt A., 2007, Current–voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs and Cu/Rhodamine-101/n-GaAs rectifier contacts, Synthetic Metals, 157 679-683.

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

Whitlock,J.B., Panayototaos, P., Sharma, G.D., Cox, M.D., Saucers, R.R., Bird,G.R., Opt. Eng. 32(1993) 1921

Yüksel, Ö. F., Tuğluoğlu, N., Şafak, H., Kuş, M., 2013, The motification of Schottky barrier height of Au/p-Si Schottky devices by perylene-diimide, *Journal of Applied Physics*, **113**, 044507.

Yüksel Ö.F., Tuğluoğlu N., Gülveren B., Şafak H., Kuş M.,2013, electrical Properties of Au/perylene-monoimide/p-Si Schottky diode, Journal of Alloys and Compounds

Yao, D., Bender, T.P., Gerroir, P.J., “Sundararajan PR. Self-assembled

vesicular nanostructures of perylene end-capped poly(dimethylsiloxane) Macromolecules, 38, (2005) 6972-8.

Yukruk, F., Dogan, A.L., Canpinar, H., Guc, D., Akkaya, E.U., "Watersoluble green perylenediimide (PDI) dyes as potential sensitizers for photodynamic therapy" Organic Letters, 7/14, (2005) 2885-7.

Yakuphanoglu, F., 2007, Electrical Characterization and Interface State Density Properties of the ITO/C70/Au Schottky Diode, J. Phys. Chem. C, 111, 1505-1507.)

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

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : FADİMANA ÜLKÜER
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA
Telefon : 555 269 75 76
Faks :
e-mail : fadimana.ulkuer@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Dumlupınar lisesi selçuklu KONYA**	
Üniversite	:	**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**	**2011**
Yüksek Lisans	:	**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**	**2014**
Doktora	:		

YABANCI DİLLER : İngilizce

YAYINLAR : F. Ülküer , B. Gülveren, " Electrical characterization of Al/PDI/ITO Schottky Diode" international workshop on flexible bio-and organic printed electronics, KONYA, TÜRKİYE, MAYIS 2014.(POSTER)