

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**METAL/POLİ(PENTACHLOROPHENYL
METHACRYLATE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE)
HETEROJUNCTION DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL VE
OPTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

SAVAŞ CANSEVER

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ**

Yozgat 2011

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**METAL/POLİ(PENTACHLOROPHENYL
METHACRYLATE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE)
HETEROJUNCTION DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL VE
OPTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

SAVAŞ CANSEVER

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ

**Bu çalışma, BAP-I.FEF/2010–19 kodlu Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.**

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Fizik Anabilim Dalı 7011050002 numaralı öğrencisi Savaş CANSEVER'in hazırladığı "Metal/ Poli(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) Heterojunction Diyotların Elektriksel ve Optiksel Karakteristiklerinin İncelenmesi" başlıklı ~~DOKTORA~~/YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 18/02/2011 Cuma günü saat 15:00'da yapılmış, tezin onayına ~~ÖY~~ ÇOKLUĞU / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hatice KANBUR ÇAVUŞ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Dilber Esra YILDIZ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 11/3/2011 tarih ve 3 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT | iv |
| TEŞEKKÜR | v |
| TABLolar LİSTESİ | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| KISALTMALAR LİSTESİ | viii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. TEORİK BİLGİLER | 6 |
| 2.1. Yarıiletkenler..... | 6 |
| 2.1.1. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri..... | 7 |
| 2.2. Polimerler..... | 8 |
| 2.2.1. Polimer Maddelerin Özellikleri..... | 8 |
| 2.2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması..... | 9 |
| 2.2.2.1. Organik Polimerler..... | 9 |
| 2.3. İletken Polimerler..... | 11 |
| 2.3.1.1. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları..... | 12 |
| 2.4. Yarıiletken İnce Filmler..... | 13 |
| 2.4.1. İnce Film Elde Etme Yöntemleri..... | 15 |
| 2.4.1.1. Çözelti Teknikleri..... | 15 |
| 2.4.1.1.1. Sol-Jel Kaplamalar..... | 15 |
| 2.4.1.1.2. Daldırmalı Kaplama Tekniği (Dip coating)..... | 16 |
| 2.4.1.1.3. Püskürtme Kaplama Tekniği (Spray Coating)..... | 17 |
| 2.4.1.1.4. Akış Kaplama Tekniği (Flow Coating)..... | 18 |
| 2.4.1.1.5. Laminer Kaplama Yöntemi (Laminar Coating)..... | 18 |
| 2.4.1.1.6. Merdaneli Kaplama Yöntemi (Roll Coating)..... | 19 |
| 2.4.1.1.7. Baskı Kaplama (Printing)..... | 19 |
| 2.4.1.1.8. Döndürme Kaplama Tekniği (Spin Coating)..... | 20 |
| 2.5. Metal -Yarıiletken (MY) Kontak Türleri..... | 22 |
| 2.6. İdeal Metal -Yarıiletken (MY) Kontaklarda Schottky-Mott Teorisi..... | 22 |
| 2.7. Metal/Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7.1. Termiyonik emisyon teorisi (TE)..... | 28 |
| 2.8. Schottky Diyotlarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri..... | 32 |
| 2.9. Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyod Karakteristiklerinin Belirlenmesi | 33 |
| 2.10. Optiksel karakteristiklerin belirlenmesi..... | 35 |
| 3. DENEYSEL YÖNTEM..... | 37 |
| 3.1. Numunenin adı, kimyasal bağ yapısı ve formülü, numunenin temin edilişi.. | 37 |
| 4. DENEYSEL ANALİZ..... | 39 |
| 4.1. Hesaplamalar..... | 39 |
| 4.1.1. I-V (Akım-Gerilim) Ölçümleri ile Diyod Parametrelerinin Belirlenmesi. | 39 |
| 4.2. Optiksel Parametrelerin Belirlenmesi..... | 46 |
| SONUÇ VE TARTIŞMA..... | 50 |
| KAYNAKLAR..... | 52 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 57 |

METAL/POLİ(PENTACHLOROPHENYL METHACRYLATE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE) HETEROJUNCTION DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL VE OPTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Savaş CANSEVER

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2011; Sayfa: 57

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ

ÖZET

Al/PEDOT:PSS/Poly(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) diyodun current-voltage (I-V) ve ultravioleto-visible (U-V) ölçümleri yapılarak elektronik ve optik özellikleri incelendi. I-V, $\ln I-V$, $\log I-\log V$, $\ln(I/V)-V^{1/2}$ ile $dV/d\ln I$ ve $H(I)$ grafikleri akım-voltaj ölçümleri kullanılarak çizildi ve bariyer yüksekliği (Φ_b), idealite faktörü (n), ters doyma akımı (I_0) ve seri direnç (R_s) gibi temel diyot parametreleri hesaplandı. I-V karakteristikleri termiyonik emisyon ve Cheung metodu kullanılarak incelendi. İdealite faktörü hesaplamaları her iki yöntemle de yaklaşık aynı sonuçları verdi. Termiyonik emisyon teorisine göre 6.070, Cheung yöntemine göre 7,644 olarak idealite faktörü hesaplandı. Al/PEDOT:PSS/Poly(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) diyodunun U-V ölçümlerinden optik yasak enerji aralığı (E_g) hesaplandı ve 4,946 eV olarak bulundu. E_g 'ye bağlı soğurma katsayısı hesaplandı. n ve k değerleri Yansıma ve İletim grafiğinden elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Heteroeklem yapı, Poli(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate); polimer, engel yüksekliği, idealite faktörü, seri direnç.

**THE INVESTIGATION OF ELECTRICAL AND OPTICAL
CHARACTERISTICS OF METAL/POLY(PENTACHLOROPHENYL
METHACRYLATE-CO-GLYCIDYL METHACRYLATE)
HETEROJUNCTION DIODES**

Savaş CANSEVER

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master of Science Thesis**

2011; Page: 57

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ

ABSTRACT

Electrical and optical properties of Al/Poly(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate)/PEDOT:PSS/ITO diode have been investigated using current-voltage (I-V) and ultraviolet-visible (U-V) measurements. I-V, $\ln I$ -V, $\log I$ - $\log V$, $\ln(I/V)$ - $V^{1/2}$, $dV/d\ln I$ and $H(I)$ have been plotted by I-V measurements and the main diode parameters such as barrier height Φ_{B0} , ideality factor n , reverse saturation current I_0 and average series resistance R_s have been calculated. I-V characteristics have been investigated by applying thermionic emission theory and Cheung method. The idealite factor calculations gave nearly same results. Idealite factor have been investigated by applying thermionic emission theory and Cheung method as 6.070 and 7.644, respectively. Optical band gap E_g have been calculated by using U-V measurements of Al/PEDOT:PSS/Poly(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) diode and found as 4,946 eV. Absorption constant have been found depends on E_g . n and k constant have been obtained by using Reflectance and Transmittance plot.

Keywords: Heterojunction structure; Poly(pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate); Polymer; Barrier Height, ideality factor, series resistance.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütölmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Master eğitimim ve tez çalıőmalarıma, ayrıca tezimin değerlendirilmesi için yapmıő olduğu katkı ve yardımlardan dolayı sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hatice KANBUR ÇAVUŞ'a teşekkür ederim.

Master eğitimim boyunca her zaman yardımını benden esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşım Mennan KARA'ya teşekkür ederim.

Son olarak, çalıőmamda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

TABLULAR LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Tablo 2.1. Kimyasal film oluşum teknikleri..... | 15 |
| Tablo 4.1. Akım ve Voltaja karşılık bazı idealite faktörü ve bariyer yüksekliği değerleri..... | 45 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Malzemenin Kimyasal Bağ Yapısı..... | 10 |
| Şekil 2.2. Daldırmalı kaplama tekniğine ait resim..... | 17 |
| Şekil 2.3. Püskürtmeli kaplama tekniğine ait resim..... | 18 |
| Şekil 2.4. Spin-Coater (Semitec CPS10) cihazına ait resim..... | 21 |
| Şekil 2.5. Metal/n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji- band diyagramı (a) Birbirinden ayrılmış nötral materyaller (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu | 24 |
| Şekil 2.6. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji- band diyagramı (a) Termal denge durumu (b) doğru beslem (c) ters belsem altında..... | 26 |
| Şekil 2.7. Metal/yarıiletken (MY) kontaklarda doğru beslem altındaki akım-iletim mekanizmaları..... | 27 |
| Şekil 2.8. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden kaynaklanan potansiyel engel alçalması..... | 31 |
| Şekil 3.1. Polimerin kimyasal bağ yapısı..... | 37 |
| Şekil 3.2. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodunun yapısı..... | 38 |
| Şekil 3.3. Keithley 614 electrometer cihazına ait resim..... | 38 |
| Şekil 3.4. Hach Lange UV DR 5000 cihazına ait resim..... | 38 |
| Şekil 4.1. Oda sıcaklığındaki ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodun I-V grafığı | 40 |
| Şekil 4.2. Tam logaritmik Log(I)-Log(V) grafığı..... | 40 |
| Şekil 4.3. Doğrusal olmayan $\ln(I/V)-V^{1/2}$ grafığı..... | 41 |
| Şekil 4.4. Oda sıcaklığında ve karanlık ortam altındaki malzemenin $\ln(I)-$ V grafığı..... | 42 |
| Şekil 4.5. $dV/d\ln(I)$ ve $H(I)$ 'nin akıma bağlı grafığı..... | 44 |
| Şekil 4.6. Polimer malzemeye ait soğurma-dalgaboyu grafığı..... | 46 |
| Şekil 4.7. Polimere ait $(\alpha hv)^2$ 'ye karşılık gelen hv grafığı..... | 47 |
| Şekil 4.8. Polimere ait $(\alpha hv)^{1/2}$ 'ye karşılık gelen hv grafığı..... | 47 |
| Şekil 4.9. Yansımanın dalga boyuna bağlı grafığı..... | 48 |
| Şekil 4.10. İletimin dalga boyuna bağlı grafığı..... | 48 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

| | |
|---|--|
| A | Diyodun etkin alanı |
| A* | Etkin Richardson sabiti |
| A | Soğurganlık |
| c | Işığın boşluktaki hızı |
| d | Numunenin kalınlığı |
| <i>E_g</i> | Geçiş enerjisi |
| <i>E_F</i> | Fermi enerjisi |
| <i>E_C</i> | İletkenlik bandının alt ucundaki enerji |
| <i>E_V</i> | Valans bandının üst ucundaki enerji |
| <i>E_{FM}</i> | Metalin Fermi seviyesi |
| <i>E_g^d</i> | Doğru geçiş enerjisi |
| <i>E_gⁱ</i> | Dolaylı geçiş enerjisi |
| G | İletkenlik |
| h | Planck sabiti |
| I | Materyalden geçen elektromagnetik dalganın şiddeti |
| I₀ | Malzeme üzerine gönderilen elektromagnetik dalganın şiddeti |
| J_n | Toplam akım yoğunluğu |
| J₀ | Doyma akım yoğunluğu |
| Φ_s | Yarıiletkenin iş fonksiyonu |
| Φ_m | Metalin iş fonksiyonu |
| Φ_B | Schottky engel yüksekliği |
| Φ_n | E _c ve E _F arasındaki potansiyel farkı (n-tip yarıiletkende) |
| Φ_{bn} | Schottky Engel Yüksekliği |
| k | Optiksel sönüm katsayısı |

| | |
|--------------|--|
| α | Soğurma katsayısı |
| m^* | Elektronun etkin kütlesi |
| m | Optik geçişin tipine karar veren sabit |
| n_o | Optiksel kırılma indisi |
| n | Diyyodun idealite faktörü |
| N_c | Verici katkı atomların birim hacimdeki yoğunluğu |
| N_d | Verici atomların yoğunluğu |
| R | Optiksel yansımaya |
| R_s | Seri direnç |
| T | Optiksel iletim |
| q | Elektrik yükü |
| qV_i | Yarıiletkenin metale gidecek olan elektronun sahip olması gereken enerji |
| Å | Angström |
| V | Uygulanan potansiyel |
| V_D | Engel tabakası boyunca gerilim düşmesi |
| V_i | Kontakt potansiyel farkı |
| V_R | Kontağa uygulanan ters beslem gerilimi |
| V_F | Kontağa uygulanan doğru beslem gerilimi |
| W_D | Tüketim bölgesinin kalınlığı |
| v_x | Engeli aşabilecek deşğin hızı |
| χ_s | Elektron yakınlığı |
| λ_g | Fotonun dalga boyu |
| ϵ_o | Boşluğun dielektrik sabiti |
| ϵ_s | Yarıiletkenin dielektrik sabiti |

KISALTMALAR

| | |
|---------------|--|
| ALE | Atomik tabaka epitaksisi |
| TAE | Termiyonik Alan Emisyonu |
| I-V | Akım-voltaj |
| MY | Metal-Yarıiletken |
| AE | Alan Emisyonu |
| TED | Termiyonik Emisyon Difüzyon |
| TE | Termiyonik Emisyon |
| MYY | Metal-Yalıtkan-Yarıiletken |
| CVD | Kimyasal buhar çöktürme |
| FET | Alan etkili transistör |
| MESFET | Metal-yarıiletken alan etkili transistör |

1. GİRİŞ

Tohumları 1980’li yıllarda atılan yarı-iletken organik polimer araştırmalarının başarıyla sonuçlanması üzerine, Alan J.Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa 2000 yılı Nobel Kimya Ödülü’nü almaya hak kazanırken [1], elektronik endüstrisinin bu malzemelere ilgi göstermesiyle yepyeni bir teknoloji kolu olan Organik Elektronik de ortaya çıkmış oluyordu. Bu yeni teknolojide aktif yarı-iletken malzeme olarak kullanılan polimer ve küçük moleküllerin yapısını karbon molekülleri teşkil ettiğinden, alanı tanımlamak için genellikle “organik” kelimesi kullanılır. Yarı-iletken malzeme olarak polimer kullanıldığı zamanlarda, kullanılan polimerler de organik olmasına yani karbon içermesine rağmen, organik yerine polimer kelimesi de kullanılmaktadır. Günümüzde elektronik aygıtların bu denli yaygın ve kullanışlı olmalarını borçlu olduğumuz mikro elektronik teknolojilerinin temel yapı taşını oluşturan ve bir inorganik yarı-iletken olan silisyum, halen üretilen çiplerin % 95’inden fazlasının hammaddesi olmakla birlikte yüksek altyapı ve işletim maliyeti nedeniyle yüksek hacim, düşük fiyat gerektiren piyasalara hitap edememektedir. İşte bu noktada organik yarı-iletkenler; getirdikleri düşük altyapı maliyeti, geniş ve esnek yüzeylere uygulanabilme, kolay ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulamaya özgü sentezlenebilen malzeme özellikleri gibi avantajlarla, silisyumun dolduramadığı alanlara girebilecek niteliklere sahiptir [2].

Metal-yarıiletken kontaklar gelişen elektronik sanayinde birçok alanda yer almaktadır. Elektronik sanayinde metal-yarıiletken kontaklardan elde edilen Schottky diyotlar, güneş pilleri, mikrodalga karıştırıcı dedektörleri, varaktörler (kapasiteleri uygulanan gerilimle değışen kondansatörler), hızlı anahtar (switching) uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Metal-yarıiletken kontaklarla ilgili ilk çalışma 1874’lü yıllarda Braun tarafından yapılmıştır. Braun, nokta kontak doğrultucularını dedektör olarak kullanmıştır [3].

Metal-yarıiletken kontaklarla ilgili Schottky (1931), kontakların doğrultma özelliğini kullanarak ciddi çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların ilki kontakta meydana gelen akım sonucunda kontak boyunca oluşan potansiyel düşmesidir [4]. Wilson (1932),

doğrultma işlemini kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla açıklamaya çalışmış ancak tahmininde yanılmıştır [5].

Schottky ve Mott (1938), elektronların gözlenen doğrultma yönünde potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçtiğini açıklamışlardır. Mott, potansiyel engelinin oluşmasını metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farklı olmasına dayandırmıştır. Mott, yüklü (safsızlık) atomlarının olmadığı ara yüzey bölgesinde elektrik alanın sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin metale olan yaklaşımla aynı uzaklıkta lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir. Schottky ise, metal yaklaşımındaki gibi Poisson denkleminin göre elektrik alanın lineer olarak artması ve elektrostatik potansiyelin kuadratik olarak değişmesi için engel bölgesinin sabit olan yüklü kirliliklerin konsantrasyonunu içerdiğini varsaymıştır [4].

1900'lü yılların başlarında kullanılan ilk pratik devre elemanı metal-yarıiletken diyot idi. Bu diyotlar nokta kontak olarak da adlandırılır. Nokta kontaklar ince metal bir telin yarıiletken yüzeyine dokundurularak yapılmıştır. Ancak bu kontaklar kolaylıkla üretilmediklerinden mekanik olarak fazla güvenilir olmamışlardır.

Günümüzde yeniden üretilen ve güvenilir metal-yarıiletken kontaklar üretmek için yarıiletken ve vakum teknolojisi kullanılmaktadır. Polimerlerin metal ve yarıiletken olarak kullanılması bu konuda yapılan çalışmaları her geçen gün hızlandırmaktadır. İletken polimerler kolay hazırlanabilir, kolay şekil verilebilir, uygun maliyetli, esnek malzemelerdir. Bu elektriksel, mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin; Schottky diyotlar, hızlı anahtar uygulamaları, sensörler, FET'ler, MESFET'ler, mikrodalga devre elemanları, güneş pilleri, plastik bataryalar, varaktörler, elektrolüminesans cihazları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Konjuge polimerler katıhal devre elemanlarının üretimi için önemli bir yer tutmaktadır. Konjuge polimerlerin moleküler yapı içinde farklı gruplarının olması bu polimerlerin kimyasal ve elektrokimyasal yollarla yalıtkan bir malzeme olmaktan çıkıp metalik özellikler kazanacağını gösterir [6]. Schottky diyotlar, LED'ler, FET'ler, fotodedektörler gibi elektronik devre elemanlarında bu tür polimerler kullanılabilir [7].

Moleküler elektronik cihazlar arasında polipirool, politiofen ve polianilin gibi konjuge polimerlere dayanan Schottky cihazları mükemmel elektriksel karakteristiklerinden dolayı önemli derecede ilgi görmüşlerdir [8]. Polimerlerin bir diğer avantajı ise inorganik yarıiletkenlere dönüştürmede atomik seviyede düzenli yüzeylere ihtiyacının olmamasıdır [8]. Polimerler, uygun şartlar altında çevresel kararlılığının iyi olması, yüksek elektriksel iletkenliğine sahip olması, kolay ve ucuz üretilmesinden dolayı oldukça ilgi çekmişlerdir.

İletken polimerlerin genel bir özelliği, sırayla değişen tek ve çift bağlardan oluşan bir zincir yapısına sahip olan konjuge polimerler katkılı olduklarında iletkenliğin değişim göstermesidir. Böyle polimerler Schottky diyotlar, p-n eklem diyotları gibi devre elemanları için iyi malzemelerdir [9].

Bazı polimerlerin küçük gaz molekülleri ile etkileşime girmesi elektriksel iletkenliklerini oldukça değiştirmektedir [10]. Polimerlerle ilgili yapılan çalışmalardan bir diğeri ise iletken polimerlerin radyasyona ve buhara karşı duyarlı olduklarını göstermiştir.

Metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapıların temel fiziksel özellikleri ve iletim mekanizmaları geniş bir şekilde verilmiştir [11-16]. Bu çalışmalara ilaveten yüksek seri dirence sahip Schottky diyotlarda; seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği gibi temel fiziksel parametrelerin tayininde yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan ilki Norde tarafından, ideal durum ($n=1$) için seri direnç ve engel yüksekliğini tanımlanan bir $F(V)$ fonksiyonu yardımıyla elde edilmesi amaçlanmıştır [17]. Bu yöntem, seri direnç ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişmediği durumlara uygulandığı için sadece bir sıcaklıkta akım-voltaj ($I-V$) eğrisine ihtiyaç vardır. Bohlin ise Schottky diyodunun $I-V$ ölçümünden elde edilen $1 < n < \gamma$ (γ keyfi bir sayı olmak üzere) durumunda R_s ve Φ_b 'yi belirlenmesini mümkün kılacak Norde fonksiyonun modifiye edilmiş bir modelini ileri sürdü [18]. Daha sonraları Cheung $F(V)$ fonksiyonun minimumunu tanımlamada karşılaşılan dezavantajlar nedeniyle $F(V)$ 'nin minimum noktasının tanımlama işlevini hiç hesaba katmayarak $I-V$ karakteristiklerinden türetilen $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ gibi iki fonksiyondan diyotun temel parametrelerinin (n, Φ_B, R_s) hesaplanabileceğini gösterdi [19].

Bu çalışmada metal-yarıiletken Schottky diyotun oda sıcaklığındaki deneysel I-V karakteristiklerinden hesaplanan temel fiziksel parametreler; Cheung tarafından öne sürülen $dV/d\ln(I)-I$, $H(I)-I$ fonksiyonları yardımıyla da hesaplanmış ve sonuçlar termiyonik emisyon teorisi kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalardan organik malzemelerin değişik özelliklere sahip olduğu görülmektedir [18,19].

Sensörler, güneş pilleri, organik elektrolüminesans devre elemanları, plastik bataryalar, FET'ler, optik veri saklayıcıları, anahtarlama devre elemanları gibi birçok alanda organik malzemelerin optik, elektrik, fotoelektrik ve manyetik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Organik malzemeler iyonik ve kovalent bağlardan oluşur ve bağımsız moleküler yapıya sahiptirler. Organik malzemeler; spin kaplama, vakumda buharlaştırma ile kaplama, elektrokimyasal kaplama gibi yöntemlerle elektronik ve optoelektronik devre elemanlarında ince filmler şeklinde oluşturulurlar. Tung (2001), Schottky diyotlardan elde edilen I-V karakteristiklerinin bazı durumlarda (örneğin; idealite faktörünün yaklaşık 1.03'den büyük olduğu durumlarda) termiyonik emisyon modeli ile doğrudan açıklanamayacağını göstermiştir [20]. Bu durumu, Schottky engel yüksekliğinin uygulanan gerilime bağlı olduğunu kabul ederek açıklamıştır. Aynı zamanda idealite faktörünün 1'den daha büyük olduğu durumları, engelin imaj kuvvet etkisiyle azalması, generasyon rekombinasyon akımları, ara yüzey halleri ve tünelleme gibi etkilerin varlığıyla açıklamıştır. Jiang (2002), bir Schottky diyodun klasik modelinin eklem sabit engel yüksekliğine sahip olduğunu kabul etmektedir [21]. Ancak I-V karakteristiklerinden elde edilen veriler termiyonik emisyon modelinden sapmaların olduğunu göstermektedir ve bu durum engelin homojensizliği ile açıklanmaktadır. Polimerlerin malzeme türlerine göre birçok avantajının olması ve polimerlerle yapılan Schottky diyotların karakteristiklerinin incelenmesi bizi bu konuda yapılan çalışmalara itmiştir.

Bu tez çalışmasında; Polymer {Poli(Pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate)} kloroform içinde çözüldü. Polimer diyotu hazırlamak için Semitec CPS10 kullanıldı ve kalınlık ölçümü Alpha-Step 2000 Tencor kullanılarak belirlendi. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al Schottky diyodu elde edilerek I-V ölçümleri Keitley

614 electrometer ile 300 K'de alınıp I-V karakteristikleri incelendi. Yine polimer cloroform içinde çözümlenerek UV karakteristikleri çalışıldı.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın birinci bölümü; konunun amacı ve önemini belirten “giriş” kısmını, ikinci bölümü; malzemenin yapısı ile ilgili bilgilerle birlikte numune hazırlama yöntemlerini içeren “teorik bilgiler” kısmını, üçüncü bölümü; çalışmada kullanılan numunenin kimyasal bağ yapısı ve numunenin hazırlanmasını içeren “deneysel yöntem” kısmını, dördüncü bölümü; I-V ve U-V ölçümlerinden yararlanılarak diyot parametrelerinin tayinini içeren “deneysel analiz” kısmını ve elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesini ve yorumlanmasını içeren “sonuç ve tartışma” kısmını kapsamaktadır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Yarıiletkenler

Yarıiletkenlerde band eşik enerjisi, yalıtkanlardan daha küçüktür, iletkenlikleri 10^{-6} - 10^2 S/cm aralığında değişir. Bu düzeydeki elektriksel iletkenlik düşük gibi gözükse de, yeterli elektrik akımı sağlayacak büyüklüktedir. Ana zinciri üzerinde ard arda tek ve çift bağ sıraları içeren konjuge polimerler yarı iletkenlik gösterebilirler [22].

Yarıiletken polimerlerde valans bandı ve iletkenlik bandı arasındaki enerji seviyesi yeterince düşük olduğunda, ısı veya ışık etkisiyle serbest elektronlar iletkenlik bandının en düşük enerji düzeyine geçebilirler. Bu elektronlar iletkenlik bandı içerisinde hareket ederek yük taşıyıcı işlevi yapar ve zincir boyunca ilerleyerek artı yüklü yöne doğru yönelir. Bu sırada bağ bandı içerisinde kalan artı yük boşluğu, polimer zinciri üzerinde elektrona ters yönde hareket eder. Elektrığı bu yolla ileten maddelere intrinsik yarıiletkenler denir ve iletkenlikleri sıcaklık ya da ışık yoğunluğunun artışıyla yükselir [22].

Serbest elektron oluşturma yollarından ikincisi, dıştan yapılan bir etkiyle polimerden elektron almak veya polimere elektron vermektir. İndirgen ya da yükseltgen kimyasallar veya elektrokimyasal yöntem bu amaçla kullanılabilir [22].

Önceden tanımlandığı gibi, bir polimere uygun yöntemlerle elektron verilmesine veya elektron uzaklaştırılmasına doplama veya dop etme denir ve dop işleminden geçirilen polimer dop edilmiş olur. Doplama amacıyla kullanılan kimyasal maddelere dopant adı verilir. Polimer sentezinde kullanılan dopantın türü polimerin iletkenlik düzeyini etkiler.

Dop işlemiyle yük taşıyıcıların sayısı arttırılır. Polimere elektron verilmiş ise, bu elektronlar band eşğinde yeni bir enerji düzeyine yerleşebilir ve band esik enerjisini düşürür [22]. İletken polimerler dop edilmiş halinden uzaklaştırılarak (dedop) edilerek yeniden yalıtkan sekline dönüştürülebilir. Örneğin, sentezinde HCl kullanılarak klor iyonlarıyla (dopant) dop edilmiş iletken haldeki polianilin, 2 M NaOH içerisinde bekletildiğinde dopant uzaklaşır ve polimer iletkenliğini kaybeder.

2.1.1. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

Bir yarıiletken üzerine foton gönderildiğinde; atomların elektronları ile fotonların etkileşmesi sonucu soğurma (absorption), geçirgenlik, yansıma ve kırılma gibi bazı optik olaylar meydana gelir [23]. Soğurma bir malzemenin içerisindeki elektriksel yüklerin malzeme üzerine düşürülen elektromanyetik dalgalarla etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybı olarak tanımlanmaktadır [24]. Bu enerji kaybı materyalin atomları tarafından kullanılır. T kalınlığında herhangi bir materyal, elektromanyetik dalga ile etkileştiğinde, soğurma

$$I=I_0e^{-\alpha t} \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir.

Burada, I_0 ; malzeme üzerine gönderilen elektromagnetik dalganın şiddetini, I ; t kalınlığındaki materyalden geçen elektromagnetik dalganın şiddetini ve α ; soğurma katsayısını ifade etmektedir. α ,

$$A= \log_{10}(I_0/I) \quad (2.2)$$

$$\alpha=2.303 A/t \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile bulunur. A soğurganlık olup, soğurma katsayısı α , elektromagnetik dalganın dalga boyuna, malzemenin yoğunluğuna ve malzemenin yasak enerji aralığına bağlı olarak değişir [25]. Bir numuneden yayınlanan bir karakteristik ısının dalga boyu bu materyale özgü bir özellik olduğu gibi, soğurma sınırının dalga boyu da soğurucu numunenin bir karakteristiğidir. Yarıiletkenlerin bant yapılarının araştırılmasında en yaygın olarak optik soğurma yöntemi kullanılır. Bir yarıiletkenin sahip olduğu bant tipi ve yasak enerji aralığı hakkında bilgiyi bu yöntemle elde etmek mümkündür [26]. Değerlik ve iletim bantları arasındaki geçişler soğurma kenarına yol açar ve direkt geçişler için yasak enerji aralığının altında soğurma olayı beklenmez [27].

Soğurma olayında, yarıiletken malzeme üzerine gelen bir foton enerjisi, yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan daha büyük olduğunda, yarıiletkenin değerlik bandındaki bir elektron bu fotonu soğurur ve elektron değerlik bandından iletim

bandına geçer. Bu geçişin ardından elektron ardında bir delik bırakır, böylece elektron delik çifti oluşturulur. Temel soğurma olayında frekansı n olan bir fotonun enerjisi $h\nu$ olmak üzere,

$$h\nu \geq E_g \quad (2.4)$$

$$E_g = hc/\lambda_g \quad (2.5)$$

şeklinde verilir. Bu eşitlikte, λ_g yarıiletkenin yasak enerji aralığının enerji değerine karşılık gelen fotonun dalga boyunu, c ise ışığın boşluktaki hızını göstermektedir. Bu dalga boyu değerinden daha küçük dalga boylu fotonlar yarıiletken tarafından soğurulurken, daha büyük dalga boylu fotonlar soğurulmadan geçerler [28,29].

Yarıiletken malzemelerin optik ölçüm sonuçlarından biri de yasak enerji aralığının belirlenebilmesidir. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığı temel soğurma spektrumunun ölçülmesiyle bulunur. Temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğiyle yasak enerji aralığı hesaplanabilir. Bu grafiğin lineer kısmının doğrultusunun, $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir [25-30].

Malzeme üzerine gönderilen fotonlar, bir elektronu daha yüksek bir enerji seviyesine uyararak için yeterli enerjiye sahip değillerse, soğurulma yerine geçirilirler ve malzeme saydam olarak davranır. Bu yüzden yarıiletkenler kısa dalga boylu fotonlar için soğurucu, çok uzun dalga boylu fotonlar için ise saydamdırlar [31]. Bir fotonun soğurulması veya geçirilmesi, fotonun enerjisine, yarıiletkenin yasak enerji aralığına ve atomların dizilişine bağlıdır [23].

2.2. POLİMERLER

2.2.1. Polimer Maddelerin Özellikleri

1. Küçük moleküllü maddeler genellikle gaz veya sıvı haldedirler, polimerler ise büyük moleküllü olduğu için katı ve genellikle serttirler.
2. Küçük moleküllü bileşikler genellikle çözücülerde kolay çözünürler. Polimerler ise hem zor çözünürler, hem de çözünme şekilleri küçük moleküllü bileşiklerden

tamamen farklıdır. Öyle ki, çözücü molekülleri polimer molekülünden çok küçük olduğu için, onlar önce polimerin içine difüze olurlar. Bu yüzden polimer şişer ve hacmi yaklaşık 1000 kat kadar artar. Bunun neticesinde makromoleküller arasında olan bağ kuvvetleri zayıflar ve polimerier birbirinden ayrılarak çözeltiliye geçerler.

3. Küçük moleküllü bileşiklerin çözeltileri şeffaf olduğu halde, yüksek moleküllü birleşmelerin çözeltilerinde ışığın dağılması gözlenir.
4. Küçük moleküllü bileşiklerin çözeltilerinin kristalleşmesi genellikle kolay ve belli bir sıcaklıkta olduğu halde, yüksek moleküllü birleşmeler için kristalleşme prosesi çok zor ve geniş bir sıcaklık aralığında olmaktadır.
5. Küçük moleküllü bileşiklerden farklı olarak, yüksek moleküllü birleşmelerin çözeltilerinden veya eriyik halinden ince tabakalar meydana getirilebilir.

Polimerler, sertliğine, yüksek sıcaklığa ve darbeye dayanıklılığına, yüksek dielektrikliğine, korozyona karşı dayanıklılığına göre geniş kullanım sahalarına sahiptir.

2.2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Yüksek moleküllü birleşmeler elde edildiği yere göre doğal ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır.

a) Doğal polimerler: Bunlar doğada var olan polimerlerdir. Doğal kauçuk, pamuk, ipek, yün, amyant birer doğal polimerdir.

b) Sentetik polimerler: Monomerlerden çeşitli metotlarla sentezlenen polimerlerdir. Bunlar monomerlerden başlayarak endüstride sentezlenen polietilen, polipropüen, poliesterler, poliamidler gibi polimerlerdir. Polimer zincirinin yapısında bulunan atomların tabiatına bağlı olarak polimerler üçe ayrılırlar. Organik Polimerler, Organik-inorganik Polimerler ve inorganik Polimerlerdir.

2.2.2.1 Organik Polimerler

Organik moleküllerden oluşmuş polimerlerdir. Onların yapısında karbon atomundan başka, hidrojen, oksijen, kükürt, azot atomları bulunabilir. Organik polimerler karbon zincirli ve hetero zincirli olabilirler.

*** Karbon zincirli polimerlere örnekler:**

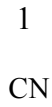
Polietilen: (-CH₂-CH₂-)_n

Polipropilen: (-CH_a-CH-),



Polibütadien: (-CH₂-CH=CH-CH²-)_n,

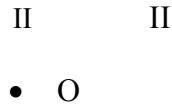
Poliakrilonitril: (-CH₂-CH-)_n



*** Hetero zincirli polimerlere örnekler:**

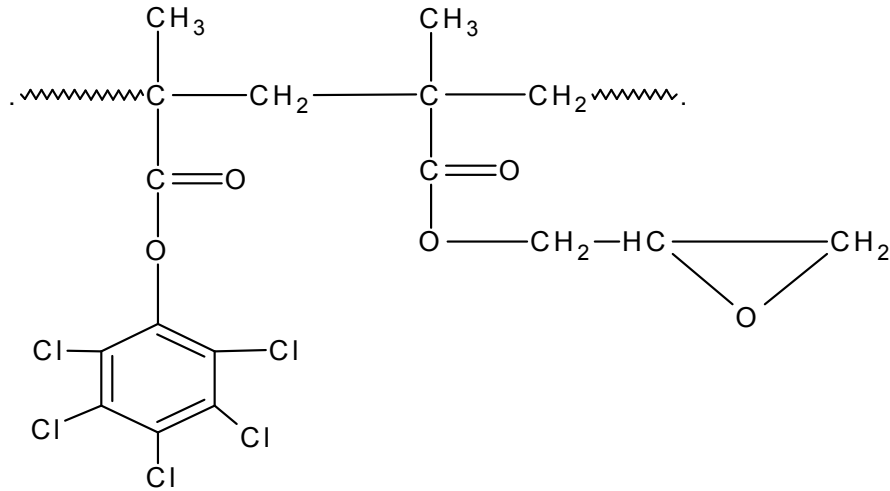
Poliformaldehit: -CH₂-O-CH₂-O-CH₂-O-CH₂-

Polikarbonat: -C(=O)-O-C(=O)-O-C(=O)-O-



Çalışmamızda kullanılan malzeme hetero zincirli polimer olup kimyasal bağ yapısı aşağıda gösterilmiştir.

Poly(Pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate)



Şekil 2.1. Malzemenin Kimyasal Bağ Yapısı

2.3. İLETKEN POLİMERLER

Son on yılda elektriksel iletkenliğe sahip polimerlere karşı ilgi önemli ölçüde artmıştır. Bu malzemeler çok önceleri değişik metotlarla elde edilmiş fakat iletkenliklerinin farkına varılamadığı için önemsenmemiştir. Bilim ve teknoloji alanında hızlı gelişmelere bağlı olarak yeni malzeme arayışları, iletken polimerlerle ilgili çalışmaların en etkili yürütücü kuvveti olmuştur. Bu çalışmalarda araştırmacılar polimerik malzemelere veya bazı sentetik organik maddelere, inorganik metal ya da yarı iletkenlerin özelliklerini kazandırmaya çalışmaktadırlar. Daha da ileriye giderek, metaller ve yarı iletkenlerde doğal olarak var olmayan bazı malzeme özellikleri iletken polimerlerle kazanılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenlerle iletken polimerler genellikle sentetik metal veya organik metal olarak da isimlendirilmektedir. Shirakawa'nın poliasetileni sentezleyerek katkılama yoluyla iletkenliğinin büyük ölçüde arttığını belirlemesi iletken polimerlerle ilgili ilk önemli çalışmayı oluşturmuştur [7]. Genellikle polimerler yalıtkan malzemelerdir veya çok düşük elektriksel iletkenliğe sahiptirler. İletken polimerler yapılarında. Uzun konjuge çift bağlı zincirler bulunması nedeniyle iletkenlik özelliğine sahiptirler. Doymamış hidrokarbonlar sp^3 hibridi içeren tetragonal yapıdadır ve karbonun bütün elektronları dört hibrit orbitaline yerleşmiş durumdadır. C – C tek bağında elektronları uyararak için oldukça yüksek enerji gerekir (7 – 10 eV). Bu nedenle geniş yasak band aralığına sahip bu bileşikler yalıtkanlardır. sp^2 ve sp hibridi içeren çift ve üçlü bağlı bileşiklerde hibrit orbitaller yanında elektron içeren p orbitalleri de vardır. Bu orbitallerin örtüşmesiyle oluşan π bağındaki π elektronları metalik iletkenliğe neden olur. Konjuge polimerler yasak enerji aralıkları (1.5 eV) bakımından yarı iletken özellik gösterirler, iletken konjuge polimerlerin iletkenlikleri ise kimyasal veya elektrokimyasal yolla değiştirilebilmektedir. Yükseltgenme ya da indirgenme yoluyla gerçekleştirilen bu işleme, inorganik yarı iletkenlerdeki katkılama (doping) işlemine benzemesi nedeniyle aynı isim verilmektedir. Katkılanmamış poliasetilenin iletkenlik değeri, yarı iletkenlerin mertebesinde iken AsF_5 ile katkılandığında bu 10^7-10^8 kat artırılmış ve metalik iletkenlerin düzeyine çıkarılmıştır. Bundan sonra bazı konjuge polimerlerin iletkenliklerinin, AsF_5 , I_2 gibi maddelerle kimyasal ya da elektrokimyasal yollarla katkılandıklarında arttığı görülmüştür [32].

2.3.1. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları

İletken polimerlerin en önemli uygulama alanlarından birisi doldurulabilir pillerdir. Bunun yanında bu malzemelerin elektronikte ve elektrokimyasal çalışmalarda önemli uygulamaları ortaya çıkarılmıştır. Poliasetilenin elektrokimyasal yöntemlerle hem anyonik hem de katyonik olarak katkılanabileceğinin bulunması ile doldurulabilir pillerde elektrot malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir. Kurşun asitli akü ile karşılaştırıldığında poliasetilen pilinin çok hafif olduğu ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğu anlaşılmıştır [33].

Ancak poliasetilen pilinin hava oksijeni ile bozunduğu ve termal kararlılığının katkılama ile azaldığı saptanmıştır. Doldurulabilir piller için elektrot malzemesi olarak polipirol, politiyofen ve polianilin havada daha kararlı olduklarından poliasetilene tercih edilmektedirler. Polipiroiden yapılmış doldurulabilen pil Almanya'da BASF firması tarafından imal edilmiş olup halen denenmektedir [33].

İletken polimerlerin diğer bir uygulama alanı da elektrokatalizdir. Polipirol içinde tutuklanmış ftalosiyanın anyonunun oksijenin elektro indirgenmesini katalizlediği kanıtlanmıştır. İletken polimerler fotoelektrokimyasal hücrelerde elektrot malzemesi olarak kullanılabilir. Örneğin elektrokimyasal olarak hazırlanmış politiyofen güneş ışığı ile aydınlatıldığında önemli miktarda fotoakımın oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca fotoelektrokimyasal hücrelerde kullanılan yarıiletken elektrotlar veya tozlar iletken polimerlerle kaplandığında istenmeyen fotokorozyon olayının önlenmesi bulunmuştur. Buna ek olarak iletken polimerlerin bünyesine sokulabilecek ve görünür bölgede ışığı absorblayan bir boyar madde yardımı ile elektrot tepkimesi sensitize edilebilmekte ve güneş enerjisi ile daha verimli bir biçimde hidrojen gazı üretilmektedir. Bu tür bir uygulamada polipirolle kaplı nTiO₂ üzerine anyon halinde yerleştirilen florosein yardımıyla fotokatalitik yoldan hidrojen oluşumu gerçekleştirilmiştir [34]. Bundan başka polipirolle kaplı altın mikroelektrotlarla kimyasal transistörün yapımı gerçekleştirilmiştir. İletken polimerlerin iletkenlik değerleri katkılanmayla orantılı olarak yalıtkan ve metalik değerler arasında değiştirilebildiğinden, bunların açma-kapama ve hafıza elemanı olarak elektrooptik uygulamalarda kullanılmaları da mümkün olmaktadır. Ayrıca yukarıda özetlenen uygulamalar dışında iletken polimerler nem sensörü, gaz sensörü ve radyasyon

detektörü olarak da kullanılmaktadır. Bu tür sensör uygulamaları polimerlerin iletkenlik değerlerinin ortamdaki nem miktarı, radyasyon miktarı ve NO, NO₂, CO kısmi basınçlarıyla değişmesi esasına dayanmaktadır. Bazı ilaçların elektriksel sinyaller uygulanarak mikrodozajlar düzeyinde belli zaman aralıklarında ve istenilen bir hızda bir yüzeyden belli bir ortama salınması, modern tıp uygulamalarında önemlidir [33].

2.4. Yarıiletken İnce Filmler

Yüzyıllar önce soy metallerin ince filmleri cam ve seramik üzerine dekorasyon olarak kullanılmış olması, 1940'lı yıllardan itibaren yarıiletken teknolojisi üzerine olan ilgiyi günümüze kadar devam ettirmiştir. Özellikle son yıllarda teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tutan yarıiletken ince film bilimi bütün dünya çapında temel bir araştırma alanı olarak gelişmiştir. İnce filmler, farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, bir taban üzerine ince bir tabaka halinde oluşturulan ve kalınlıkları tipik olarak nanometre mertebesinde olan yarıiletken malzemelerdir [35].

Kaplamanın önemi ve endüstri için yeni malzemelerin sentezi, ince film işleme teknolojisinde büyük ve önemli bir artışa neden olmuştur. Şu anda bu gelişmeler, mikro elektronik, optik ve nano teknolojideki bilimsel ve teknolojik patlamalarla büyük bir alanda ilerlemektedir. Kalınlığı nanometre ile mikrometre arasında değişen kalınlılardaki filmler için yapı ve işlem teknolojisi çok sayıdaki üretim alanı için önemlidir. Bu üretim alanları, ısıya dayanıklı malzeme kaplama işlemleri ve korumalı giyimler, malzemelerin ömür süresinin artırılması, atmosfer basıncına ve ısıya karşı malzemelerin korunması, güneş pilleri, optik ve elektronik devreler, bilgisayarlarda hafıza bölümleri gibi alanlardır [36]. Günümüzde ince film malzemelerindeki ve gereçlerindeki hızlı değişim; yeni işlemlerin, malzemelerin ve teknolojilerin gelişimi için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Bu yüzden, çeşitli uygulamalardaki ince film performans ve mikro yapısı ile ilgili temel fiziksel ve kimyasal özelliklerin önceden bilinen özelliklerini geliştirmek ve bu alandaki ilerlemeyi artırmak için birçok deney yapılmış ve model sistemleri geliştirilmiştir. Bu model sistemler, çekirdeklenme ve gelişim işlemleri, katı hal reaksiyonları, ince film sistemleri ve faz sınırlarının ısısal ve mekanik durağanlıkları gibi alanların

araştırılmasını içerir. Deneysel ve teorik incelemelerin birleştirilmiş sonuçları, yeni ince film sistemlerinin geliştirilmesi ile mikro yapı ve performanslarının şekillendirilmesinde bir önkoşuldur [37].

Son yıllarda nanometre büyüklüğünde özellikle ince film formatında yarıiletken yapıda malzeme üretimi kayda değer bir ilgi alanına sahiptir. Güneş pilleri, süper kapasitörler, fotovoltaiik araçlar ve elektrokromik pencerelerde kullanılan materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kontrolünün sağlanabilirliği, yarıiletken ince film ve nanoteknolojisi içeren çalışmalara olan ilgiyi artıran nedenlerden biridir. İnce film formatında nanokristal yarıiletken materyaller, bu materyallerle yapılan malzeme ve araçların karakteristik özelliklerinin artırılmasına imkân verir. Bu tip malzemelerde, materyali oluşturan parçacık sayısının artmasından dolayı katı yapıdan moleküler yapıya doğru aşamalı bir geçiş gözlenir. Bir yarıiletkenin nanokristal büyüklüğü, yarıiletkenin bant yapısını etkilediği için, yarıiletkeni oluşturan parçacıkların yeterince küçük olması yük taşıyıcılarının kuantum sınırında bulunmasını ve bant yapılarının kesikli enerji seviyelerine ayrışmasına neden olur [38]. Nanometre büyüklüğündeki yarıiletken malzemelerin özelliklerinden biride, yarıiletkenin sahip olduğu değerlik bandının (E_g) değerinin artarken, yarıiletkenin nanokristal yapı çapının azalmasıdır [21].

Yarıiletken ince filmler yapısal mükemmellik derecelerinin azalmasına bağlı olarak üç ana gruba ayrılırlar. Bunlar; (i) Tek katlı (homoepitaksiyel) olarak adlandırılan aynı materyalin tek kristal tabanı üzerine çöktürülen tek kristal filmler, (ii) Çok katlı (heteroepitaksiyel) olarak adlandırılan farklı materyalin tek kristali üzerine büyütülen tek kristal filmler, (iii) Cam, kuartz gibi amorf tabanların üzerine çöktürülen polikristal filmlerdir. Polikristal filmler büyük yüzeyli metal, cam, seramik, grafit gibi tabanlar üzerinde büyütülebilen, elektrik ve optik özelliklerinden dolayı güneş pili, yarıiletken fotodedektörler, diyotlar gibi birçok uygulama alanı olan, basit ve değişik yöntemlerle elde edilebilen yarıiletken malzemelerdir [4]. Bu çalışmada Spin-Coating yöntemiyle ince film elde edilmiştir.

2.4.1. İnce Film Elde Etme Yöntemleri

İnce filmlerin oluşması için kullanılan metotlar oluşum işleminin doğasına bağlı olarak iki guruba ayrılabilir, bunlar fiziksel ve kimyasal metotlardır. Fiziksel metotlar; fiziksel buhar oluşumu, lazerle aşındırma, moleküler ısın epitaksisi, elektron ısın epitaksisi gibi yöntemlerdir. Kimyasal metotlar ise gaz fazı oluşum metotları ile çözelti tekniklerini içerir. Gaz fazı metotları, kimyasal buhar çöktürme (CVD) ve atomik tabaka epitaksisi (ALE) iken, çözelti teknikleri püskürtme yöntemi, sol-gel ve dip coating vb. yöntemleri içerir. Tablo 2.1’de kimyasal ince film hazırlama metotlarıyla ilgili bir şema gösterilmiştir [39].

Tablo 2.1. Kimyasal film oluşum teknikleri

| KİMYASAL FİLM OLUŞUM TEKNİKLERİ | |
|---------------------------------|---|
| Gaz Fazı Tekniği | Çözelti Teknikleri |
| Kimyasal Buhar Çöktürme (CVD) | Sol-Jel Dip Coating Spray Coating Flow Coating |
| Atomik Tabaka Epitaksisi (ALE) | Laminar Coating Roll Coating Printing Spin Coating |

2.4.1.1. Çözelti Teknikleri

2.4.1.1.1. Sol-Jel Kaplamalar

- Sol-jel süreci, bir sıvı faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan koloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içerir.
- Sol-jel teknolojisi, çözelti formundan yola çıkılarak farklı uygulama alanlarına yönelik olarak seramik, cam ve kompozit malzemeler üretim tekniğine verilen genel isimdir.
- Bu yöntem, koloidal boyuttaki kristal olmayan tanecikleri kullanarak sulu veya susuz bir ortamda, metal oksitlerin kararlı çözeltilerinin hazırlanmasına dayanır.

- Kolloidal olarak kullanılan tanecikler 500 nm ve daha altındaki boyutlara sahip taneciklerdir ve optik mikroskopla görülemezler, çünkü en büyük boyutları ışığın dalga boyuna eşittir.
- Bu yöntemde temel özellik, sulu bir çözücü içerisinde metal bileşiklerini, kendi başlangıç birimlerine dağıtmaktır. Bu amaçla çeşitli başlangıç maddeleri (prekürsör) kullanılmaktadır. Sol-jel sentezlenmesi başlangıç maddelerine göre iki ayrılır:
 - Metal-organik: organik çözücülerde metal alkoksitlerle yapılır.
 - İnorganik: sulu çözeltilerde (klorür, nitrat,vb) metal tuzları ile yapılır.Bu yol ucuzdur ama reaksiyonlarının kontrolü zordur.

Sol-jel Kaplama Süreci;

- Sol-jel yöntemi, cam, seramik, metal ve plastik altlıkların kaplanarak yüzey özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak (optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi) amacıyla uygulanan bir kaplama tekniğidir [40].

2.4.1.1.2. Daldırmalı Kaplama Tekniği (Dip coating)

- Bu yöntem sol – gel ile kaplama yöntemlerinin en önemlilerinden birisidir. Hemen hemen saydam iletken tabakaların üretiminde kullanılır.
- Yöntem, bir cam taşıyıcının hazırlanan sol içerisinde belli bir hızda daldırılıp aynı hızda geri çıkarılması yoluyla film kaplanması işlemidir.
- Bu yöntemle kaplama yapıldığı zaman film kalınlığı, taşıyıcı sole daldırılıp çıkarıldığı esnada, zamanla değişmez.
- Daldırma yöntemi daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşma (alkol gibi uçucu çözücüler kullanıldığında buharlaşma normal olarak yukarı çekme, kaplama ve süzülme aşamalarında da gerçekleşir) olmak üzere 5 aşamadan oluşur.

Daldırmalı kaplama işlemi aşamaları:

- Daldırma aşamasında taşıyıcı sabit bir hızla solün içine daldırılır ve yukarı çekme aşamasında, daldırıldığı hızla (10–107 mm/dak) beklenmeden yukarı çekilir.
- Kaplama aşamasında, taşıyıcının sol ile temasa giren kısımları kaplanmış olur.
- Bu aşamada etkili olan kuvvetler:
 - yerçekimi kuvveti,
 - sol ile taşıyıcı arasında ki sürtünme kuvveti ve
 - solün taşıyıcıya tutunmasından oluşan yüzey gerilimi kuvvetidir.

- Süzülme aşamasında yukarıda saydığımız kuvvetlerin etkisi altında bazı sol damlacıkları taşıyıcının kenarlarından süzülerek yüzeyi terk eder.
- Buharlaşma aşamasında; süzülme aşamasında süzilemeyen sol damlacıkları buharlaşarak uçar. En son olarak taşıyıcı üzerinde kalan sol, fırınlama işlemi sonucu film haline dönüşür [40].



Şekil 2.2. Daldırmalı kaplama tekniğine ait resim

2.4.1.1.3. Püskürtme Kaplama Tekniği (Spray Coating)

- Bu yöntemde çözeltinin basınçlı şekilde nozülünden püskürtülmesiyle atomizasyona benzer şekilde ince damlacıklar üretilir.
- Üretilen damlacıklar bir altlık yüzeyine püskürtülmek suretiyle kaplama yapılır. Altlık yüzeyi sıcak ya da soğuk olabilir.
- Altlık yüzeyine ulaşan sıvı damlacıkların yüksek reaktiviteleri nedeniyle sürekli bir film oluşur. Oluşan film çözücü buharlaşması ile kurumaya başlar ve son olarak ısıl parçalanma ile kaplama elde edilir.
- Bu tür kaplama işleminde altlık yüzeyine sıvı damlacıklar olarak değil de nanometre boyutlarındaki kuru küçük tanecikler şeklinde kaplama gerçekleşir. Kaplama proses hızı 1 m/dak'dır.
- Püskürtme Kaplama tekniği yüksek üretim hızı, karmaşık şekil kaplama kolaylığı, düşük maliyet, ucuz ekipman maliyeti ve sürekli proses olması gibi avantajlarının

yanında kalınlığın her zaman homojen olamaması ve tekrarlanabilir kalınlık problemleri nedeniyle kısıtlamalara da sahiptir [40].



Şekil 2.3. Püskürtmeli kaplama tekniğine ait resim

2.4.1.1.4. Akış Kaplama Tekniği (Flow Coating)

- Akış kaplama tekniğinde kaplanacak parça askıda tutulur ve kaplama çözeltisi üzerinde dökülür. Fazla çözelti malzeme üzerinden akarak bir tankta toplanarak tekrar kullanılır.
- Kaplama kalınlığı altlığın eğimine, kaplama sıvısının viskozitesine ve solvent buharlaşma oranına bağlıdır. Bu tür kaplamalar daldırma kaplamaya uygun olmayan çok geniş yüzey alanlı parçalar için kullanılır.
- Kaplama döndürülemediği için kaplama yüzeyinde homojen kalınlık elde zordur. Kaplama kalınlığı tepeden tabana doğru artar ve görünüm kalitesi de düşüktür.
- Akış kaplama hızlı ve kolay bir tekniktir. Çok düşük yatırım, teçhizat, işçilik ve bakım maliyeti gerektirir. Bu tür kaplama tekniği boru hatlarında yaygın kullanılır [40].

2.4.1.1.5. Laminer Kaplama Yöntemi (Laminar Coating)

- Spin ve spray kaplama tekniklerinde kaplanan miktardan daha fazla kaplama malzemesi kullanılmaktadır.

- Daldırma ve akış (flow) kaplama teknikleri genellikle kaplama malzemesinin raf ömrüne bağlı olup, optik uygulamalarda daldırma kaplama tekniğinde kaplama sıvısının sadece % 10–20 kısmı kaplama üretimi için kullanılabilir. [41].
- Tüm bu problemlerin çözülebilmesi için kılcal (kapılar veya laminer) akış prosesi Floch ve CONVAC Co. tarafından geliştirilmiştir [41].
- Boru şeklindeki dağıtım ünitesi altlığın yüzeyinin altında fiziksel temas olmadan hareket ettirilir. Gözenekli silindir merdane ve altlık yüzeyi arasında bulunan çözelti kendi kendine meydana gelen bir menisküs yaratılır ve kılcal yağma koşulları gerçekleştirildiğinde yüksek derecede tek düze bir kaplama oluşturulur.
- Bu tür kaplamalarda çok katmanlı kaplama uygulamaları yapmak da mümkündür.

2.4.1.1.6. Merdaneli Kaplama Yöntemi (Roll Coating)

- Merdaneli kaplama prosesi sürekli dönen bir ya da birden fazla sayıdaki merdane kullanarak sürekli hareketli bir altlık ya da ağ üzerine ince sıvı film kaplama işlemidir.
- En yaygın uygulama türü gravür kaplamadır. Gravür kaplama bir merdaneli kaplama tekniğidir ve baskı sanayiinde yaygın olarak kullanılır.
- Bu teknik, düşük viskoziteli sıvılar kullanılarak yüksek hızlarda ince kaplamalar uygulanmasını kapsar. Bu yöntemler 15 m/s kaplama hızlarında 1-50 mm kalınlıklarında kaplamalar elde edilebilir
- Gravür kaplamada desenler krom merdane yüzeyine kimyasal dağlama, mekanik ya da elektromekanik olarak kazınarak hazırlanırlar.
- Fazla kaplama çözeltisi esnek bıçaklar ile sıyrılır. Bu tür kaplamaların en önemli avantajları yüksek hızlarda üretim yapılabilmesidir. Kaplama kalınlıkları ve homojenliği merdane yüzeylerindeki doku hacmi ve homojenliği ile kontrol edilmektedir. Ancak bu yöntemde proses parametrelerinin değiştirmenin uzun zaman alması ve merdanelerin aşınması problem oluşturmaktadır. Bu yöntem plastik şeritler üzerine anti-reflektif kaplamalar uygulanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [40].

2.4.1.1.7. Baskı Kaplama (Printing)

- Yaygın olarak dekor camlar için kullanılan baskı tekniğidir. Bu teknikte, belirli bir dokuya sahip ipekten yapılmış taslak tabakasına çözelti emdirildikten sonra malzeme

yüzeyine baskı uygulanması ile kaplama gerçekleşir. Tipik film kalınlığı 10–100 µm aralıklarındadır. Kaplama malzemeleri organik polimer kökenlidir.

- Bu kaplama işleminde seramik boyalı emaye kaplamalar ve uygun ergime sıcaklıklı filtreler kullanılabilir. Bu tür kaplamalarda düşük sıcaklık pirolizi veya UV (ultra viole) pirolizi kullanılmalıdır. Inkjet baskı gibi çeşitli türde baskı teknikleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle otomotiv endüstrisinde, dekoratif cam imalatında, gösterge panellerinin içinin ve fırın camlarının kaplamasında kullanılmaktadır. Ayrıca seramik ve cam yüzeylerin cam kaplanmasında, mikro optik elementlerde de kullanılmaktadır [40].

2.4.1.1.8. Döndürme Kaplama Tekniği (Spin Coating)

- Döndürme Kaplama ince filmlerin üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak süreç bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın yüksek dönme hızlarında (tipik olarak 3000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır.

- Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur.

- Nihai film kalınlığı ve diğer özellikler çözelti özellikleri (viskozitesine, kuruma hızına, katı oranına ve yüzey gerilimleri) ile işlem şartlarına (devir, hızlandırma) bağlıdır.

- Tipik olarak kaplama işlemi üç adımdan oluşur. Şekilde şematik olarak gösterilmiştir. Hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması ile başlayan işlem yüksek hızlı döndürme ile fazla çözücünün uzaklaşması ve çözeltinin yayılması ve sonra kurutma ile çözeltinin buharlaştırma ile jelleştirme ile kaplama işlemi tamamlanır.

- Çözeltinin dağıtılmasında dinamik ve statik olarak iki yaygın yöntem vardır. Statik dağıtım, çözelti damlasını altlığın merkezine veya merkezine yakın bölgeye damlatılmasıdır.

- Altlığın boyutlarına ve çözelti viskozitesine bağlı olarak gerekli çözelti miktarı 1–10 mikron arasında değişir.

- Yüksek viskozitelerde veya büyük altlıklarda yüksek dönme hızlarında altlığın yüzeyini tamamen kaplaması için daha fazla çözelti damlatılması gerekir.

- Dinamik dağıtım ise altlık düşük hızlarda dönerken çözeltinin damlatılmasıdır.
- Bu proste yaklaşık 500 dev/dak dönüş hızları kullanılır. Bu hızlar sıvının tüm altlık boyunca dağılmasını ve daha az çözelti kullanılmasını sağlar. Altlık veya çözelti zayıf ıslatma özelliğine sahip olduğunda ve bir avantaj sağlar ve filmde boşluk oluşmasını engeller [40].

Sol-jel Uygulamaları

- Gelişen teknolojiye paralel olarak malzeme teknolojileri de gelişmiştir. Cam üretimi ile ivmelenen sol jel tekniği günümüzde film, fiber, monolit, toz, kompozit ve gözenekli ortamlar gibi çok farklı alanlarda kendine uygulama alan bulmuştur.
- Çelik yüzeylerinin sol-jel tekniği ile kaplaması yaygın olarak yüzeylerin paslanmaya, çizilmeye ve oksidasyona karşı koruyucu kaplamalarında kullanılmaktadır.
- Bu amaçla sol jel yöntemiyle hazırlanmış seramik ($\text{SiO}_2, \text{ZrO}_2$) esaslı kaplama uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır [40].



Şekil 2.4. Spin-Coater (Semitec CPS10) cihazına ait resim

2.5. Metal -Yarıiletken (MY) Kontak Türleri

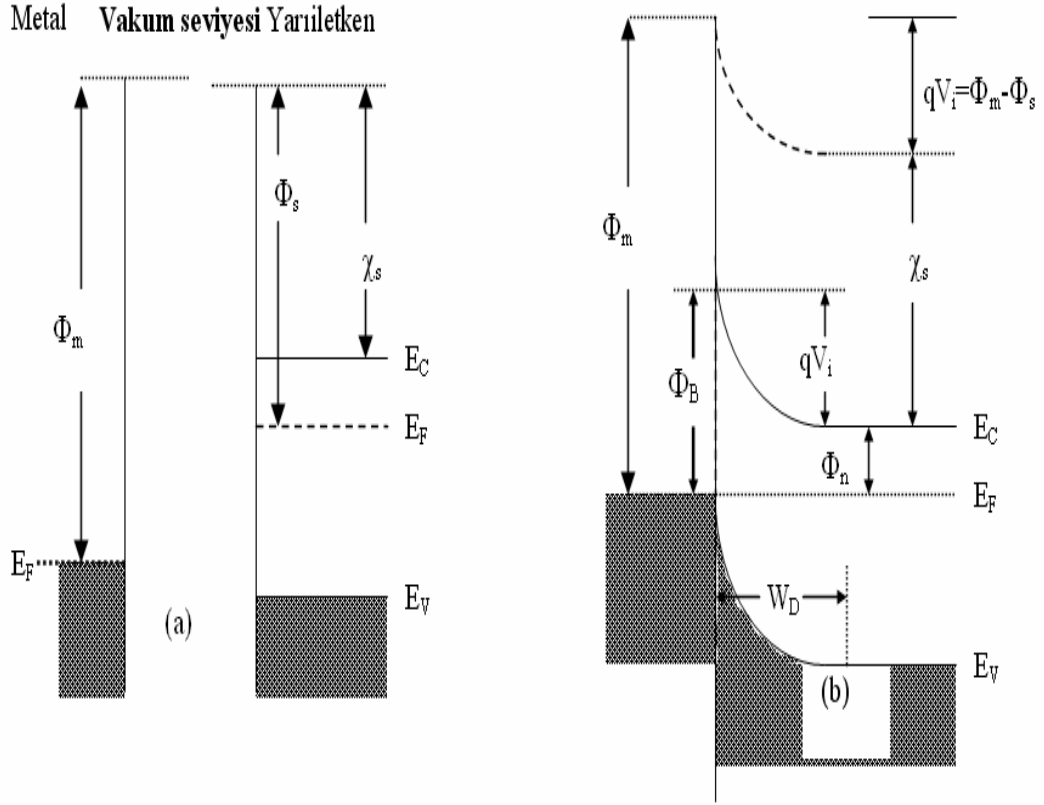
Schottky diyotların veya diğer adıyla metal-yarıiletken (MY) kontakların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi için, yarıiletken kristaller ile iletkenin iletkenlik özelliklerinin iyi bilinmesi ve bu yapılara uygun gerilimlerin uygulanması gerekir. Yarıiletken kristal ile kontak yapılacak malzeme olabildiğince çok küçük bir dirençle atomik boyutta temas etmelidirler. Oluşturulan kontakların ideal olması için, kontak olarak kullanılan metaller yeterince yüksek saflıkta ve yarıiletken kristallerin yüzeyleri de yeterince temiz olmalıdır. Metal-yarıiletken kontaklar, doğrultucu ve ohmik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kontakın ohmik veya doğrultucu olmasını, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları belirler. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere, metal-n tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ ise “doğrultucu kontak” ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise “ohmik kontak” oluşur. Metal-p tipi yarıiletkenlerde ise durum bunun tersidir.

2.6. İdeal Metal -Yarıiletken (MY) Kontaklarda Schottky-Mott Teorisi

Metal-yarıiletken kontakların karakteristiklerini belirleyen birçok faktör olmasına karşın, bunlardan en önemlisi metal-yarıiletken ara yüzeyinde oluşan potansiyel engelinin yapısıdır. Bu ara yüzeyde potansiyel engelinin oluşumu üzerine çeşitli modeller ileri sürüldü [42]. Schottky ve Mott tarafından önerilen modellere göre elektronlar, gözlenen doğrultma yönünde, potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçerler. Mott’a göre bu potansiyel engeli, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farkından kaynaklanır. Mott, ara yüzey bölgesinde, safsızlık (kirlilik) atomlarının olmadığını ve dolayısıyla elektrik alanın sabit olduğunu ayrıca, elektrostatik potansiyelin metale kadar, uzaklıkla lineer olarak değiştiğini kabul etti. Schottky ise engel bölgesinin sabit yoğunlukta safsızlık atomları içerdiğinden elektrik alanın lineer olarak arttığını, ayrıca elektrostatik potansiyelin metale kadar, Poisson denklemi ile uyum halinde, kuadratik olarak değiştiğini ifade etti [43].

Şekil 2.5 Metal/n-tipi yarıiletken kontak $\Phi_s < \Phi_m$ (doğrultucu kontak) için elektron enerji-band diyagramını göstermektedir. Şekilde gösterilen vakum seviyesi, metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi olup Şekil 2.5a’da referans olarak alınmıştır. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , bir elektronu Fermi enerji

seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan minimum enerji miktarıdır. Φ_m iş fonksiyonu, kristal örgünün periyodik potansiyeli sebebiyle oluşan hacim katkısına ve yüzeyde oluşabilecek dipol tabakası nedeniyle oluşan yüzey katkısına sahiptir. Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s de benzer şekilde tanımlanır ve değişen bir niceliktir. Çünkü yarıiletkenin Fermi seviyesi katılanan verici veya alıcı atomların miktarına bağlı olarak değişir. Yarıiletkende katkı miktarına bağlı olmayan önemli diğer bir parametre ise χ_s ile gösterilen elektron yakınlığıdır ve iletkenlik bandının en üst seviyesindeki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerji miktarıdır. Şekil 2.5a'da yarıiletken yüzey durumları içermediğinden yüzeyin band yapısı yarıiletken gövde (bulk) band yapısı ile aynıdır yani bandlarda bir bükülme yoktur. Şekil 2.5b, kontak yapıldıktan sonra dengeye ulaşmış durumun enerji-band diyagramını göstermektedir. Metal yarıiletkenle kontak edildiğinde, metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip olan yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesine eşit olana kadar yarıiletkenden metale doğru akarlar. Bunun sonucunda yarıiletkenin sınıra yakın bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu azaldığı için yarıiletkendeki Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının ortasına doğru kaymaya başlar. Böylelikle iletkenlik band kenarı E_C ile Fermi seviyesi E_F arasındaki fark, azalan bu elektron konsantrasyonu ile artar ve termal dengede E_F tamamen sabit kaldığı için iletkenlik ve valans band kenarları Şekil 2.5b'deki gibi yukarı doğru bükülürler. Yarıiletkenin vakum seviyesi de yarıiletkenin elektron yakınlığı kontak ile değişmediğinden aynı şekilde yukarı doğru bükülür. Metalden yarıiletkene geçen iletkenlik bandı elektronları arkalarında pozitif yüklü verici (donor) iyonları bırakırlar. Böylece yarıiletkenin metale bakan ön yüzeyinde hareketli yükler azalır.



Şekil 2.5. Metal/n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji-band diyagramı (a) Birbirinden ayrılmış nötral materyaller (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu

Bunun bir sonucu olarak da ara yüzeyin yarıiletken tarafında pozitif yükler oluşur aynı zamanda metal tarafında da yarıiletkenden metale geçen elektronlar ince bir negatif yük tabakası oluştururlar. Bu tabaka ara yüzeyden Thomas-Fermi film mesafesi ($\approx 0.5\text{\AA}$) kadar uzaktadır. Sonuçta, yarıiletkenden metale doğru doğal bir elektrik alan oluşur. Yarıiletkenin band aralığı metal ile kontak halinde değişmediğinden valans band kenarı E_V , iletkenlik band kenarı E_C 'ye paralel hareket eder. Aynı zamanda elektron yakınlığı da değişmeyeceğinden vakum seviyesinde de E_C 'ye benzer değişiklikler oluşur. Böylece termal dengedeki metal-yarıiletken sistemde, engel yüksekliğini belirlemek için önemli bir nokta olan geçiş bölgesinde vakum seviyesinin sürekli olması sağlanmış olur ve band bükülme miktarı, metal ile yarıiletken materyallerin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir. Bu fark $qV_i = (\Phi_m - \Phi_s)$ olarak ifade edilir. Burada V_i 'nin birimi volt olup eklemde kurulan potansiyel ya da kontak potansiyel farkı olarak bilinir. qV_i yarıiletkenden metale gidecek olan elektronun sahip olması gereken enerji yani engel yüksekliğidir.

Bununla birlikte metal tarafından gözükten engel yüksekliği, yarıiletken tarafından gözükten engel yüksekliğinden farklıdır ve;

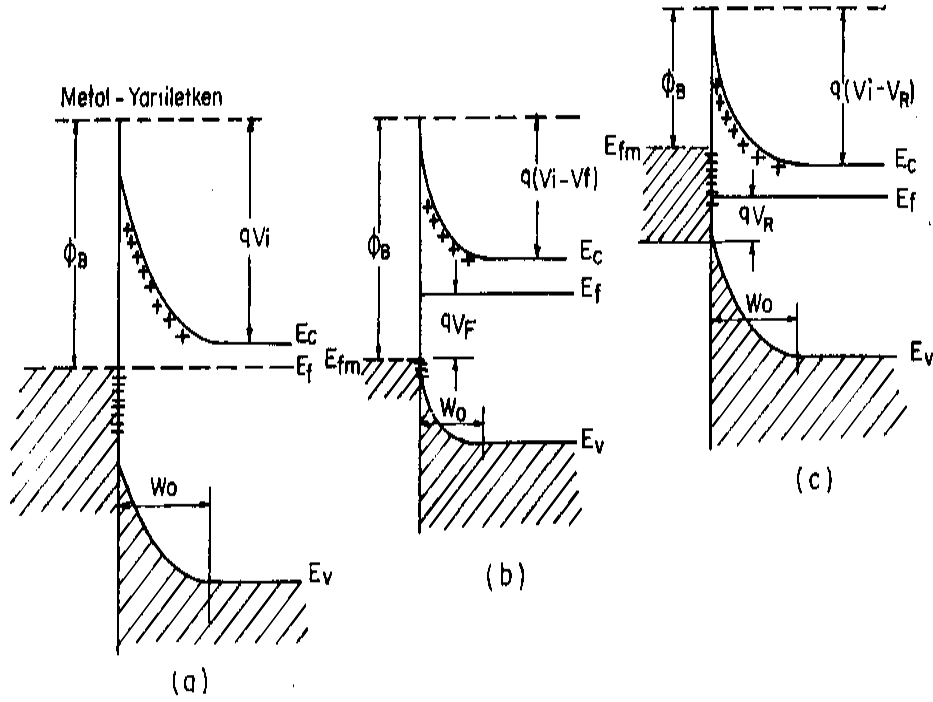
$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.6)$$

ile verilir (1). $\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ ve $\Phi_m = qV_i + \Phi_s$ olduğundan ,

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.7)$$

elde edilir. Burada $\Phi_n = (E_c - E_F)$ olup, q elektronik yüküdür. Eş. 2.6, birbirlerinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir [44]. Şekil 2.6a termal dengede doğrultucu kontağın enerji-band diyagramını göstermektedir. Termal denge halinde, yarıiletkenden metale geçen elektronlar metalden yarıiletkene geçen elektronlar ile dengelenir ve net bir akım oluşmaz. Yarıiletkenin tüketim bölgesi çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için, bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötral kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir (iletkenlik küçüktür). Bu nedenle uygulanan dış gerilimin neredeyse tamamı bu bölgeye düşer. Uygulanan doğru veya ters ön gerilim voltajı termal denge durumundaki enerji-band diyagramını değiştirir. Bu değişim, tüketim bölgesine düşen potansiyelin değişmesiyle ve band bükülmelerindeki değişiklik nedeniyle oluşur. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda, yarıiletken tarafı metale göre negatif olacak şekilde $V=V_F$ gerilim uygulandığında, tüketim bölgesinin genişliği azalır ve Şekil 2.6b'de gösterildiği gibi termal dengedeki potansiyel engel yüksekliği, qV_i 'den $q(V_i - V_F)$ 'ye iner. Bu durumda yarıiletkenden metale geçecek elektronlar azalmış bir engel ile karşılaşacaklar ve bunun sonucu olarak da yarıiletkenden metale doğru olan elektron akımı termal denge değerine göre artacaktır. Metalden yarıiletkene elektron akımı termal denge değerine göre değişmez. Çünkü metalde herhangi bir gerilim düşmesi oluşmaz ve potansiyel engel yüksekliği Φ_B uygulanan gerilimden etkilenmez. Sonuç olarak yarıiletken taraf negatif metal pozitif olacak şekilde kontağa bir potansiyel uygulandığı zaman, yarıiletkenden metale doğru olan net bir akım vardır. Bu durumda eklemnin doğru ön gerilimlenmiş olduğu söylenir. Doğru beslem akımı, uygulanan V_F voltajı ile üstel olarak artar [15]. Ters beslemde kontağın enerji band diyagramı Şekil 2.6c'de verilmektedir. Yarıiletken metale göre pozitif olacak şekilde $V = -V_R$ gerilimi

uygulandığında ise tüketim bölgesindeki potansiyel engel yüksekliği qV_i 'den $q(V_i + V_R)$ 'ye artacaktır. Yarıiletken den metale doğru elektron akımı termal denge durumuna göre azalır. Metalden yarıiletkene elektron akımı ise pratik olarak termal dengedeki akımın aynısı olur. Yarıiletken den metale doğru olan akım doğru beslemdeki ile kıyaslandığında daha küçüktür.



Şekil 2.6. Metal/n-tipi yarıiletken doğru akım diyodu için enerji-band diyagramı (a) Termal denge durumu (b) doğru beslem (c) ters beslem altında

Bahsedilen kontak tek yönde akım ileten doğru akım diyodu kontak olur. Şekil 2.6b ve 2.6c'deki enerji-band diyagramları denge şartlarında değildir ve tek bir Fermi seviyesi yoktur. Elektronların gittiği bölgenin Fermi enerji seviyesi, elektronların geldiği bölgenin Fermi enerji seviyesinden daha yüksektir.

2.7. Metal/Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontakların dış gerilim altında akım-iletim mekanizmaları tayini önemlidir. Kontakta ara yüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerin Schottky diyotlara etkisini dikkate alarak, hangi durumda hangi iletim mekanizmasının

oluşturduğunu belirlemek, sonuçların doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. MY ve MYY yapıları kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları [4,15,44];

-Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)

-Difüzyon Teorisi

-Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)

-Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE) Alan Emisyonu (AE), Çok katlı tünelleme)

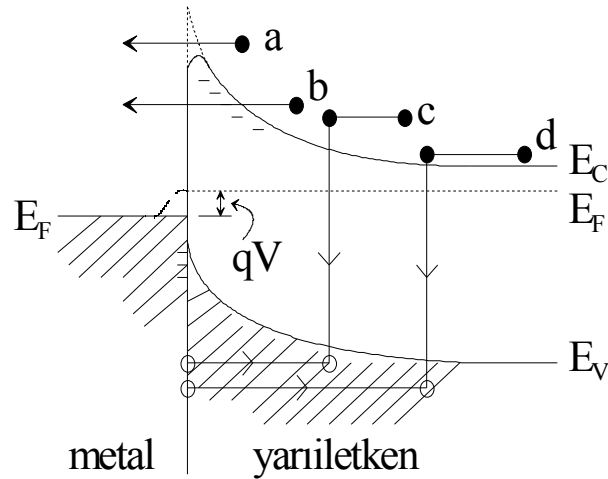
-Uzay yük bölgesinde rekombinasyon

-Yüksüz bölgede rekombinasyon

-Deşik enjeksiyonu

-To etkili akım iletimi olarak verilmektedir.

Şekil 2.7'de doğru beslem altında metal/n-tipi yarıiletkende temel iletim mekanizmaları gösterilmiştir. Burada, (a); potansiyel engelin tepesini aşan elektronların iletimi, (b); elektron için kuantum mekaniksel tünelleme (ideal katkılanmış (Si, $N_d \leq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) Schottky diyotları için bir modeldir.), (c); Uzay yük bölgesinde birleşme (yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu ohmik kontaklar için uygundur.), (d); doğal bölgede deşik enjeksiyonunu ifade eder.



Şekil 2.7. Metal/yarıiletken (MY) kontaklarda doğru beslem altındaki akım-iletim mekanizmaları

2.7.1. Termiyonik emisyon teorisi (TE)

Termiyonik emisyon; sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması anlamına gelir. Schottky kontaklarda yeterli termal enerjiyi kazanan taşıyıcıların potansiyel engel üzerinden yarıiletken metale veya metalden yarıiletkene geçmeleri TE olayı olarak bilinir. Bu olay metal/n-tipi yarıiletken yapılarında elektron, metal/p-tipi yarıiletken yapılarında deşikler tarafından sağlanır [4,45]. Metal tarafı uygulanan gerilimden bağımsızdır ve termal enerjileri nedeniyle metal tarafındaki engeli aşan elektronların oluşturduğu akım yoğunluğu J_0 termiyonik akım yoğunluğudur. Bethe'nin MY kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu termiyonik emisyon teorisinin varsayımları şunlardır [4,15].

- Potansiyel engelinin yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcı ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.
- Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Kontak yüzeyini x-yönüne dik olarak alırsak, kontak yüzeyine dik doğrultuda elektronların x yönündeki hız bileşeni v_x olacaktır. Dolayısıyla yarıiletken yapıda hızları v_x ile $v_x + \Delta v_x$ arasında olan elektronların yoğunluğu;

$$dn_x = N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right)^{1/2} dv_x \quad (2.8)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada N_d verici atomların yoğunluğu, m_n^* elektronun etkin kütlesi, k Boltzman sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Eğer yarıiletkene bir gerilim uygulanırsa elektronların yarıiletken metale doğru olan akım yoğunluğu, hızları $\frac{1}{2} m_n^* v_x^2 \geq eV_D$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımı;

$$J_{sm} = \int_{v_{0,x}}^{\infty} e v_x dn_x = \int_{v_{0,x}}^{\infty} e N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} v_x \exp\left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x$$

$$= eN_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT}\right) = eN_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{eV_D}{kT}\right) \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. $v_x = \left(\frac{2eV_D}{m_n^*} \right)^{1/2}$ olup, taşıyıcının eV_D yüksekliğindeki potansiyel engelini aşması için gerekli olan minimum hızıdır. Eğer iletkenlik bandının alt kenarı sıfır enerji seviyesi olarak referans alınır, verici katkı atomlarının birim hacimdeki yoğunluğu;

$$N_C = \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{E_F}{kT}\right) \text{ ve } N_V = \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \quad (2.10)$$

eşitliği ile verilir. Bu ifade $e\Phi_{Bn} = E_s - \Phi_m$ 'de yerine konular ve gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eV_D + E_F}{kT}\right) \right) \quad (2.11)$$

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

$$e\Phi_{Bn} = eV_D + E_F \quad (2.12)$$

ve,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.13)$$

ifadesi elektronlar için etkin Richardson sabiti olmak üzere, yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi için

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.14)$$

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

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (2.15)$$

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

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.16)$$

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

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.17)$$

şeklinindedir. Burada Eş. 2.17'de doyma akım yoğunluğu normalde uygulanan gerilimden bağımsız olması beklenirken, hayali - kuvvet etkisinden dolayı uygulanan gerilime bağlı olarak kısmen değişim göstermektedir. Schottky etkisi (Şekil 2.8) uygulanan gerilim ve deşikler ile elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşmeden dolayı engel yüksekliğinde $e(\Delta\Phi_{Bn})$ kadar bir alçalma olur. Bu engel alçalması ise,

$$e(\Delta\Phi_{Bn}) = \alpha_0 (V_D + V)^{1/4} \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır.

Dolayısıyla akım yoğunluğu ifadesinde $e\Phi_{Bn}$ 'nin yerine $(\Phi_{Bn} - \Delta\Phi_{Bn})$ yazılırsa;

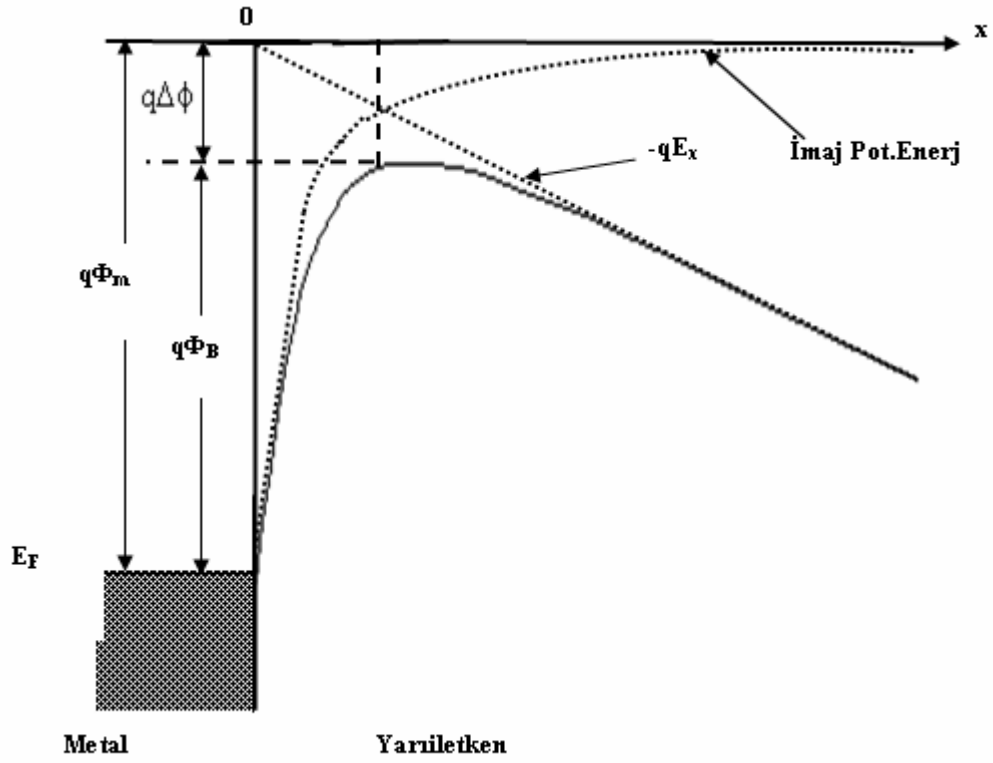
$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\alpha_0 (V_D + V)^{1/4}\right) \quad (2.19)$$

eşitliği elde edilir.

Görüldüğü gibi doyma akım yoğunluğu gerilime bağlıdır. Burada Φ_{Bn} sıfır beslemde ve Schottky etkisi olmadığı durumdaki engel yüksekliği ve α_0 sabiti ise;

$$\alpha_0 = \left\{ \frac{e^4 N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2} \right\}^{1/4} \quad (2.20)$$

olup buradaki ϵ_s ve ϵ_0 sırasıyla yarıiletkenin ve boşluğun dielektrik sabitleridir.



Şekil 2.8. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden kaynaklanan potansiyel engel alçalması

2.8. Schottky Diyotlarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri

Termiyonik emisyon teorisine göre Schottky diyotlarda doğru beslem akım yoğunluğu-gerilim ilişkisi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.21)$$

şeklindedir.

Burada J_0 doyma akım yoğunluğudur ve V_D ise engel tabakası boyunca gerilim düşmesidir. Pratikte Schottky diyotların, doğru beslem akım-gerilim (I-V) karakteristikleri ideal durumdan bazı sapmalar gösterebilir. Yani saf termiyonik emisyon teorisinde boyutsuz olan idealite faktörü (n) birden büyük olabilir [5]. Bu nedenle Eş. 2.21' daki akım yoğunluğu ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.22)$$

şeklini alır. Burada $\exp(qV/nkT) \gg 1$ durumu göz önüne alınır ve diyoda uygulanan V geriliminin bir kısmı diyoda bağlı seri direnç üzerine düşeceğinden (IR_s) ilavesiyle,

$$J = A_n^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad (2.23)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Burada $V_D = V - IR_s$ dir, V ise uygulanan dış gerilimdir. Buna ilaveten son zamanlarda yüksek seri direnç ve idealite faktörüne sahip Schottky kontaklarında; seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği ($q\Phi_{Bn}$) gibi temel diyot parametrelerini tayin etmek amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir.

$$V = R_s AJ + n\Phi_{Bn} + \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{J}{A_n^* T^2}\right) \quad (2.24)$$

şeklinde yazılabileceği S.K. Cheung tarafından verildi [19]. Burada $\beta = q/kT$, A diyodun etkin alanıdır. Bu son denklemin J'ye göre diferansiyeli alınırsa;

$$\frac{dV}{dL_n J} = R_{AJ} + \left(\frac{n}{\beta} \right) \quad (2.25)$$

elde edilir. $dV/d(\ln J)$ 'nin J 'ye göre grafiği bir doğrudur. Doğrunun eğiminden R_s seri direnci, doğrunun $dV/d(\ln J)$ eksenini kestiği noktadan ise idealite faktörü (n) bulunabilir. Eş. 2.24'teki ($R_s AJ + n\Phi_{Bn}$) ifadesine $H(J)$ denilirse,

$$H(J) = V - (n/\beta) \ln \left(\frac{J}{A_n^* T^2} \right) \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilir. Eş. 2.26 ve Eş. 2.24 ile birlikte düşünülürse

$$H(J) = R_s AJ + n\Phi_{Bn} \quad (2.27)$$

olur.

$H(J)$ 'nin J 'ye göre grafiği bir doğru olur. Bu doğrunun eğiminden R_s ve doğrunun $H(J)$ eksenini kestiği noktadan da $q\Phi_{Bn}$ engel yüksekliği bulunur. Metal- yarıiletken (MY) arasında bir yalıtkan tabaka varsa, MY yapı MYY yapıya dönüşür [46].

2.9. Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyod Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Metal-yarıiletken kontak yapısının doğru beslem $I - V$ karakteristikleri yardımı ile Schottky diyod parametrelerinin hesaplanması için Cheung (1986) tarafından farklı bir model sunuldu [19]. Termiyonik emisyon teorisinden bulunan akım yoğunluğu (J) ifadesi, diyodun A etkin alanıyla çarpılırsa, diyoddan geçen toplam akım,

$$I = A \cdot J = \left[A A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_b}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.28)$$

olarak elde edilir.

Bu ifadede $qV \gg kT$ ise, 1 ihmal edilebilir.

Pratikte, uygulanan voltajın tümü arınma bölgesine düşmediğinden, ideal durumdan sapmalar olacaktır. Bu ideal durumdan sapmaları ifade edebilmek için, birimsiz bir

sabit olan (n) idealite faktörünün hesaba katılması gerekir. Bu durumda akım denklemi,

$$I = AJ = \left[AA^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_b}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (2.29)$$

haline dönüşür.

Burada uygulanan voltaj (V)'nin IR_s kadarlık kısmı seri direnç üzerinde düşeceği göz önüne alınırsa ($V \rightarrow V - IR_s$), (2.28) ifadesi:

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

(2.30) şeklinde yazılabilir.

Bu son eşitliğin logaritması alınıp, V 'ye göre çözümü yapılırsa;

$$V = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) + n\phi_b + IR_s \quad (2.31)$$

elde edilir.

(2.31) eşitliğinin $\ln I$ 'ya göre diferansiyeli alınırsa;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (2.32)$$

elde edilir.

(2.32) eşitliğinde $dV/d\ln(I)$ 'nin I 'ya göre grafiğinin bir doğru vereceği bilindiğine göre, bu doğrunun eğimi R_s seri direncini verecektir. Bu doğrunun ordinat eksenini kestiği noktadan (n) idealite faktörü bulunabilir [47].

Potansiyel engelini (Φ_b) bulmak için;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) \quad (2.33)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanabilir.

(2.31) ve (2.33) eşitliklerinden;

$$H(I) = n\phi_b + IR_s \quad (2.34)$$

şeklinde yazılabilir.

(2.34) eşitliği gözönüne alınarak $H(I)$ - I grafiği çizilecek olursa yine bir doğru verecektir. Bu doğrunun eğimi, nötral bölge direnci ve kontak direncinin toplamını, yani seri direnci (R_s) verecektir. Bu doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan da engel yüksekliği ($q\Phi_b$) bulunur.

2.10. Optiksel karakteristiklerin belirlenmesi

İnce filme gönderilen UV ışınlarının görülebilir spektrumu UV-VIS spektrofotometreyle oda sıcaklığında hazırlanarak kaydedilir. Optik iletim ve yansımalar spektrumu yanında kararlı optiksel sabitler; sönüm katsayısı(k),soğurma katsayısı(α) ve kırılma indisi(n) analiz edilir. Optiksel bant aralığına ve geçişlerin tabiatına karar vermek için soğurma katsayısının analizi ayrıca gerçekleştirilir. Deneysel çalışmalar ile yansımalar(R) ve iletim(T) spektrum eğrileri ince filmde görülür ve takip eden ilişkilerle birlikte ifade edilen bu spektrum'dan soğurma katsayısının değeri ortaya çıkarılır. Bunla ilişkili olan bağıntı ise aşağıda verilmiştir [41].

$$T = \frac{(1 - R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2.35)$$

Bu bağıntımızda;

α = Soğurma katsayısı

d = İnce filmin kalınlığı

R = Yansımalar

T = İletim

Amorf malzemelerde banttan dolayı soğurma bant geçişlerinde optik bant aralığını belirleyen E_g (Geçiş enerjisi) ile ifade edilen ilişki aşağıdaki gibidir [48].

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g)^m \quad (2.36)$$

Bu bağıntıda m optik geçişin tipine karar veren bir sabittir.

m: ½ olduğunda doğru geçişe izin vermek için,

m: 2 olduğunda dolaylı geçişe izin vermek için.

Burada m sabitinin aldığı değerlere karşılık gelen E_g^d (Doğru geçiş enerjisi) ve E_g^i (dolaylı geçiş enerjisi) değerleri bulunur.

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (2.37)$$

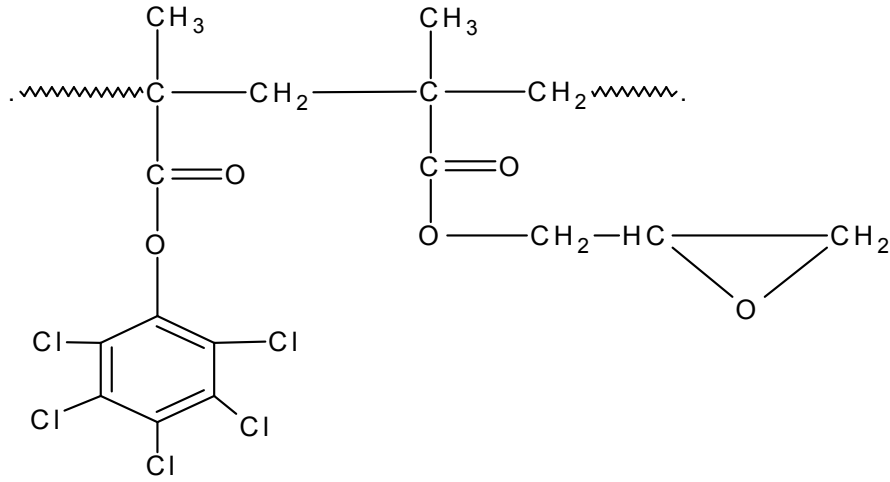
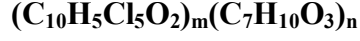
Denklem 2.37'de verilen bağıntı yardımıyla yansımaya (R) ve sönüm katsayısı (k) değerleri ile kırılma indisi hesaplanır.

Yapılan çalışmada, ince filmdeki direk ve indirek bant geçişlerine bağlı optiksel karakteristikler hesaplanmıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEM

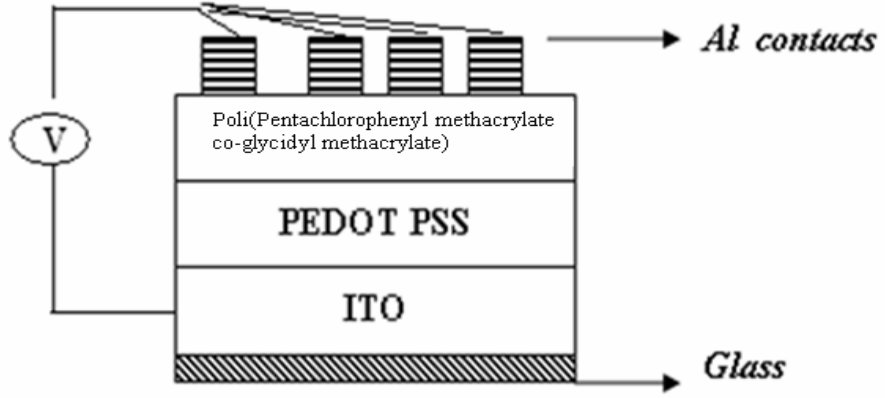
3.1. Numunenin adı, kimyasal bağ yapısı ve formülü, numunenin hazırlanması

Poli(Pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate)



Şekil 3.1. Polimerin kimyasal bağ yapısı

Poli(Pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) kloroform içinde çözüldü. Polimer diyotu hazırlamak için Semitec CPS10 kullanıldı ve kalınlık ölçümü Alpha-Step 2000 Tencor kullanılarak belirlendi. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyot (Şekil 3.2) aşağıda verilen sıralamayla hazırlandı. Önce ITO/Cam aseton ve isopropanol kullanılarak temizlendi. Sonra alttaş 5–10 dakika 100 °C ısıtıldı. ITO alttaşa polimer uygulanmadan önce PEDOT-PSS Spin Coatingle kaplandı. Spin hızı 2000 rpm ve 60 s’de 40 nm. PEDOT-PSS ITO alttaşa kaplandı. Ardından 3500 rpm Spin hızı ile 30 s’de 50 nm polimer kaplandı. Polimerin üstüne 100 nm kalınlığında Al Auto Edwards 500 kullanılarak buharlaştırıldı. Diyot kesit alanı 0,045 cm²’dir. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyotunun I-V ölçümleri Keitley 614 electrometer ile 300 K’de alındı (Şekil 3.3). UV ölçümleri ise Hach Lange UV DR 5000 cihazı ile alındı (Şekil 3.4).



Şekil 3.2. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodunun yapısı



Şekil 3.3. Keithley 614 electrometer cihazına ait resim



Şekil 3.4. Hach Lange UV DR 5000 cihazına ait resim

4. DENEYSEL ANALİZ

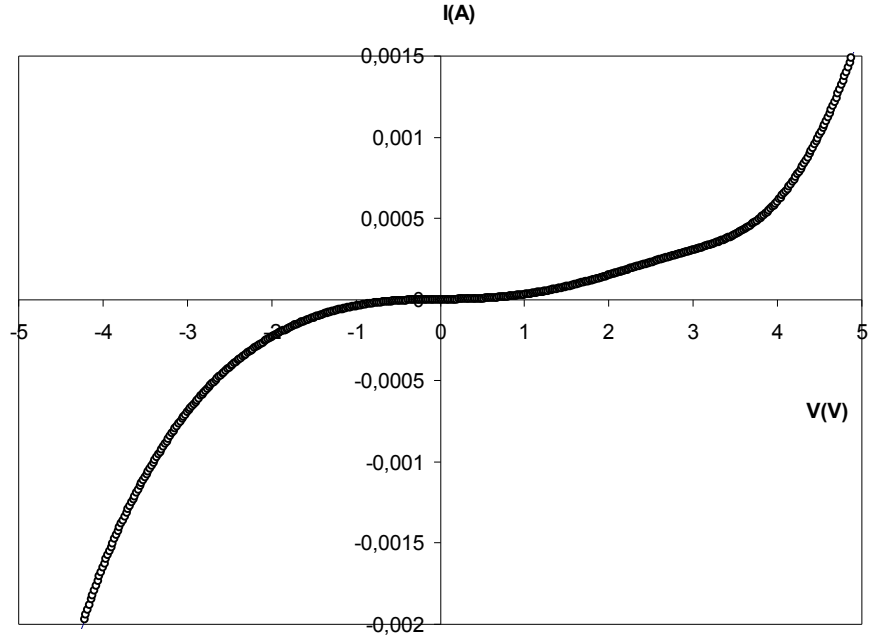
4.1. Hesaplamalar

4.1.1. Akım-Gerilim (I-V) Ölçümleri ile Diyod Parametrelerinin Belirlenmesi

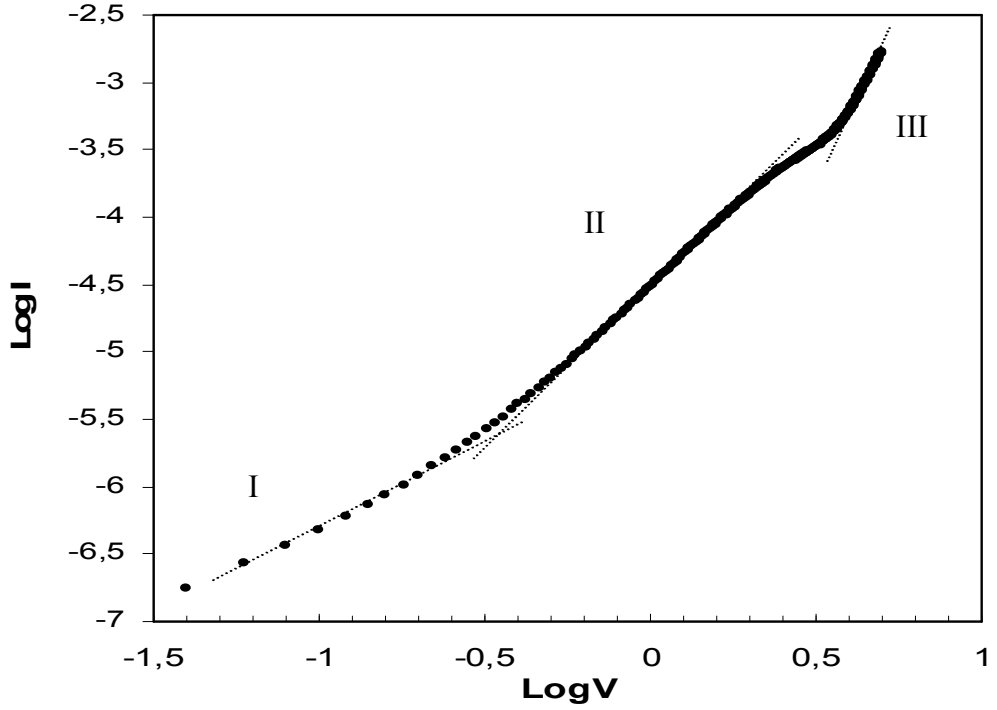
Hazırlanan ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodunun $I-V$ karakteristikleri için bilgisayar kontrolünde çalışan Keithley 614 electrometer cihazı kullanıldı. (-5,+5) Volt aralığında ölçülen akım-voltaj değerleriyle Şekil 4.1'deki I-V grafiği çizildi. Grafiğin doğru ve ters beslem bölgesindeki kısımların birbirine simetrik olduğu görülmektedir. Şekil 4.1'de özellikle düşük beslemde ohmik davranış görülmektedir.

ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al yapısında yüksek voltaj bölgelerinde doğrultma görülür. I-V eğrileri kullanılarak akım iletim mekanizmaları anlaşılır ve I-V eğrileri Şekil 4.2'de $\text{Log}(I)\text{-Log}(V)$ grafiğinde gösterilmiştir. Grafikteki çeşitli eğimlerde farklı potansiyel seviyelerinde iletim mekanizmaları da farklıdır. Bu durum Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Diyotun I-V karakteristikleri değerlendirildiğinde organik yarı iletkenin yük taşıma özelliklerinden etkilendiği görülmüştür. Organik yarı iletkenin yük taşıma mekanizmasını açıklayan model SCLC Lamberts teorisidir [49]. Bu teorinin geçerli olması için $\text{Log}(I)\text{-Log}(V)$ grafiği lineer olmalıdır. Bizim eğrimizde ise farklı lineer bölgeler vardır. Bu yüzden SCLC Lamberts metodu tam olarak yapının akım iletim mekanizmasını açıklayamaz.

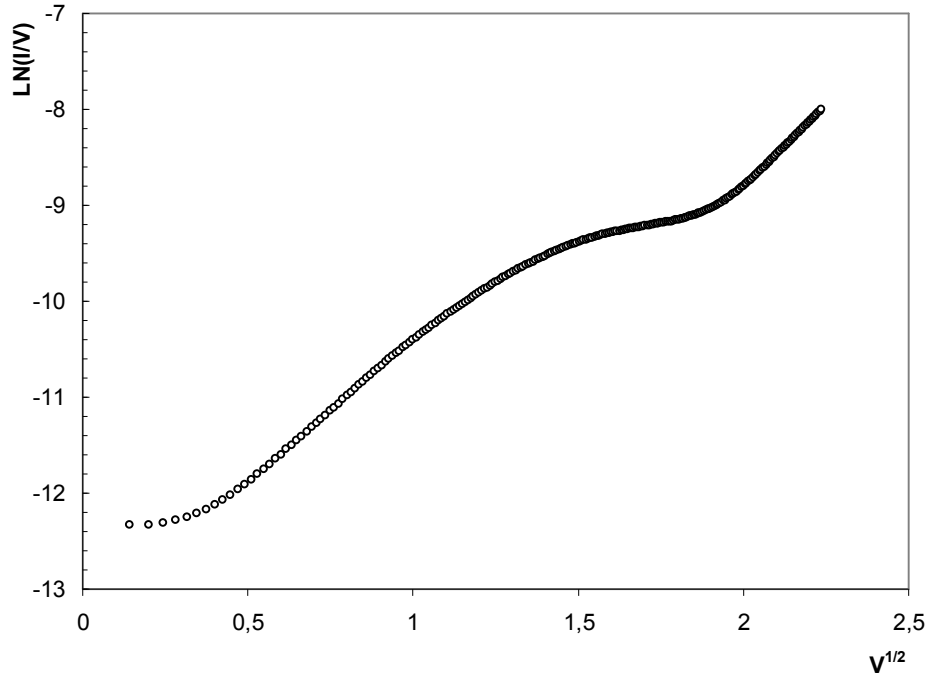
Doğrusal olmayan I-V karakteristiklerinin diğer bir olasılıkla sebebi Poole-Frenkel salınımıdır [50]. Bu durumda $\text{Ln}(I/V)$ değerlerinin $V^{1/2}$ 'ye karşı grafiği çizilirse doğrusal olması gerekir. Fakat Şekil 4.3'te $\text{Ln}(I/V)\text{-}V^{1/2}$ grafiği doğrusal değildir. Bu nedenle Termiyonik Emisyon Teorisi kullanılır [51]. Bu Schottky etkisi, metal/polymer ara yüzeyler arasında bariyer yüksekliği boyunca polimerdeki iletim bandı içine metal elektrottan termal hareketlilik ile elektron emisyonu içerir. Bu nedenle ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al heterojunction yapı için akım ve voltaj arasındaki ifade Termiyonik emisyonla dayalı olarak denklem 4.1'de verilmiştir [12].



Şekil 4.1. Oda sıcaklığındaki ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodun I-V grafiği



Şekil 4.2. Tam logaritmik $\text{Log}(I)$ - $\text{Log}(V)$ grafiği

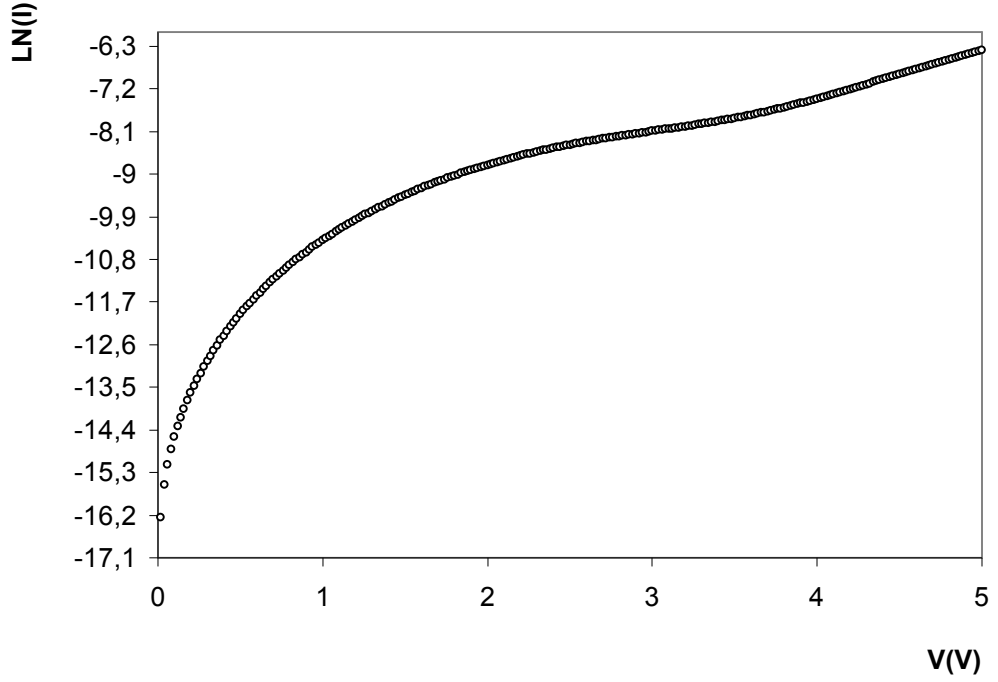


Şekil 4.3. Doğrusal olmayan $\text{Ln}(I/V)-V^{1/2}$ grafiği

Pozitif beslem bölgesindeki (0-5 V) değerlere karşılık gelen akımın Ln değerleri bulunarak Şekil 4.4'teki $\text{Ln}(I)-V$ grafiği çizilmiştir. Bu grafikte düşük beslem bölgesinde eğim alınmış olup (Eğim=6,366) bu eğim'den kesme noktası bulunmuştur. Kesme noktası değeri -14,865'dir. Kesme noktasının eksponansiyeli alınarak I_0 ters doyma akımı $3,497 \times 10^{-7}$ A olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda q ($1,6 \times 10^{-19}$ eV), sıcaklık (300 K), k Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$), malzeme için etkin Richardson sabiti A^* ($120 \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$), malzemenin kesit alanı A ($0,045 \text{ cm}^2$) alınarak denklem 4.3'den idealite faktörü (n) I-V grafiğinin eğiminden faydalanılarak 6,070 olarak bulunmuştur.

Oda sıcaklığında ve karanlık ortam altındaki malzemenin I-V karakteristiklerinin grafiği yarı logaritmik olup Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Oda sıcaklığında ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodun Ln(I)-V grafiği

Yarı logaritmik I-V grafiğinde yüksek voltajlarda eğrilik organik malzeme ile kontak tellerinin seri direnç etkisinden dolayıdır. Karanlık ortamda analiz edilen I-V verileri termiyonik emisyon teorisinde kullanılarak akım ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir [52].

$$I = I_0 \left[\text{Exp} \frac{q(V_D)}{nkT} - 1 \right] \quad (4.1)$$

elde edilir.

Bununla birlikte ters doyma akımı [53];

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

denklemine göre bulunur.

Burada V uygulanan voltaj, q elektron yükü, k boltzman sabiti, T mutlak sıcaklık, A* etkin Richardson sabiti,) Φ_b kontak bariyer yüksekliği ve n idealite faktörüdür.

Burada 4.1 denkleminde potansiyelin yüksek değerleri alınarak; n idealite faktörü çekildiğinde,

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

denklemini elde edilir. Burada $dV/d(\ln I)$ yarılogaritmik I-V grafiğinin eğimidir.

İdeal diyotlarda idealite faktörü 1'dir. ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al yapısı için idealite faktörü (n) 6,070 elde edildi. Bu değer oldukça yüksektir ve bu yükseklik ara yüzey durumlarının etkisinden ve seri dirençten kaynaklanmaktadır [54,55,56].

Sonuç olarak idealite faktörünün büyük çıkmasını sebebi aşağıdaki etkilere bağlı olabilir [56].

- 1- Yüksek olasılıkla deplasyon bölgesindeki elektron ve hollerin kombine olamamasındandır.
- 2- Tünel akımının oluşumundan kaynaklanır.

Yüzey tipi diyot olan malzemenin bariyer yükseklik değeri Φ_b denklem 4.2 ile tayin edilir ve bariyer yüksekliği 0,723 eV olarak bulunmuştur. Bu bariyer yüksekliği organik tabaka ile metal arasındaki ara yüzeyde var olan kontak potansiyel bariyerinden kaynaklanmaktadır.

Bu değerlerle engel yüksekliği (Φ_b) ve idealite faktörü (n) doğru beslem I-V eğrileri Termiyonik Emisyon Teorisi ile hesaplanmış olup alternatif metot olarak Cheung yöntemi ile de Φ_b , n ve R_s hesaplanabilir [57]. Cheung fonksiyonlarının ifadesi ise;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \frac{kT}{q} + IR_s \quad (4.4)$$

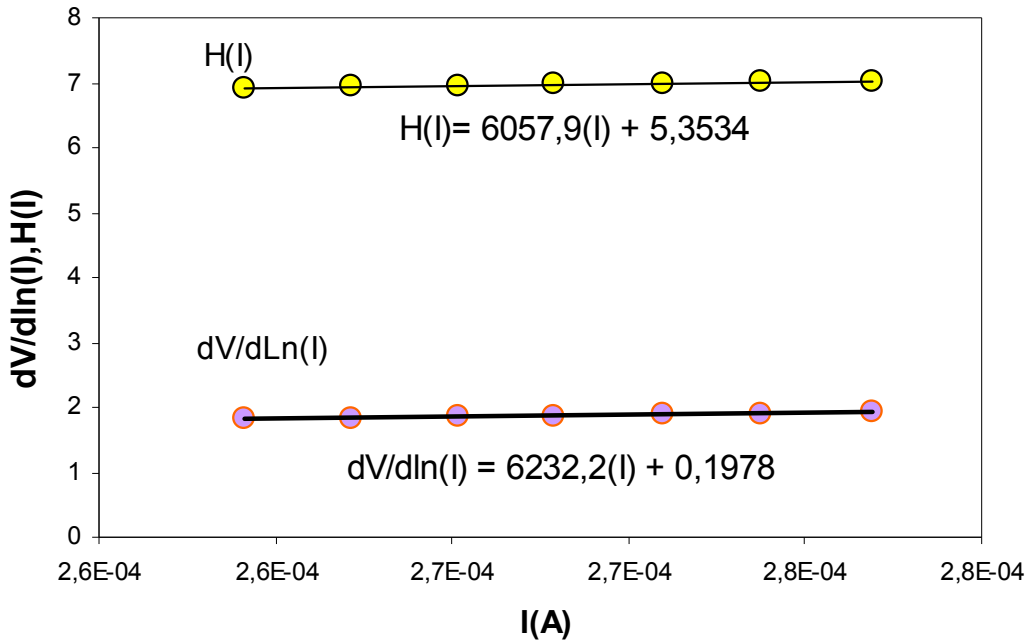
$$H(I) = V - n \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_0}{AA * T^2} \right) \quad (4.5)$$

Denklem 4.4 ve 4.5 düzenlenirse;

$$H(I) = IR_s + n\Phi_b \quad (4.6)$$

elde edilir.

Burada Φ_b bariyer yüksekliği olup doğru beslem I-V karakteristiklerinden elde edilir. Cheung metodunda verilen denklem 4.4 kullanılarak $dV/d\ln I$ 'nin I'ya bağlı grafiği şekil 4.5'te gösterilmiştir. $dV/d\ln(I)$ grafiğinde seri direnç ve n değerleri kullanılarak grafiğin eğimi ve y eksenini kestiği nokta hesaplanmıştır. Buradaki idealite faktörü değeri 7,644, bariyer yüksekliği 0,7 eV ve seri direnç etkisi 6232,2 ohm'dur. H-I grafiği denklem 4.6' ya göre elde edilmiştir. Grafik doğrusal olup Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu grafiğin eğimi kullanılarak seri direnç etkisi R_s hesaplanır. Bu değer 6057,9 ohm bulunur. Hesaplanan n değerleri termiyonik emisyon teorisi ve Cheung metoduna göre bulunmuştur. Cheung yöntemi ile idealite faktörü hesaplanırken seri direncin etkili olduğu yüksek voltaj bölgesi dikkate alınmıştır [52,57]. Bu yüzden Cheung fonksiyonları ile bulunan n değerlerinin daha büyük elde edilmesi normaldir.



Şekil 4.5. $dV/d\ln(I)$ ve $H(I)$ 'nin akıma bağlı grafiği

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere $H(I)$ ve $dV/d\ln(I)$ ifadelerindeki seri direnç değerleri (R_s) birbirine yakın çıkmıştır.

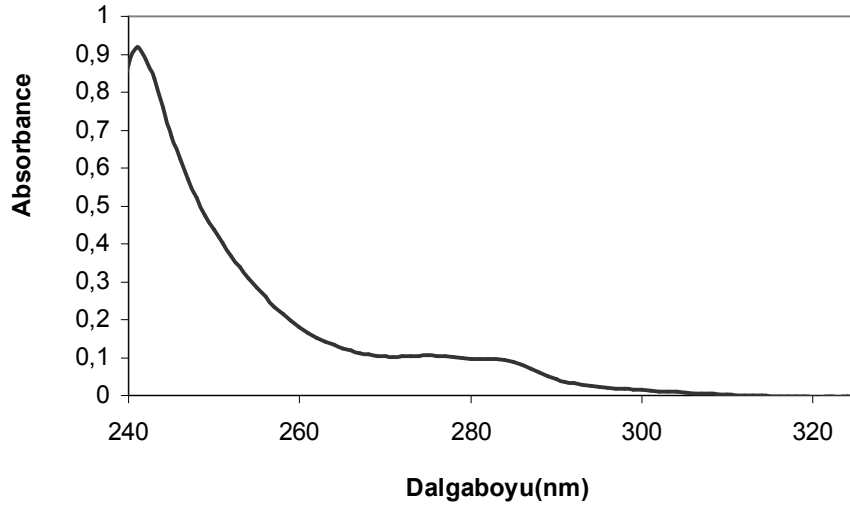
Değişen voltaj değerleri için elde edilen n değerleri ve Φ_b değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Akım ve Voltaja karşılık bazı idealite faktörü ve bariyer yüksekliği değerleri

| V(V) | I(A) | n | Φ_b (eV) |
|----------|----------|------|---------------|
| 2,60E-01 | 1,84E-06 | 6,04 | 0,9404 |
| 2,80E-01 | 2,10E-06 | 6,04 | 0,9571 |
| 3,00E-01 | 2,36E-06 | 6,07 | 0,9740 |
| 3,20E-01 | 2,66E-06 | 6,10 | 0,9910 |
| 3,40E-01 | 2,98E-06 | 6,13 | 1,0080 |
| 3,60E-01 | 3,31E-06 | 6,19 | 1,0253 |
| 3,80E-01 | 3,68E-06 | 6,24 | 1,0425 |
| 4,00E-01 | 4,06E-06 | 6,30 | 1,0600 |
| 4,20E-01 | 4,47E-06 | 6,37 | 1,0775 |
| 4,40E-01 | 4,90E-06 | 6,44 | 1,0952 |
| 4,60E-01 | 5,36E-06 | 6,51 | 1,1128 |
| 4,80E-01 | 5,86E-06 | 6,58 | 1,1305 |
| 5,00E-01 | 6,37E-06 | 6,66 | 1,1484 |
| 5,20E-01 | 6,91E-06 | 6,74 | 1,1663 |
| 5,40E-01 | 7,49E-06 | 6,81 | 1,1842 |
| 5,60E-01 | 8,11E-06 | 6,88 | 1,2021 |
| 5,80E-01 | 8,72E-06 | 6,97 | 1,2203 |
| 6,00E-01 | 9,39E-06 | 7,05 | 1,2383 |
| 6,20E-01 | 1,01E-05 | 7,12 | 1,2564 |
| 6,40E-01 | 1,09E-05 | 7,20 | 1,2746 |
| 6,60E-01 | 1,16E-05 | 7,28 | 1,2928 |
| 6,80E-01 | 1,24E-05 | 7,36 | 1,3111 |
| 7,00E-01 | 1,33E-05 | 7,44 | 1,3294 |

4.2. Optiksel Parametrelerin Belirlenmesi

Malzemenin UV spektrumundan elde edilen soğurma-dalga boyu grafiğinde 241 nm dalga boyunda 1 pik vermektedir. Bunun sebebi $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişinden kaynaklanmaktadır. $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişleri 200-700 nm arasındaki spektral bölgede absorpsiyon yaptığından UV spektroskopisinde en çok karşılaşılan geçiştir. Bu geçiş, π^* orbitallerini içerdiğinden doymamış fonksiyonel grup içeren organik bileşiklerde gözlenir. Malzemenin solüsyon içerisinde çözüldüğü aşamadaki soğurma spektrumunu Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Polimer malzemeye ait soğurma-dalgaboyu grafiği

Polimerin soğurma spektrumundan elde edilen E_g değeri 4,946 eV'dur.

$$(\alpha h \nu) = B(h \nu - E_g)^m \quad (4.7)$$

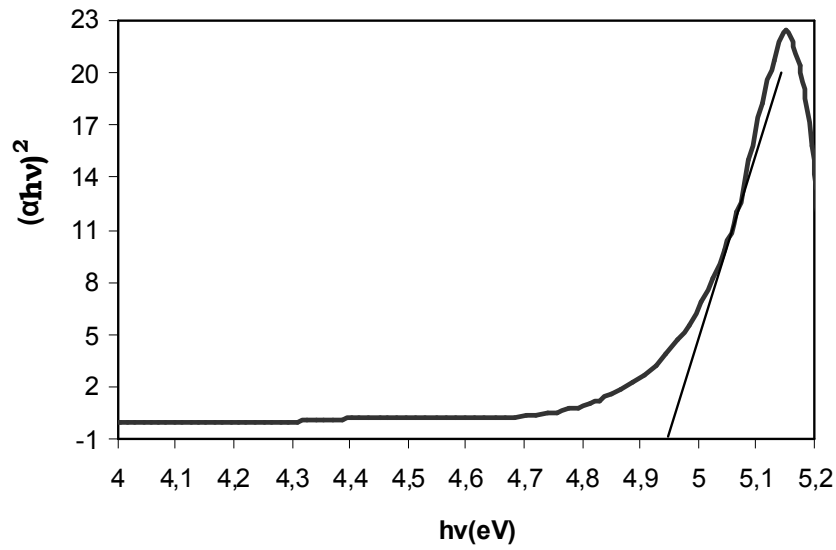
Bu bağıntıda m optik geçişin tipine karar veren bir sabittir.

m: ½ olduğunda doğru geçişe izin vermek için

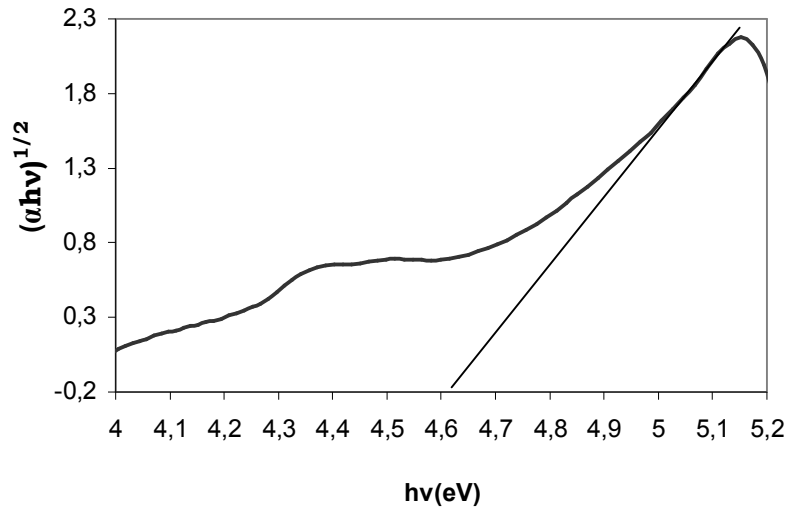
m: 2 olduğunda dolaylı geçişe izin vermek için

Polimerin E_g değeri denklem 4.7 ile hesaplanır [58]. Burada m sabitinin aldığı değerlere karşılık gelen (Doğru geçiş enerjisi) ve (dolaylı geçiş enerjisi) değerleri bulunur. Burada α soğurma katsayısı, $h \nu$ ışığın soğurduğu enerji, B orantı katsayısı

olup direk geçişler için $m=1/2$ alınmıştır. $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ değerleri alınarak çizilen eğrideki doğrusal noktalar alınarak birleştirilip $(\alpha h\nu)^2$ 'nin sıfır değeri için $h\nu$ eksenini kestiği nokta tespit edilip bant aralığı enerjisine(E_g) ulaşılmıştır. Polimere ait $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ grafiği ile $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ grafiği Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Polimer malzemenin hesaplanan E_g değeri Şekil 4.7'den 4,946 eV bulunmuştur. Poli(Pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) polimerinin yapısından kaynaklanan direk ve indirek geçişlerin her ikisi de mevcuttur [59].

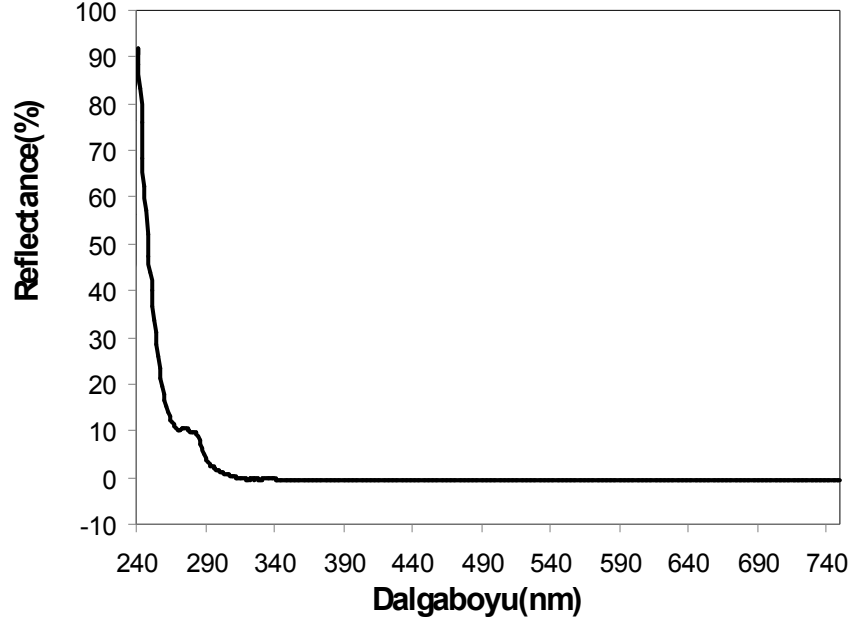


Şekil 4.7. Polimere ait $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ grafiği

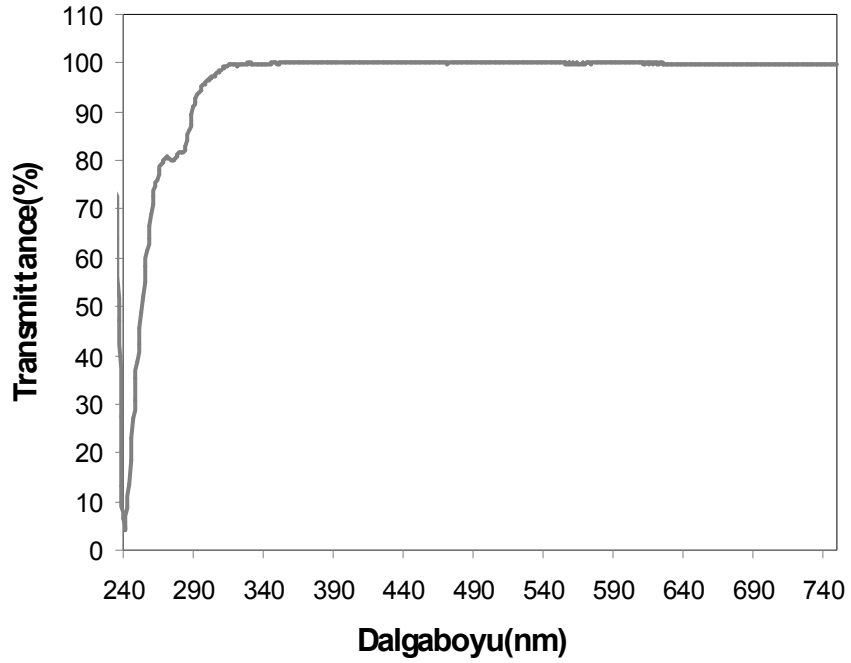


Şekil 4.8. Polimere ait $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ grafiği

İnce filme ait yansımaya ve iletimin spektrum eğrileri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Yansımının dalga boyuna bağlı grafiği.



Şekil 4.10. İletimin dalga boyuna bağlı grafiği

Soğurma katsayısı değerleri yansımaya ve iletim spektrumlarından tespit edilerek aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir [60].

$$T = \frac{(1 - R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (4.8)$$

Burada α soğurma katsayısı, d ince filmin kalınlığı ve R yansımaya olup iletim (T) arasındaki ilişki verilmektedir. Yansımanın kırılma indisi (n) ve sönüm katsayısı (k) arasındaki ilişki ise aşağıdaki bağıntı ile verilir [60].

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2} \quad (4.9)$$

Şekil 4.7'deki polimere ait $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşılık gelen $h\nu$ grafiği yardımıyla E_g değeri 4,946 eV bulunmuştur. E_g değerine karşılık gelen dalgaboyu değeri 251 nm. olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.9'a göre 251 nm. dalgaboyu değerine karşılık gelen Reflectance değeri 40,2 olarak bulunmuştur.

Denklem 4.9'a göre 251 nm. dalgaboyuna karşılık gelen 40,2 Reflectance değeri ve 1,23 kırılma indisi (n) değeri alınarak hesaplanan k sönüm katsayısı değeri 2,257i'dir. Burada k 'nın karmaşık sayı çıkması dielektrik katsayısının sanal parçasının aynı zamanda enerji kaybı fonksiyonu olarak da adlandırılabilir [61].

Amorf malzemeler için optik enerji aralığı banttan banta geçişler için soğurma katsayısı kullanılarak hesaplanıp bu ifade denklem 4.7'de verilmiştir [58].

Sonuç olarak ince film için optik sabitler hesaplanmış olup optik soğurma spektrumu, soğurma spektrum mekanizmasının doğru ve dolaylı geçişlerinden kaynaklanır.

SONUÇ ve TARTIŞMA

Schottky diyotların I-V eğrileri düşük beslem, orta beslem ve yüksek beslem olmak üzere üç farklı bölgeye sahiptirler [14,62]. Orta beslem bölgesi yaklaşık lineer bir bölgedir ve bu bölgede temel parametrelerin belirlenmesi daha kolaydır. Bu yüzden genelde diyotların temel parametreleri olan idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) ve doyum akımı (I_o) belirlenirken orta beslem bölgesi dikkate alınır. Ayrıca termiyonik emisyonun geçerli olduğu yer bu bölgedir.

Hazırlanan Schottky diyotlarda hesaplanan diğer bir fiziksel parametre eklemine elektriksel davranışını belirleyen Φ_B potansiyel engel yüksekliğidir. Oda sıcaklığında I-V ölçümlerinden hesaplanan Φ_B değerleri ~ 1 eV civarındadır. Bu değerler MY yapılara göre düşüktür.

Malzeme için doğru beslem I-V verilerinden Şekil 4.5'te görüldüğü gibi seri direnç değerleri Cheung metodu kullanılarak hesaplandı ve hesaplamaların literatürle uyumlu olduğu görüldü [19].

Bu çalışmada, hazırlanan ITO/PEDOT-PSS/Polymer/Al diyodunun temel diyot parametreleri (n , R_s ve Φ_B) hem bilinen geleneksel yöntemden (yarı logaritmik akım-voltaj ($\ln I-V$) eğrisinden) hem de Cheung fonksiyonlarından hesaplandı ve sonuçların birbirleriyle uyum içinde olduğu gözlemlendi [17,19]. Cheung fonksiyonlarının özellikle $\ln I-V$ eğrilerinin dar bir bölgede lineer veya lineer bölge seçiminin zor olduğu durumlar için temel diyot parametrelerinin hesaplanmasında uygun olduğu gözlemlendi.

Cheung'in ortaya attığı yöntemin kapsadığı avantajlar kısaca;

- (i) Yalnızca bir I-V ölçümü gereklidir
- (ii) I-V grafiklerinde lineerlikten anlaşılan sapma nedeniyle seri dirençli diyotun değerini kontrol etmek mümkündür
- (iii) Yöntem Norde fonksiyonunda minimumu tanımlama işlevini yok eder şeklinde sıralanabilir.

Sonuç olarak idealite faktörünün büyük çıkmasını sebebi aşağıdaki etkilere bağlı olabilir [56].

- 3- Yüksek olasılıkla deplasyon bölgesindeki elektron ve hollerin kombine olamamasındandır.
- 4- Tünel akımının oluşumundan kaynaklanır.

Amorf malzemeler için optik enerji aralığı banttan banda geçişler için soğurma katsayısı kullanılarak hesaplanıp, teorik hesaplamalar sonucu oluşturulan grafiklerin deneysel çalışma ile oluşturulan grafiklerle karşılaştırılması yapıldığında yaklaşık olarak birbirine benzer çıktığı görülür. Sonuç olarak ince film için optik sabitler hesaplandı. Film üzerinde iyice düşünüldüğünde bize gösteriyor ki optik soğurma spektrumu, soğurma spektrum mekanizmasının her ikisinin doğru ve dolaylı geçişlerinden kaynaklanır.

KAYNAKLAR

1. http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000
2. Mert O., Mutlu Ş. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Boğaziçi Üniversitesi (İSTANBUL),(http://www.bumems.ee.boun.edu.tr/publications/organik_elektronik.pdf)
3. Rhoderick, E. H. and Williams, R. H., “Surfaces, Interfaces, and Schottky Barriers”, Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, 1-47 (1988).
4. Sze, S.M., “Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.”, *Willey*, New York, 245-300 (1981).
5. Willson, A.H., “A note of the theory of rectification”, *Proc. R. Soc. London, Ser. A.*, 136: 487-498 (1932).
6. Camaioni, N., Casalbore-Miceli, G., Beggiato, G., Cristani, M., Summonte, C., Photoelectrical characterization of Schottky junctions between poly(4h-cyclopenta[2,1-b:3,4-b]dithiophene) and aluminium: effect of hexadecyl groups in 4 position, *Thin Films* 366, 211 (2000).
7. Shirakawa, H., MacDiarmid, A.G., Heeger, A.J., The Royal Swedish Academy of Sciences, (Nobel Prizes) (2000).
8. Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Türüt, A., On the barrier inhomogeneities of polyaniline/pSi/Al structure at low temperature, *Appl. Surf. Sci.*, 250, 43, 49 (2004).
9. Shen, Y., Wan, M., Heterojunction diodes of soluble conducting polypyrrole with porous silicon. *Synth. Met.*, 98, 147 (1998).
10. Campos, M., Bulhoes, L. O. S., Cleber A., Gas-sensitive characteristics of metal/semiconductor polymer Schottky device. *Lindino, Sensors and Actuators*, 87, 67–71 (2000).
11. Milnes, A.G., Feucht, D. L. Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junction, New York (1972).
12. Sze S.M., Physics of Semiconductor Devices, second ed., Wiley, New York, (1981).

13. Kar, S., Panchal., K. M., Varma, S. On the Mechanism of Carrier Transport in Metal-Thin-Oxide Semiconductor Diodes on Polycrystalline Silicon. IJET Transactions on Electron Devices, 29: 1839-1845 (1982).
14. Singh, A. Characterization of interface states at Ni/nCdF₂ Schottky barrier type diodes and the effect of CdF₂ surface preparation. Solid-State Electronics, 28 (3): 223–232 (1985).
15. Rhoderick, E. H. and Williams R. H., “Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed.”, **Oxford University Press**, Oxford, 257 (1988).
16. Cova, P., Singh, A. Temperature dependence of I-V and C-V characteristics of Ni/n-CdF₂ Schottky barrier type diodes. Solid-State Electronics, 33 (1):11–19 (1990).
17. Norde, H. A. Modified forward I-V plot for schottky diodes with high series resistance. J. Appl. Phys, 50: 5052–5054 (1979).
18. Bohlin, K. E. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. J. Appl. Phys, 60(3):1223–1224 (1986).
19. Cheung, S. K. and Cheung, N. W., “Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics”, *Appl. Phys. Lett.*, 49(2):85 (1986).
20. Tung, R.T., “Recent advances in Schottky barrier concepts” Mater. Sci. Eng. R., 35: 138 (2001).
21. Yang C.C., Jiang Q., Size effect on the bandgap of II–VI semiconductor nanocrystals, Materials Science and Engineering B 131: 191–194 (2006).
22. Saçak, M. Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara (2002).
23. Askeland, D.R., Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, (Çev. M. Erdoğan), Cilt 2, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 712 s. (1998).
24. Omar M.A., Elementary Solid State Physics: Principles and Applications, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 669 s. (1993).
25. Nadeem M.Y., Ahmed W., Optical Properties of ZnS Thin Films, Turk J. Phy. 24: 651- 659 (2000).
26. Cullity B.D., X ışınlarının Difraksiyonu, (Çev. A. Sümer), İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, Türkiye, 664 s. (1996).

27. Natsume Y., Sakata H., Zinc oxide films prepared by sol-gel spin coating, *Thin Solid Films*, 372: 30–36 (2000).
28. Bedeaux D., Vlieger, J., *Optical properties of Surfaces*, World Scientific Publishing, USA, 444 s. (2001).
29. Mott N.F., Davis E.A., *Electronic process in non-crystalline materials*, Clarendon Press, London, 438 s. (1971).
30. Subramanyam T.K., Naidu B.S, Uthanna S., Effect of substrate temperature on the physical properties of DC reactive magnetron sputtered ZnO films, *Optical Materials* 13: 239–247 (1998).
31. Smith W.F., *Principles of materials science and engineering*, McGraw-Hill, Inc., USA, 864 s. (1990).
32. Chiang, C.K., Fincher, C.R., Park, Y.W., Heeger, A.J., Shirakawa, H., Louis, E.J., Gau, S.C., Macdiarmid, A.G. Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene, *Phys. Rev. Lett.* 39, 1098 (1977).
33. Kalaycı, G., Polianilin/Aktif Karbon Kompozit Maddesinin Sentezi, Karakterizasyonu ve İletken Film Yapımı, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, (2008).
34. Arca, M., Arca, E., Güven, O., Yıldız, A., “Polipirölün Elektrokimyasal Davranışına ve İletkenliğine Gamma Işınlarnının Etkisi.”, III.Kimya ve Kimya Müh.Simp. Ankara, (1986).
35. Bilgin V., ZnO filmlerinin elektrik, optik, yapısal ve yüzeysel özellikleri üzerine kalay katkısının etkisi, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 165 s. (2003).
36. Eckertova, L., *Physics of Thin Films*, Plenum Press, New York and London, 340 s. (1986).
37. Hass G., Thun R.E., *Physics of Thin Films Advances in Research and Development*, Academic Press, USA 5: 341 s. (1969).
38. Pejova B., Grozdanov I., Structural and optical properties of chemically deposited thin films of quantum-sized bismuth (III) sulfide, *Materials Chemistry and Physics* 99:39–49 (2006).

39. Balkenende A.R., Bogaerts A. A. M. B., Scholtz J.J., Tijburg R.R.M., Willems H.X. (1996).
40. Evcin A. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları (2006). www.kimmuh.com/evcin/coating/coating8.pdf
41. Floch H. G., et. al, Convac, Co., Spie 1758 "Sol-Gel Optics II" 43- 47 (1992).
42. Brillson, L.J., "The Surface and Properties of Metal-Semiconductor Interfaces", *Surf. Sci. Reports.*, 2: 123-326 (1982).
43. Rhodercik, E.H., Williams, R.H., "Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed.", *Clarendon Press*. Oxford, 1-3 (1988).
44. Sharma, B.L., "Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their applications", *Plenum Press*, New York and London, 49 (1984).
45. Ray, W. P., Mabrook M. F. and Nabok, A. V., "Transport mechanisms in porous silicon " , *J. Appl. Phys.*, 84: 3232-3235 (1998).
46. Nicollian E. H. and Brews J.R., "Mos (Metal-Oxide-Semiconductor) Physics and Technology", *John Willey and Sons*, New York, 288 (1982).
47. Cheung, S. K. and Cheung, N. W., Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.* 49, 85–87. (1986).
48. Didomenico M., S.H. Wemple, *J. Appl. Phys.* 40 720 (1969).
49. Lampert, M. A., *Current Injection in Solids* (New York: Academic) (1970).
50. Monch W., *Rep. Progr. Phys.* 53 221(1990).
51. Lamb D.R., *Electrical Conduction Mechanism in Thin Insulating Films*, Methuen, London (1967).
52. Loutfy R C, Sharp J H, Hsiao C K and Ho R J. *Appl. Phys.* 52 5218 (1981).
53. Bar-Lev A. *Semiconductors and Electronic devices* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall International) (1984).
54. Karadeniz S, Tugluoglu N, Serin T and Serin N *Appl. Surf. Sci.* 246 30 (2005).
55. Lonergan M. *Annu. Rev. Phys. Chem.* 55 257 (2004).
56. Saxena V., R. Prakash, *Polym. Bull.* 45 267 (2000).
57. Cheung S K and Cheung N W *Appl. Phys. Lett.* 49 85 (1986).
58. J.Tauc, *Amorphous and Liquid Semiconductors*. London, U.K.: Plenum, (1974).

59. Mott N.F., Gurney R.W., *Electronic Processes in Ionic Crystals*, Oxford University, London, (1940).
60. Moss T.S., *Semiconductor Optoelectronics*, Butterworths, London (1973).
61. Wakkad M.M., EKh Shokr, D.H. Mohammed, *J. Non-Cryst. Solids* 265 157 (2000).
62. Bardeen, J., Brattain, W. H., "Nature of the forward current in germanium point contacts", *Phys. Rev.*, 74: 231-232 (1948).

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Yozgat ili Merkez ilçesi Kırım köyünde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Yozgat'ta tamamladı. Lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nde tamamladı. 2008 yılında Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Yozgat Endüstri Meslek Lisesinde Fizik Öğretmenliği yapmaktadır.

İletişim Bilgileri:

Sivas cad. Birlik apt.

A Blok 1/1 Merkez/YOZGAT

E-Posta: scansever.78@hotmail.com

Tel: 05057648178