

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

**Au / 9 - [(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil] -antrasen  
(NAMA)/n-Si/In DİYOTLARIN IŞIK ALTINDA  
KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet APAYDIN**

**Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serkan EYMUR**

**Temmuz 2019**

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

**Au / 9 - [(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil] -antrasen  
(NAMA)/n-Si/In DİYOTLARIN IŞIK ALTINDA  
KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet APAYDIN**

**Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği**

**Bu tez 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr.  
Nihat TUĞLUOĞLU  
.....  
Jüri Başkanı**

**Doç.Dr.  
Serkan EYMUR  
.....  
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi  
Derya BAL ALTUNTAŞ  
.....  
Üye**

**Doç. Dr.  
Bahadır KOZ  
Enstitü Müdürü**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet APAYDIN

04/07/2019

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında, bilgi birikimleri ve değerli görüşleriyle katkı sağlayan değerli hocam Doç.Dr Serkan EYMUR ve Prof.Dr. Nihat TUĞLUOĞLU' a teşekkür ederim.

Ayrıca birlikte yaptığımız çalışmalarda yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen değerli arkadaşım Ali Osman TEZCAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında maddi, manevi yardımlarını ve de sabrını esirgemeyen sevgili eşim Elif APAYDIN'a, canım çocuklarıma ve bugünlere ulaşmamı sağlayan sevgili ve değerli annem, babam ve ablam Dr. Öğr. Üyesi Zuhale YOLCU' ya teşekkürü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                             |      |
|-------------------------------------------------------------|------|
| İÇİNDEKİLER .....                                           | II   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                       | IV   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                      | VI   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                      | VIII |
| ÖZET.....                                                   | IX   |
| SUMMARY .....                                               | X    |
| <br>                                                        |      |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ.....                                         | 1    |
| <br>                                                        |      |
| BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ.....                               | 3    |
| 2.1. İletkenler .....                                       | 3    |
| 2.2. Yarıiletken.....                                       | 4    |
| 2.3. Yalıtkanlar.....                                       | 4    |
| 2.4. Diyot Tanımı, Çalışma Prensibi ve Diyot Çeşitleri..... | 5    |
| 2.5. Fotodiyot ve Kullanım Alanları .....                   | 6    |
| 2.6. Schottky (Bariyer) Diyotlar .....                      | 7    |
| 2.7. Metal-Yarıiletken Kontaklar .....                      | 7    |
| 2.7.1. Omik Kontak.....                                     | 7    |
| 2.7.2. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar .....  | 8    |
| 2.7.4. Metal –n tipi Yarıiletken Omik Kontaklar .....       | 11   |
| 2.8. Termiyonik Emisyon Teorisi .....                       | 12   |
| 2.9. Diyot Parametre Hesabı .....                           | 14   |
| 2.10. Seri Direnç .....                                     | 15   |
| 2.11. Doğrultma Oranı .....                                 | 16   |
| 2.12. Arayüzey Durum Yoğunluğu.....                         | 16   |

|                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                              | 18     |
| 3.2. Alt Tabaka Kristalinin Temizlenmesi .....                                | 18     |
| 3.3. NAMA Organik Malzemesinin Hazırlanması ve Sentezi .....                  | 19     |
| 3.4. Metal/Yarıiletken Diyot Yapısının Hazırlanması .....                     | 21     |
| 3.5. Akım- Gerilim ve Kapasite-Gerilim Ölçüm Sistemi .....                    | 22     |
| <br>BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....                                         | <br>23 |
| 4.1. Au/NAMA /n-Si/In Schottky Diyotunun Akım Gerilim Karakteristikleri ..... | 23     |
| 4.2. Cheung Metodu Yardımı ile Seri Direnç Hesaplanması .....                 | 26     |
| 4.3. Organik Arayüzey Tabakası Kalınlığının Hesaplanması .....                | 28     |
| 4.4. Arayüzey Durum Yoğunluğunun Hesaplanması .....                           | 29     |
| <br>BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....                                          | <br>31 |
| <br>KAYNAKLAR .....                                                           | <br>33 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                | 36     |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                 |                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| $E_c$           | : İletim bandı minimum enerji seviyesi        |
| $E_v$           | : Valans bandı maksimum enerji seviyesi       |
| $E_F$           | : Fermi enerji seviyesi                       |
| $p$             | : Boşluk konsantrasyonu                       |
| $n$             | : Elektron konsantrasyonu                     |
| $V$             | : Voltaj                                      |
| $I$             | : Akım                                        |
| $J$             | : Akım yoğunluğu                              |
| $I_0$           | : Ters doyma akımı                            |
| $A$             | : Alan                                        |
| $A^*$           | : Richardson sabiti                           |
| $T$             | : Mutlak sıcaklık                             |
| $n$             | : İdealite faktörü                            |
| $\Phi_b$        | : Engel yüksekliği                            |
| $R$             | : Direnç                                      |
| $R_s$           | : Seri direnç                                 |
| $\varepsilon_i$ | : Arayüzey katmanı geçirgenliği               |
| $\varepsilon_s$ | : Yarıiletken geçirgenliği                    |
| $P$             | : Güç                                         |
| $V_{oc}$        | : Açık devre voltajı                          |
| $I_{sc}$        | : Kısa devre akımı                            |
| $FF$            | : Doldurma faktörü                            |
| $I_m$           | : Maksimum akım                               |
| $V_m$           | : Maksimum voltaj                             |
| $P_m$           | : Maksimum güç                                |
| NAMA            | : 9-[(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil] |

MS : Metal/Yarıiletken  
MOS : Metal/Organik/Yarıiletken  
MIS : Metal/Yalıtkan/Yarıiletken  
OLED : Organik ışık yayan diyot  
OFET : Organik Alan etkili transistör





## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. İletkenlere ait enerji band diyagramı [14].....                                                                                    | 3  |
| Şekil 2.2. Yarıiletkenlere ait enerji band diyagramı Ev valans bandı, Ec iletkenlik bandı, Eg ise yasak enerji band aralığı [14] .....        | 4  |
| Şekil 2.3. Yalıtkanlara ait enerji band diyagramı [14] .....                                                                                  | 5  |
| Şekil 2.4. Fotodiyotun şematik gösterimi .....                                                                                                | 6  |
| Şekil 2.5. Schottky diyotun şematik gösterimi .....                                                                                           | 7  |
| Şekil 2.6. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın a) kontakta önce b) kontakta sonra enerji band diyagramları .....                     | 8  |
| Şekil 2.7. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın a)termal dengede b)düz beslemde ve c) ters beslemde enerji band diyagramları .....    | 10 |
| Şekil 2.8. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontağın a) Kontakta önceki enerji-band diyagramı b) Kontakta sonraki enerji band diyagramları ..... | 11 |
| Şekil 2.11. Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisinin grafiksel gösterimi .....                            | 12 |
| Şekil 2.12. Metal/yarıiletken kontaklar için seri direncin etkili olduğu bölge.....                                                           | 16 |
| Şekil 3.1. NAMA organik malzemesinin açık molekül yapısı .....                                                                                | 19 |
| Şekil 3.2. NAMA organik malzemesine ait <sup>13</sup> C-NMR spektrumu [33].....                                                               | 20 |
| Şekil 3.3. NAMA organik malzemesine ait <sup>1</sup> H-NMR spektrumu [33].....                                                                | 20 |
| Şekil 3.4. Au/NAMA /n-Si/In yapısının gösterimi .....                                                                                         | 22 |
| Şekil 4.1. Au/NAMA/n-Si/InSchottky diyotunun yarı logaritmik akım-voltaj grafiği .....                                                        | 23 |
| Şekil 4.2. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun n ve $\phi_b$ değerlerinin ışık şiddeti ile değişimleri .....                                   | 24 |
| Şekil 4.3. Au/NAMA/n-Si/InSchottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki $dV/d(\ln I)$ -I grafiği.....                      | 26 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.4. Au/NAMA/n-Si/InSchottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki $H(I)$ - $I$ grafiği .....                   | 27 |
| Şekil 4.5. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun 1 MHz'de Kapasite-Voltaj grafiği .....                                                    | 28 |
| Şekil 4.6. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki $N_{ss}$ -( $E_c$ - $E_{ss}$ ) grafiği..... | 29 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun hesaplanan  $n$ ,  $I_0$ ,  $\Phi_b$  değerleri.... 24

Tablo 4.2. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun hesaplanan  $R_s$  değerleri ..... 27

# **Au / 9 - [(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil]-antrasen (NAMA)/n-Si/In DİYOTLARIN IŞIK ALTINDA KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Çalışmamızda; n tipi Si altlık üzerine 9-[(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil] - antrasen (NAMA) organik bileşiği spin kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Bir Schottky diyot örneği olan Au/NAMA/n-Si/In üretilmiş ve bu diyotun elektriksel karakterizasyonu amacı ile oda sıcaklığında, karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında I-V ölçümleri alınmıştır. Karanlık ve 100 mW/cm<sup>2</sup> için idealite faktörü değerleri sırasıyla 3,54 ve 1,39 olarak hesaplanmıştır. Engel yüksekliği değerleri ise karanlık ve 100 mW/cm<sup>2</sup> için sırasıyla 0,756 eV ve 0,903 eV olarak hesaplanmıştır. Aydınlatma şiddetinin artışı ile idealite faktörü değerinin azaldığı, engel yüksekliği değerinin ise arttığı izlenmiştir. Seri direnç (Rs) değerleri Cheung&Cheung metodu uygulanarak belirlenmiştir. Seri direnç değerleri karanlık ve 100 mW/cm<sup>2</sup> için sırasıyla 10944  $\Omega$  ve 8281 $\Omega$  olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** NAMA, Schottky Diyot, İdealite Faktörü, Aydınlatma Şiddeti.

# **THE INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL PARAMETERS UNDER THE DIFFERENT ILLUMINATIONS INTENSITY OF Au / 9 - [(5-nitropyridin-2-aminoethyl) iminomethyl]-anthracene (NAMA)/n-Si/In SCHOTTKY DIODE**

## **SUMMARY**

In our study; 9 - [(5-nitropyridin-2-aminoethyl) iminomethyl] -anthracene (NAMA) organic compound was coated on the n-type Si substrate by the spin coating method. A Schottky diode sample, Au / NAMA / n-Si / In, was produced and I-V measurements were taken at room temperature under dark and different illumination intensities for the purpose of electrical characterization of this diode. The ideality factor values for dark and 100 mW / cm<sup>2</sup> were calculated as 3.54 and 1.39, respectively. Barrier height values were calculated as 0,756 eV and 0,903 eV respectively for dark and 100 mW / cm<sup>2</sup>. It was observed that the value of ideality factor decreased, and the barrier height of obstacle increased with the increase of illumination intensity. Series resistance (Rs) values were determined by applying Cheung & Cheung method. Series resistance values were found to be 10944 and 8281, respectively, for dark and 100 mW / cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** NAMA, Schottky Diode, Ideallity Factor, Illumination intensity,

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektronik endüstrisinde doğrultucu kontak olarak metal-yarıiletken (MS) kontaklar veya Schottky diyotlar (SD) kullanılmaktadır. Schottky tipi kontakların doğrultma davranışını belirlemek için yapılan çalışmalar ilk olarak Schottky ve arkadaşları tarafından gerçekleştirildi [1]. Schottky ve Mott yapmış oldukları araştırmalarında metal ile yarıiletken arasındaki engel oluşma mekanizmalarını belirlediler ve oluşan engelin şekli ve engel yüksekliğini hesaplama modelleri önermişlerdir [2].

Yarıiletken transistörler gibi çok sayıda yarıiletken elektronik aygıtların esasını oluşturmaktadır. Yarıiletken ile metal arasındaki arayüzey organik (polimer) veya yalıtkan tabaka MS diyodu metal-polimer-yarıiletken (MOS) veya metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapısına çevirir. MOS veya MIS tipi Schottky diyotlar elektronik ve optoelektronikte yarıiletken yüzeylerin çalışılmasında en çok kullanılan aygıtlardır. Birçok araştırmacı tarafından MS, MOS ve MIS yapıların elektriksel özellikleri üzerine geniş çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür [3-7]. MIS yapılarda sızıntı akımını azaltabilmek için  $\text{SiO}_2$  yalıtkan tabakası yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen bu tabaka yarıiletken yüzeyini tamamı ile pasivize edememiştir. Bir yarıiletken yüzeyi üzerinde inorganik ince filmleri biriktirebilmek için moleküler demet epitaksi, kimyasal buhar biriktirme ve radyo frekans (RF) püskürtme vb. Çok sayıda yöntem olmasına rağmen bu yöntemler, ileri düzeyde gelişmiş laboratuvar koşulları gerektirmesi yanısıra maliyetleri de çok yüksektir. Geleneksel yollarla biriktirilmiş  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ve  $\text{SiO}_2$  gibi yalıtkan tabakaların yerine günümüzde ucuz ve kolay yollarla üretilen, organik ince filmler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, inorganik materyallere göre daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirilmesi, sızıntı akımını azaltması, yüksek elektriksel iletkenlik sağlanması, sıcaklığa karşı kararlı ve dayanıklı olması organik ince filmleri metal-yarıiletken kontak üretiminde tercih edilen materyaller haline getirmiştir [8].

Organik maddeler üretim işlemlerinin kolay olması, çeşitli altlıklar üzerine büyütülebilmeleri, maliyetlerinin düşük olması, moleküler yapılarında yapılacak küçük değişikliklerle oldukça farklı fiziksel özelliklere sahip malzemelerin elde edilebilmesi gibi sebeplerden dolayı elektronik ve optoelektronik en ilgi çekici malzeme gruplarından biridir [9-10]. Günümüzde, organik malzeme kullanımı, organik ışık yayan diyot (OLED), piller, bilgisayar kartları, lazer yazıcılar, fotokopi makinesi, güneş pili cihazları, dyensensitize güneş pilleri, vb. gibi yeni uygulamalar için geniş bir pazara sahiptir. [11-13].

Hibrid (organik yarıiletken/inorganik yarıiletken) organik Schottky diyot, diyot üretiminde kullanılan inorganik yarı iletken malzemeye ince bir organik yarıiletken malzeme tabakası büyütülerek hazırlanabilir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, metal ile inorganik yarıiletken arasında biriktirilen organik malzeme diyodun elektronik karakterizasyonuna etki ettiği ve idealite faktörü ve Schottky engel yüksekliği gibi diyot parametreleri değiştirdiği tespit edilmiştir [14-15]. Antrasen türü bileşikler, görünür bölgedeki emisyonları ve yüksek kuantum verimlerinden dolayı optoelektronik uygulamalarda en umut verici organik malzemelerden bir tanesi olarak görülmektedir. Bu bileşikler, akıllı devre anahtarları, ışık toplama sistemleri, enerji transfer kasetleri, güneş pilleri, lazer boyaları ve OLED uygulamalarındaki geniş uygulama yelpazesinden dolayı son yıllarda büyük ilgi görmektedir.

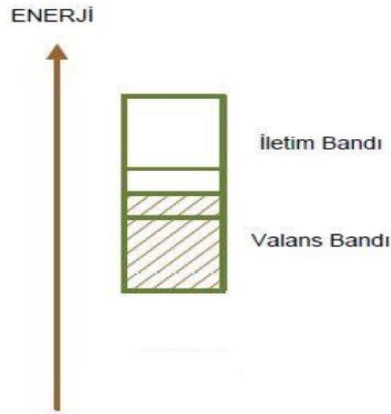
Bu tez çalışmasında, n-tipi Si yarıiletken alt tabaka üzerinde NAMA malzemesi arayüzey tabaka olarak döndürme ile kaplama (spin-coating) tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Isısal buharlaştırma tekniği kullanılarak da omik ve doğrultucu kontaklar oluşturulmuştur. Sonuçta, Au/NAMA/n-Si/In (MOS) Schottky diyonu üretilmiştir. Üretilen diyotların karanlıkta ve farklı aydınlatma şiddetleri altında akım-gerim (I-V) karakteristikleri ölçülmüş, aydınlatmaya bağlı I-V ölçümlerinden, termoiyonik emisyon teorisi temeline dayanarak Schottky diyot parametreleri belirlenmiştir. Yarıiletken ile metal arasında biriktirilen NAMA organik tabakanın, arayüzey durumların ve seri direncin üretilen diyodun elektriksel parametreler üzerine etkisi belirlenmiştir.

## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Malzemeler, iletkenlik durumlarına göre; iletkenler, yarıiletkenler ve yalıtkanlar olmak üzere üç gruptur. Malzemelerin bu şekilde gruplandırma; enerji- band diyagramlarındaki iletim ve valans bantlarının durumlarına göre belirlenir.

### 2.1. İletkenler

İletkenlerde akım; elektronik ve iyonik geçişli olmak üzere iki şekilde sağlanmaktadır; İletimi sağlayan; elektronik geçişli iletkenler için elektronlar iken iyonik geçişli malzemelerde iyonlar tarafından sağlanmaktadır. Atomlar ve maddelerin son yörüngelerinde bulunan elektron sayılarına göre iletkenliklerinden bahsedilir. Malzemenin son yörüngesinde bir elektron varsa iyi iletken, iki veya üç elektron var ise, malzemeler kötü iletken olarak adlandırılır. Bir iletken malzemeye ait enerji band diyagramı Şekil 2.1.'de görülmektedir.

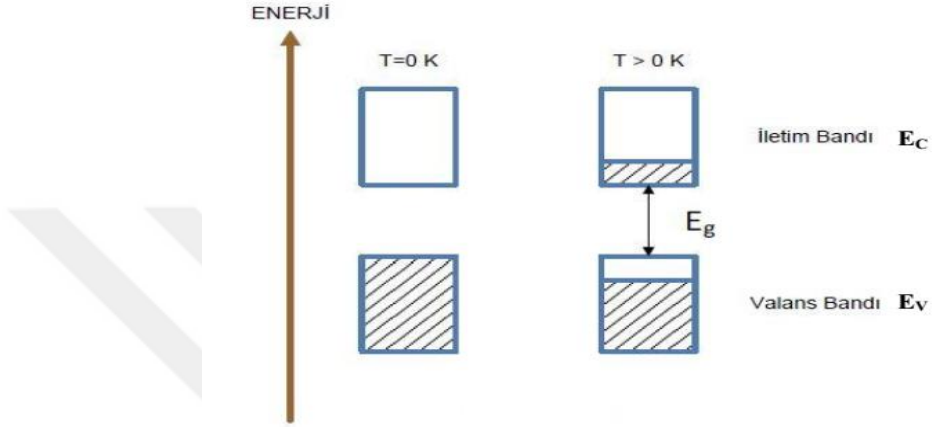


Şekil 2.1. İletkenlere ait enerji band diyagramı [14]



## 2.2. Yarıiletken

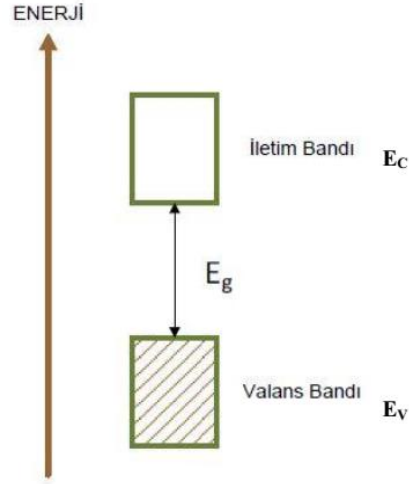
Yarıiletken malzemeler; iletken malzemelere göre daha az iletkendir. Yarıiletken malzemelerin valans elektronları; dışardan uyarılma ile (ışık, gerilim uygulanması, ısı vb.) serbest duruma geçerek iletkenlik özelliği oluşturlar. Yarıiletken malzemelere ait enerji-band diyagramı Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Yarıiletkenlere ait enerji band diyagramı  $E_V$  valans bandı,  $E_C$  iletkenlik bandı,  $E_g$  ise yasak enerji band aralığı [14]

## 2.3. Yalıtkanlar

Yalıtkan tanımında; elektronlar birbirlerine sıkıca bağlıdır ve elektron alışveriş eğilimleri yoktur. Bunun sonucu olarak yalıtkan madde/malzemede akım iletimi olmaz. Bu malzemeler için oda sıcaklığında; ısı-valans bandındaki elektronu harekete geçiremez ve iletim bandına gönderemez [14]. Yalıtkan malzemelere ait enerji-band diyagramı Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Yalıtkanlara ait enerji band diyagramı [14]

#### 2.4. Diyot Tanımı, Çalışma Prensibi ve Diyot Çeşitleri

Diyotlar genel olarak tanımlandığında; elektrik akımının tek bir yönde geçişini sağlayan yarıiletken bir malzeme olmakla birlikte, anot (+) ve katot (-) ucu olan iki uçlu ve tek bir akım geçiren devre elemanıdır. Pozitif yüklü taşıyıcılar P-tipi yarı iletkenlerdir. Elektronlara sahip olan yarı iletkenler de N-tipi yarı iletkenlerdir. Bu iki tip yarı iletken birleştirilerek P-N yüzeyi oluştururlar ve elektron geçişi bu yüzey tarafından sağlanır. Genellikle yarı iletken olarak silisyum kullanılır, bazı durumlarda ise germanyum kullanılabilir [15,16].

Diyotlar;

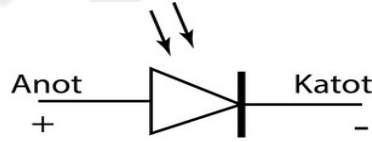
1. Kristal Diyot
2. Zener Diyot
3. Tünel Diyot
4. Işık Yayan Diyot (Led)
5. Foto Diyot
6. Ayarlanabilir Kapasiteli Diyot (Varaktör - Varikap)

Diğer Diyotlar;

1. Mikrodalga Diyotlar
2. Gunn Diyotlar
3. Impatt (Avalanş) Diyot
4. Baritt (Schottky) Diyot
5. Ani Toparlanmalı Diyot
6. Pin Diyot
7. Büyük Güçlü Diyotlar

## 2.5. Fotodiyot ve Kullanım Alanları

Işığa duyarlı yarıiletkenin, ışık etkisiyle aktivite gösterdiği diyottur. Metal-yarıiletken kontağı veya p-n eklemi diyotun yapısını oluşturur [17-18]. Aynı zamanda fotodiyot çok iyi bir çeviricidir. Çevirme işleminin verimi fotodiyotun özyapısına bağlıdır.



Şekil 2.4. Fotodiyotun şematik gösterimi

Genel tanımla, fotodiyotun çalışma prensibi diyot aygıtı içinde foto taşıyıcıların yer değiştirmesine dayanır.

Fotodiyotlar;

- Elektronik flaşlarda,
- Işık kontrollü devrelerde,
- Transistör ve tristör tetiklemelerinde,
- Işık ölçüm cihazlarında
- Alarm devrelerinde

-Optokuplörlerde ve sayıcıdevrelerinde kullanılırlar.

## 2.6. Schottky (Bariyer) Diyotlar

Schottky diyotun ana çalışma prensibinde metal-yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engeli (bariyer) oluşma fikri vardır. Bu fikir ilk W. Hermann Schottky tarafından ortaya çıkartıldığından dolayı Schottky diyot adını almıştır [19].

Schottky diyotlar ve silisyum nokta kontaklar 1935'den günümüze radyo dedektörleri olarak kullanılmaktadırlar. Nokta kontak diyotbaz alınarak yapılan çalışmalarda schottky engel diyotla ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda başlanmıştır. Metal-yarıiletken kontakların yapısı yarıiletken fiziğinin gelişmesiyle daha iyi anlaşılmaktadır [20]. Çoğunluk taşıyıcılar p-n eklem diyotlardan farklı olarak schottky kontaklarda elektriksel iletkenliği sağlarlar.

Schottky(engel) diyotlar aşağıdaki gibi şematize edilirler.



Şekil 2.5. Schottky diyotun şematik gösterimi

Schottky diyotlar;

- Dedektörlerde
- Mikrodalga sistemlerde
- Güneş pillerinde
- Kurşun-asitli bataryalarda
- Anahtar modlu güç kaynaklarında kullanılırlar.

## 2.7. Metal-Yarıiletken Kontaklar

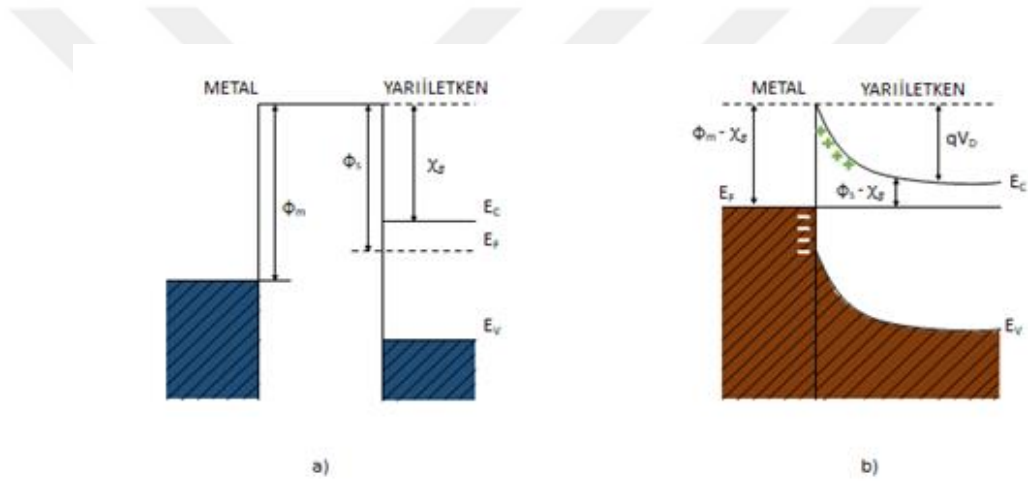
### 2.7.1. Omik Kontak

Metal ile birlikte yarıiletken kontak edildiğinde oluşan kantağın hangi tür olduğunu yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonu belirler. Metalin iş fonksiyonu  $\phi_m$  ile gösterilir.

$\phi_s$  de yarıiletkenin iş fonksiyonunu gösterir. Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda  $\phi_s > \phi_m$  durumunda omik kontak oluşur. Metal p-tipi yarıiletken kontaklarda ise tam tersi durumda  $\phi_m > \phi_s$  omik kontak oluşur. Omik kontaklar yapıldıktan sonra deney aşamasında belirli bir tavlama sürecinden geçerler [20].

### 2.7.2. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda  $\phi_m > \phi_s$  durumunda doğrultucu kontak oluşur. Metal p-tipi yarıiletken kontaklarda tam tersi  $\phi_s > \phi_m$  durumunda doğrultucu kontak oluşur [21].



Şekil 2.6. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontakta a) kontak öncesi b) kontak sonrası enerji band diyagramları

Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi kontak öncesinde yarıiletkenin fermi seviyesi ile metalin fermi seviyesi arasında  $\phi_m - \phi_s$  kadar bir fark bulunmaktadır. Kontak oluşturulduğunda yarıiletkenin iletkenlik bandında bulunan, enerjileri metaldeki elektronlardan yüksek olan elektronlar kontak bölgesine girerler. Metalin ve yarıiletkenin fermi enerji seviyeleri eşitlenene kadar olay devam eder. Yarıiletkende elektron yoğunluğu azalır ve iletkenlik bandı ile fermi enerji seviyesi arasındaki mesafe termal dengeye ulaşılan kadar artar. Yarıiletkenin yasak enerji aralığı kontaklanmadan sonra değişmeyeceğinden  $E_V$  ve  $E_C$  vakum seviyesiyle birlikte aşağıya bükülür [22]. Şekil 2.6. b'de gösterildiği üzere band bükülmelerinin miktarı iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir ve bu eşitlik,

$$qV_D = (\phi_m - \phi_s) \quad (2.1)$$

şeklinde verilir. Metal tarafındaki potansiyel engelin yüksekliği ise,

$$\phi_b = \phi_m - \chi_s \quad (2.2)$$

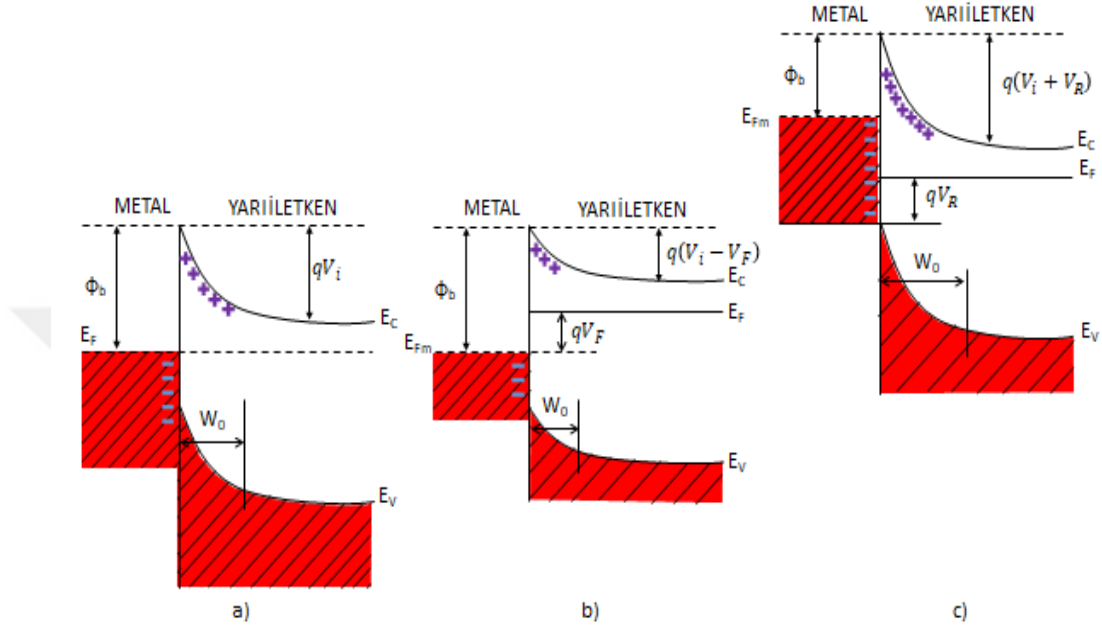
şeklindedir.

Termal uyarılma sonucu metalin yeterli enerjiye sahip bazı elektronları yarıiletkenin içine, yarıiletkenin bazı elektronları da metalin içine girerler. Denge kurulduğunda eşit ve zıt yönlü  $I_0$  akımları oluşur. Yarıiletken  $-V$  voltajı uygulandığında metalden yarıiletken gidecek elektronlar için engel yüksekliği değişmez. Bundan ötürü yarıiletkenden metale karşı gelen akım da değişmeyecektir.

Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın termal denge, düz beslem, ters beslem altındaki enerji band diyagramları Şekil 2.7.'de verilmiştir. Düz beslemde yani yarıiletken tarafına negatif voltaj uygulandığında tükenim bölgesinin genişliği azalır ve potansiyel engel yüksekliği  $qV_i$ ,  $q(V_i - V_f)$  şeklinde değişir. Yarıiletkenden metale geçecek elektronlar için engel yüksekliği azalacağından elektronların yarıiletkenden metale doğru olan akımı termal denge durumuna göre artış gösterecektir. Metalde herhangi bir voltaj azalması olmayacağından ve engel yüksekliği değişmeyeceğinden, elektronların metalden yarıiletken doğru olan akımında değişiklik olmayacaktır. Ters beslemde yani yarıiletken tarafına pozitif voltaj uygulandığında tükenim bölgesi üzerine düşen engel yüksekliği  $qV_i$ ,  $q(V_i + V_R)$  şeklinde artış gösterecektir. Yarıiletkenden metale doğru olan akım termal denge durumuna göre azalır. Metalden yarıiletken doğru olan akım termal denge durumundaki akıma eşittir. Termal denge durumunda kontakta tek bir fermi enerji seviyesi bulunurken ters ve düz beslem durumunda metal ve yarıiletken tarafında iki farklı fermi enerji seviyesi bulunmaktadır [23-26]. Bu durumda diyotun akım-voltaj ilişkisi,

$$I = I_0 \left[ \exp \left( \frac{qV}{nkT} \right) \right] \quad (2.3)$$

şeklinde. Burada  $I_0$ , ters doyma akımı;  $q$ , taşıyıcı yükü;  $V$ , uygulanan voltaj;  $k$ , Boltzman sabitini;  $T$ , Kelvin cinsinden sıcaklığı ve  $n$ , idealite faktörünü belirtmektedir. İdeal diyotlar için  $n = 1$  değerini alır [27].



Şekil 2.7. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın a) termal dengede b) düz beslemde ve c) ters beslemde enerji band diyagramları

Yukarıdaki verildiği üzere Şekil 2.7.'de metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın termal denge, düz beslem, ters beslem altındaki enerji band diyagramları gösterilmiştir. Yarıiletken tarafına negatif voltaj uygulandığında yani düz beslemde, tükenim bölgesinin genişliği azalırken ve potansiyel engel yüksekliğinin  $qV_i$ ,  $q(V_i - V_f)$  şeklinde değiştiği izlenir. Elektronların yarıiletkenden metale doğru olan akımı termal denge durumuna göre artış gösterme eğilimlidir. Çünkü; yarıiletkenden metale geçecek elektronlar için engel yüksekliği azalış göstermektedir. Metalde bir voltaj değişimi olmayacağından ve buna bağlı olarak engel yüksekliği değişmeyeceğinden, elektronların metalden yarıiletkene doğru olan akımında değişiklik beklenmez. Yarıiletken tarafına pozitif voltaj uygulandığında yani ters beslem bölgede, tükenim bölgesi üzerine düşen engel yüksekliği  $qV_i$ ,  $q(V_i + V_R)$  şeklinde artacaktır. Yarıiletkenden metale doğru olan akım, termal denge durumuna göre azalırken metalden yarıiletkene doğru olan akım termal denge durumundaki

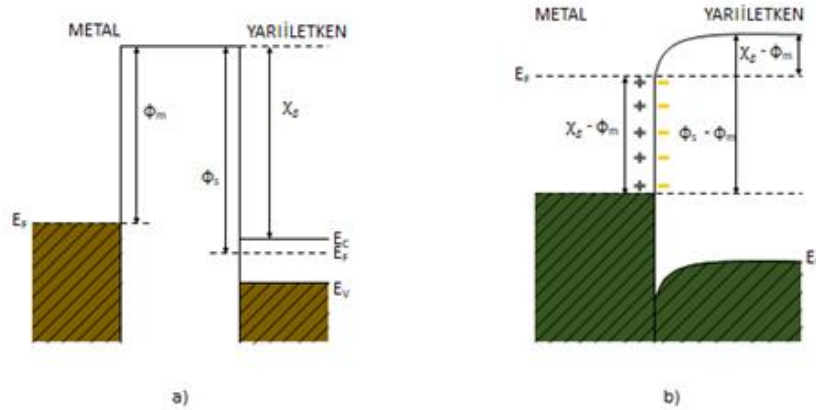
akıma eşittir. Termal denge durumunda, kontakta tek bir fermi enerji seviyesi bulunurken, ters ve düz beslem bölgede metal ve yarıiletken tarafında iki farklı fermi enerji seviyesi bulunmaktadır. Bu durumda diyotun akım-voltaj ilişkisi,

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (2.4)$$

şeklindedir. Burada  $I_0$ , ters doyma akımı;  $q$ , taşıyıcı yükü;  $V$ , uygulanan voltaj;  $k$ , Boltzman sabitini;  $T$ , Kelvin cinsinden sıcaklığı ve  $n$ , idealite faktörünü belirtmektedir. İdeal diyotlar için  $n = 1$  değerini alır.

#### 2.7.4. Metal –n tipi yarıiletken omik kontaklar

Metalin iş fonksiyonu; yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olduğu durumlarda metal/n-tipi yarıiletken omik kontak oluşur. Şekil 2.8.'de metal ile yarıiletkenin kontak öncesi ve kontak sonrası durum diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontakın a) Kontakdan önceki enerji-band diyagramı b) Kontak sonrası enerji band diyagramları

Kontak öncesinde yarıiletkenin fermi enerji seviyesi ile metalin fermi enerji seviyesi arasında  $\phi_s - \phi_m$  kadar bir fark mevcuttur. Kontak oluşturulduğunda ise metaldeki elektron yoğunluğu, yarıiletkenin elektron yoğunluğundan fazla olacağından, elektronlar metalden yarıiletkenine doğru hareket etmektedirler. Bu elektron hareketi metal ile yarıiletkenin fermi enerji seviyeleri eşit olana kadar devam etmektedir.

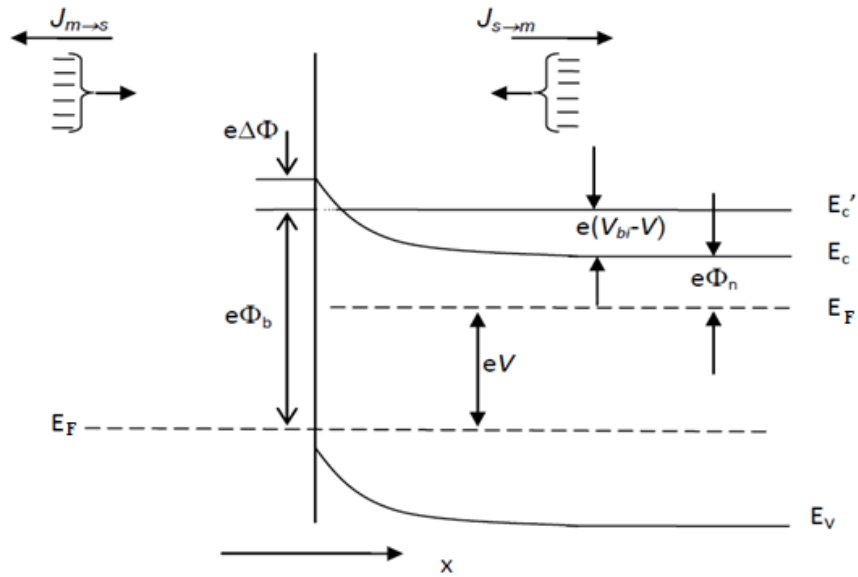


Hareket eden elektronlar, yerlerinde pozitif yüklü boşluklar bırakacak ve yarıiletken yüzeyinde negatif yüklü bir yüzey tabakası oluşturacaklardır. Bunun sonucunda  $E_V$  ve  $E_C$  vakum seviyesiyle birlikte yukarıya bükülür [27].

## 2.8. Termiyonik Emisyon Teorisi

Sıcak bir yüzeyden termal enerjileri nedeniyle taşıyıcıların salınması olayı olarak tanımlanan termiyonik emisyon teorisi ile Schottky eklemlerde elektron taşınması durumu açıklanır. Termiyonik emisyon teorisi Schottky eklemlerde şöyledir: taşıyıcıların mevcut termal enerjileri sebebiyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya tam tersi geçişidir. Schottky diyotlarda, çoğunluk taşıyıcıları vasıtasıyla akım taşınır. Metal p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda akımın iletimi boşluklar tarafından sağlanırken, metal n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda bu akım elektronlarca sağlanır. Termiyonik emisyon teorisi oluşumu için var kabul edilen temel maddeler şöyledir:

1.  $e\Phi_b$  engel yüksekliği,  $kT$ 'den çok büyüktür ( $e\Phi_b \gg kT$ ).
2. Tükenim bölgesi içerisindeki elektron çarpışmaları ihmal edilir.
3. Hayali kuvvetin etkisi de ihmal edilir.



Şekil 2.11. Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisinin grafiksel gösterimi

Yukarıdaki var kabul edilen maddelere istinaden, akım iletimi sadece engel yüksekliğine bağlıdır. Yarıiletken den metale doğru yönelmiş olan  $J_{s \rightarrow m}$  akım yoğunluğu, standart-termoiyonik emisyon denklemi ile verilir [27].

$$J_{s \rightarrow m} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[ \frac{-e\phi_b}{kT} \right] \exp \left( \frac{eV}{kT} \right) \quad (2.5)$$

$$J_{m \rightarrow s} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[ \frac{-e\phi_b}{kT} \right] \quad (2.6)$$

Bu akım değeri sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğunu ifade eder. Metal/yarıiletken kontağın net akım yoğunluğu  $J$  denklem 2.7’de ki gibi ifade edilir [27].

$$J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s} \quad (2.7)$$

Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu pozitif olarak tanımlanırsa bu durumda net elektron akım yoğunluğu denklem 2.8’de ki gibi ifade edilir.

$$J = \left[ A^* T^2 \exp \left( \frac{-e\phi_b}{kT} \right) \right] \left[ \exp \left( \frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.8)$$

$A^*$  Richardson sabiti olup, denklem 2.9’da ki gibi ifade edilir.

$$A^* = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) \quad (2.9)$$

Genel net elektron akım yoğunluğu ifadesi denklem 2.10’de ki ifade edilir.

$$J = J_0 \exp \left( \frac{eV}{kT} - 1 \right) \quad (2.10)$$

$J_0$  ters doyma akım yoğunluğudur ve denklem 2.11’de ki gibi ifade edilir.

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \quad (2.11)$$

$\phi_b$ , engel yüksekliği değerinin imaj kuvveti ile azalması ve  $\phi_b = \phi_{b0} - \Delta\phi$  ifadesi dikkate alınırsa  $J_0$  akım yoğunluğu ifadesi denklem 2.12’da ki gibi ifade edilir.

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2.12)$$

## 2.9. Diyot Parametre Hesabı

Termiyonik emisyon teorisine göre yapılan I-V ölçümleri diyotun parametreleri olan engel yükseliği ( $\phi_b$ ) ve idealite faktörü (n) hesaplanmıştır ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.13)$$

Doğru beslemde termiyonik emisyon teorisi esasına göre;  $V > 3kT/q$  bölgesinde hesaplama yapılmaktadır ve eksponansiyel denklemin ikinci kısmı ihmal olur, eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (2.14)$$

Bu ifadeye göre I diyottan geçen akım,  $I_0$  ters doyma akımıdır ve denklem 2.15 ’de ki gibi yazılır;

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_b}{kT}\right] \quad (2.15)$$

Bu eşitlikteki A: diyotun doğrultucu kontak alanı,  $A^*$  : Richardson sabiti olup, değeri n tipi silisyum için  $A^* = 120 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ ’dir. T, ortamın sıcaklığının Kelvin cinsinden değeridir ve  $T=300 \text{ K}$  alınmıştır. k ise Boltzman sabitidir ve değeri  $k=8.625 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ’dir.

Eşitlik 2.14’de her iki tarafın da logaritması alınıp daha sonra da V’ye göre türevi alınırsa idealite faktörü (n) değeri bulunur;

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (2.16)$$

2.15 eşitliğinin her iki tarafında logaritması alınıp  $\phi_b$ ’ye göre çözülürse, engel yüksekliğinin denklemi;

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (2.17)$$

şeklinde bulunur.

## 2.10. Seri Direnç

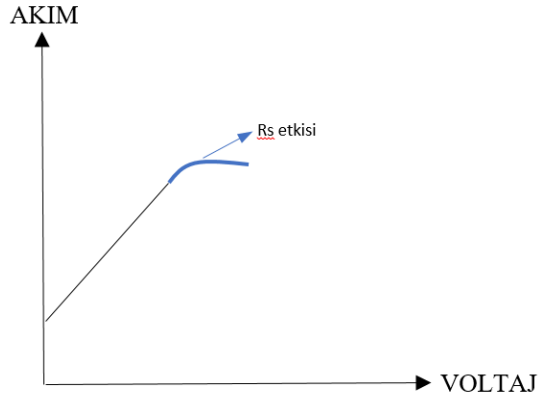
Seri direnç, metal kontakların ve altlık olarak kullanılan yarıiletkenin hacminin direnci olarak tanımlanır. Bir fotodiyotda seri direnç; yarı iletken ve metal kontakların direncinden kaynaklanır [28]. Seri direnç oluşumuna neden olan başlıca durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Doğrultucu kontak üzerinden ölçüm almak için kullanılan tel,
- Kristalin arka yüzeyi üzerine yapılmış olan omik kontak,
- Kristal ile omik kontak arasındaki gövde direnci
- Ara yüzeydeki oluşmuş oksit tabaka ve yüzey kirlilikleri
- Kristalin doğrultucu kontak tarafında bulunan tüketme tabakası

Seri direnç aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir;

$$R_s = \frac{(W_0 - W_d)\rho}{A_j} + R_c \quad (2.18)$$

$W_0$  yarıiletken altlık kalınlığı,  $W_d$  tükenim tabakası genişliği,  $A_j$  eklemnin yayıldığı alan,  $\rho$  altlığın öz direnci ve  $R_c$  ise kontak direncidir. İdeal fotodiyotlar normal şartlarda seri dirence sahip olmayışı beklenmesine rağmen 10-1000 ohm arasında bir seri dirence sahip oldukları ifade edilir [29,30].



Şekil 2.12. Metal/yarıiletken kontaklar için seri direncin etkili olduğu bölge

Şekil 2.12.'de görüldüğü üzere; seri direncin yüksek voltajlarda etki ettiği ve diyotun ideal davranışından sapmaya neden olduğu görülmektedir. Çalışmamızda seri direnci hesaplamak için Cheung & Cheung metodu kullanıldı [31].

## 2.11. Doğrultma Oranı

Doğrultma, metal-yarıiletken kontakta iletkenliği sağlayan yük taşıyıcılarının (holler ve elektronlar) daha kolay iletilmesiyle (metalden-yarıiletken, yarıiletkenden metale) oluşan davranışa denir. Diyotun tam ilettime geçtiği voltaj değerinde, doğru beslem altındaki akımın ( $I_F$ ), ters beslem altındaki akıma ( $I_R$ ) oranına doğrultma oranı denir. Doğrultma oranı: ( $I_F/I_R$ ) dir. İdeal diyotlarda kaliteyi önemli ölçüde doğrultma oranı belirler ve bu oran yaklaşık  $10^3$ - $10^6$  dır.

## 2.12. Arayüzey Durum Yoğunluğu

Arayüzeydeki yasak band aralığındaki girilebilir enerji seviyesi arayüzey yoğunluğu olarak tanımlanır. Arayüzey durumunda alıcı enerji seviyesi dolu ise negatif yüklü,

boş ise yüksüzdür. Verici enerji seviyesi dolu ise yüksüz, boş ise pozitif yüklüdür. Gerilim uygulandığında, fermi seviyesi geride sabit kalırken, arayüzey tuzak seviyeleri valans ve iletkenlik bandları ile birlikte aşağı yukarı yönde hareket ederler. Arayüzey durumları genelde arayüzeye çok yakın yerlerde bulunurlar [31-32].

Metal/yarıiletken kontaklar için arayüzey durum yoğunluğu, denklem 2.19'da ki eşitlik kullanılarak bulunur;

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left[ \frac{\varepsilon_s}{W_D} \frac{1}{(n(V)-1)} - \frac{\varepsilon_i}{\delta} \right] \quad (2.19)$$

Metal/organik/yarıiletken kontaklar için ise arayüzey durum yoğunluğu denklem 2.20'de ki eşitlik kullanılarak bulunur.

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left( \frac{\varepsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\varepsilon_s}{W_D} \right) \quad (2.20)$$

Denklem 2.19 ve 2.20'de yer alan simgeler,  $q$  elektron yükü,  $\delta$  arayüzey tabakası kalınlığı,  $W_D$  tükenim tabakası genişliği,  $\varepsilon_i$  arayüzey katmanı geçirgenliği (3 F/cm),  $\varepsilon_s$  yarıiletken geçirgenliği (11,8 F/cm) olarak açıklanır.

## BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yarıiletken alt tabaka olarak, 2’’ çaplı, 500 µm kalınlıklı, (100) yönelimli ve 20 Ωcm öz dirence sahip, fosfor katkılı n tipi bir silisyum kristali kullanılmıştır. Kimyasal temizleme işlemi uygulanarak silisyum kristali üzerinde oluşan veya oluşabilecek kirlilik giderilmiştir. Temizleme işleminin hemen ardından diyotun hazırlığı aşamasına geçilmiştir. Diyot hazırlanışı tamamlandığında da diyotun özelliklerini belirlemek için farklı ışık şiddeti ve karanlıkta akım- gerilim ölçümlerine geçilmiştir.

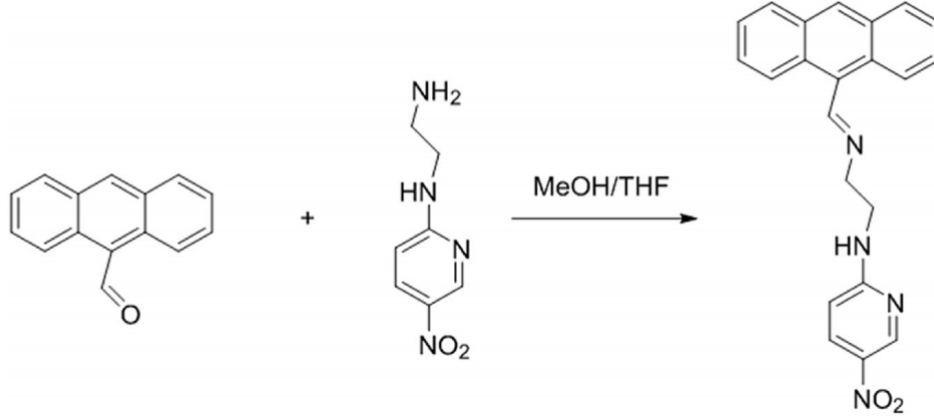
### 3.2. Alt Tabaka Kristalinin Temizlenmesi

Yarıiletken kristalin kimyasal temizleme işlemi, sırasıyla aşağıdaki işlemlere göre yapıldı.

- a. Başlangıçta trikloretilen ile 5 dakika yıkandı.
- b. Ardından 5 dakika deiyonize su ile temizlendi.
- c. Sonrasında 5 dakika alkol ile ultrasonik olarak yıkandı.
- d. Tekrar deiyonize su ile 5 dakika temizlendi.
- e. Devamında, aseton ile 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
- f. Daha sonra deiyonize su ile tekrar 5 dakika temizlendi.
- g. 1:10 HF çözeltisi ile 5 dakika temizlendi.
- h. Son olarak 5 dakika deiyonize su ile yıkanıp, kuru azot ile kurutuldu.

### 3.3. NAMA Organik Malzemesinin Hazırlanması ve Sentezi

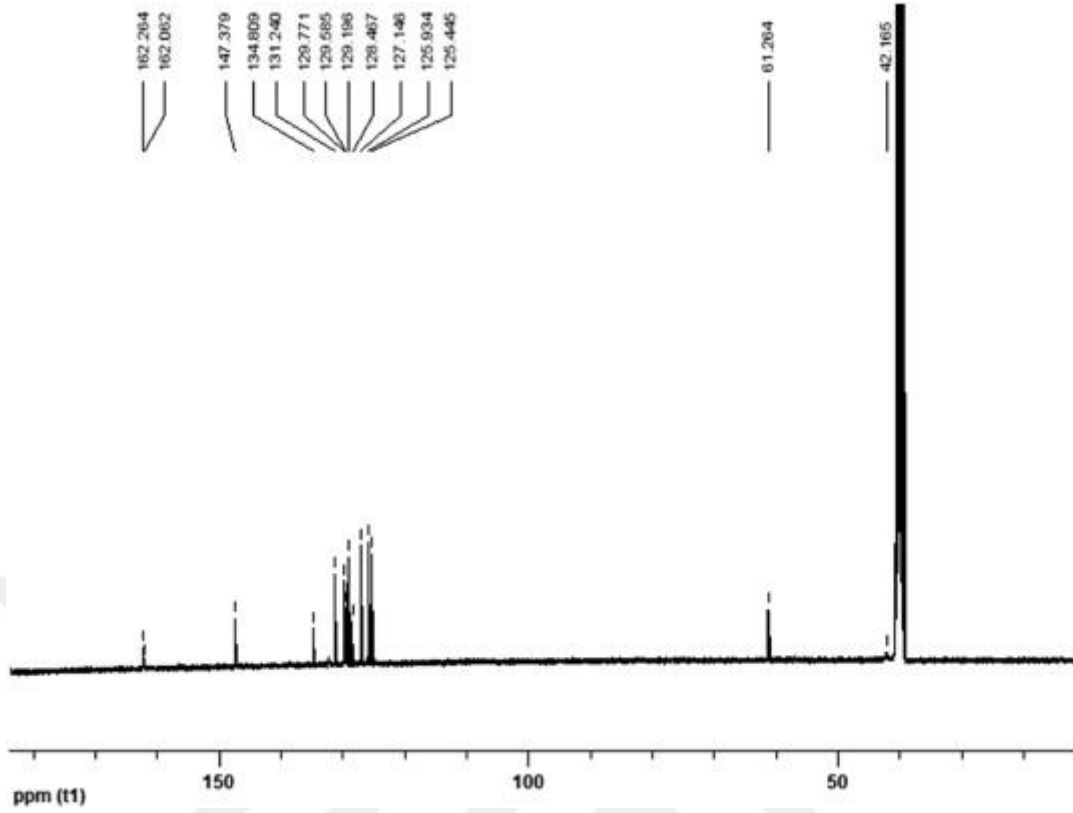
Şekil 3.1.' de açık molekül yapısı verilen 9-[(5-nitropiridin-2-aminoetil) iminometil] –antrasen (NAMA) literature uygun şekilde sentezlenmiştir [33]. Kimyasal formülü  $C_{22}H_{18}N_4O_2$  şeklindedir.



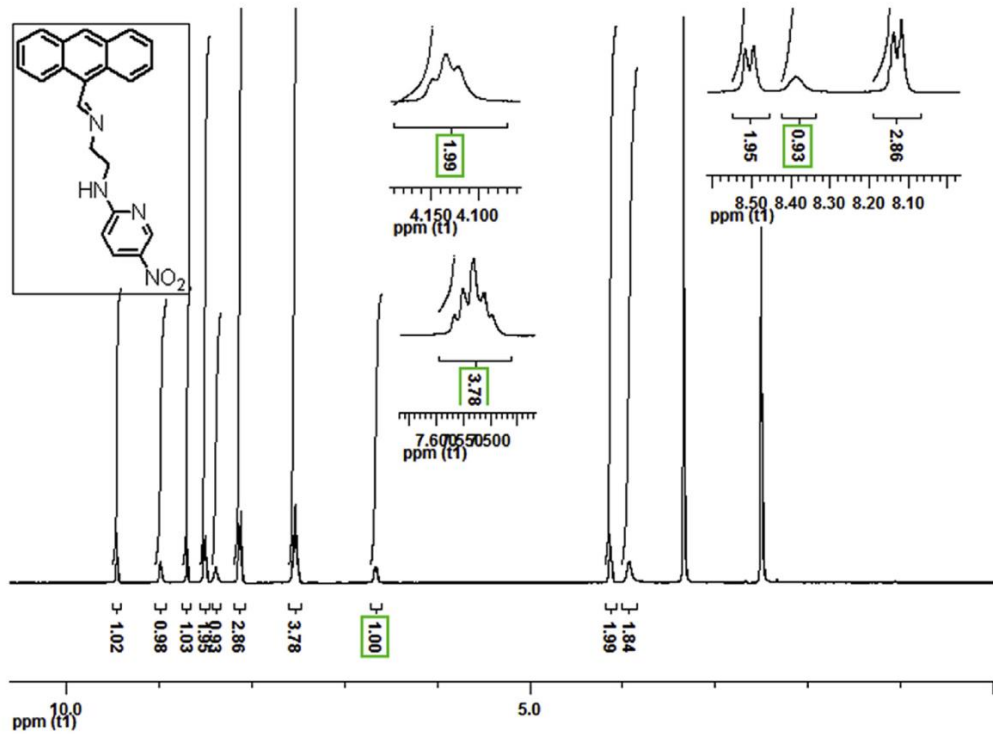
Şekil 3.1. NAMA organik malzemesinin açık molekül yapısı

10 mL metanol içindeki 2-(2-aminoetilamino)-5-nitropiridin (152 mg, 0.834 mmol) ile 10 mL tetrahidrofuran içindeki 9-antrasen karboksialdehit (206 mg, 1 mmol) karıştırıldı. Reaksiyon karışımı 51 saat boyunca geri soğutucu altında karıştırıldı, oluşan çökelti süzüldü ve EtOH ile yıkandı. Ham ürün, sarı renkli ürün verecek şekilde EtOH'den geçirilerek yeniden kristalleştirildi. Ürüne ait NMR sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.





Şekil 3.2. NAMA organik malzemesine ait  $^{13}\text{C}$ -NMR spektrumu [33]



Şekil 3.3. NAMA organik malzemesine ait  $^1\text{H}$ -NMR spektrumu [33]

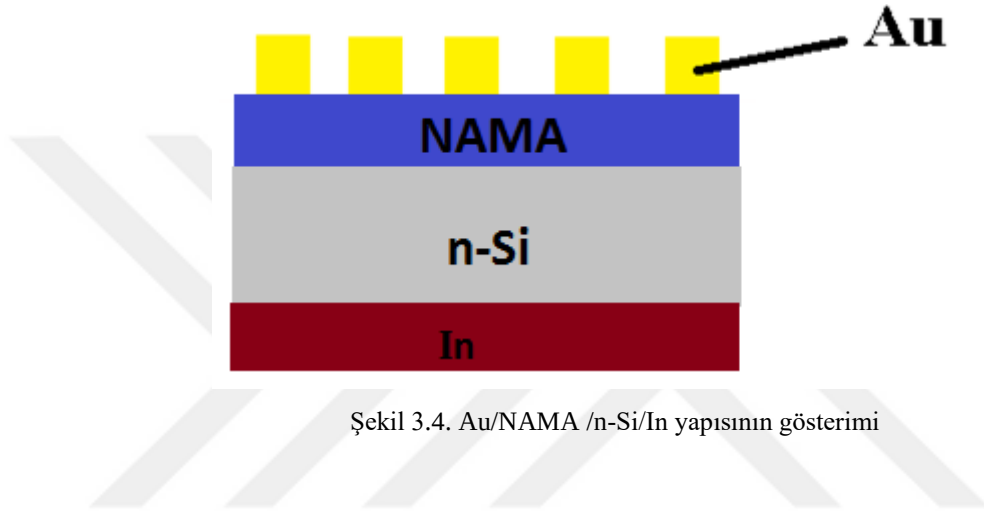
Sentezlenen organik malzemenin verimi % 85, erime noktası 169-170 °C olup, <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>): ikili 3.93 (yayvan, 2H, -CH<sub>2</sub>-NH), 4.14 (üçlü, 2H, J=5.2 Hz, -CH<sub>2</sub>-N), 6.66 (ikili, 1H, J=8.8 Hz, ArH (piridin)), 7.53 (beşli, 4H, J 8.0 Hz, ArH(antrasen)), 8.12-8.15 (çoklu, 3H, NHandArH (antrasen)), 8.39 (yayvan, 1H, ArH (piridin)), 8.51 (ikili, 2H, J= 8.4 Hz, ArH (antrasen)), 8.70 (tekli, 1H, ArH (antrasen)), 8.98 (yayvan, 1H, ArH (piridin)), 9.46 (tekli, 1H, -CH=N). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO): ikili 42.17 (-CH<sub>2</sub>-NH), 61.26(-CH<sub>2</sub>-N), 125.45, 125.93, 127.15, 128.47, 129.20, 129.59, 129.77 ve 131.24 (ArC), 134.81 (ArC-NO<sub>2</sub>), 147.38 (ArC), 162.06 (-CH=N), 162.26 (ArC-NH). Elementel analiz sonuçlarına göre; C<sub>22</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub> kaba formülü ile hesaplanan yüzdelere (%): C;71.34, H; 4.90, N; 15.13. değerinde iken bulunan elementel yüzdelere (%): C; 71.27, H; 5.83, N; 15.21 değerinde bulunmuşlardır [33].

#### 3.4. Metal/Yarıiletken Diyot Yapısının Hazırlanması

Kirliliğin ve oluşabilecek oksitlenmenin giderilmesinden sonra silisyum alt tabakasının mat yüzeyi üzerine Nanovak marka termal buharlaştırma cihazı ile birlikte 100 nm Indium metali (In, %99,999) buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma işleminden sonra OTF-1200X marka fırında vakum ortamında, 350 °C’de, 30 saniye tavlanma işlemi uygulanmıştır. Buharlaştırma işlemi tekrar ısı buharlaştırma cihazı ile Indium (In, %99,999) metali 100 nm daha uygulanarak diyotun omik kontak kısmı oluşturulmuştur.

Omik kontak oluşumunun ardından NAMA maddesi kloroform çözücüsünde çözülerek (10 mg organik madde 1 ml kloroform çözücüsünde çözüldü), spin kaplama (spin coating) cihazı ile silisyum kristalinin parlak yüzeyinde NAMA ince filmi büyütülmüş ve kurutulmaya bırakılmıştır. NAMA ince filminin kalınlığı yüksek frekanslardaki kapasite-gerilim (C-V) ölçümünden hesaplanmıştır. İnce film kaplama işlemi ilk 30 saniye 500 rpm hızda, daha sonra ki 30 saniye ise 1200 rpm hızda gerçekleştirilmiştir.

Organik malzeme ince film kaplama yöntemi ile kaplandıktan sonra NAMA kaplanmış yüzeyin üzerine 1mm yarıçaplı metal maske yerleştirilmiştir. Isıl buharlaştırma işlemi uygulanarak organik ince film yüzeyi üzerine (NAMA yüzeyi üzerine) 1mm yarıçaplı Altın (Au) metali 150 nm kaplanarak doğrultucu kontak oluşumu sağlanmıştır. Yapılan tüm buharlaştırma işlemleri yaklaşık olarak  $10^{-6}$  Torr basınçta yapılmıştır. Doğrultucu kantağın da oluşumu ile birlikte Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyot (Şekil 3.4) yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 3.4. Au/NAMA /n-Si/In yapısının gösterimi

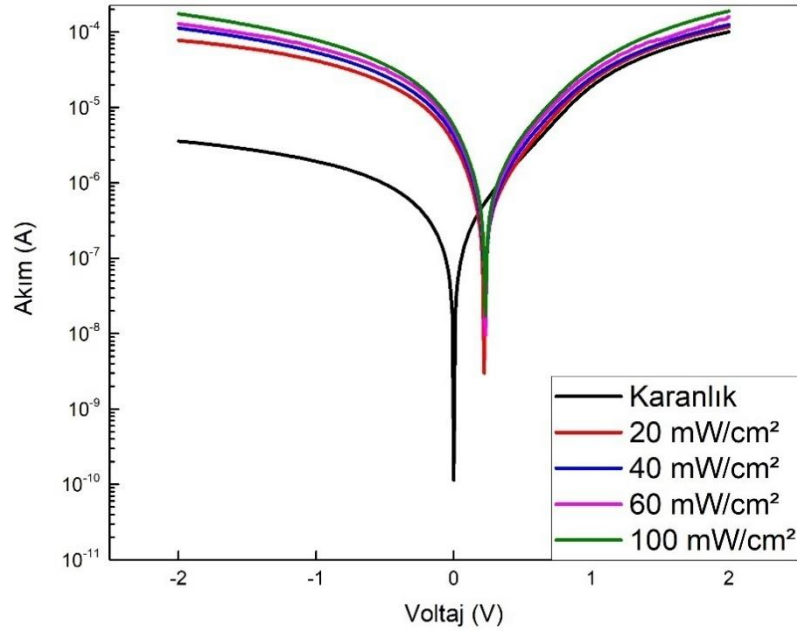
### 3.5. Akım- Gerilim ve Kapasite-Gerilim Ölçüm Sistemi

Bu tez çalışmasında Au/NAMA/n-Si/In diyotunun elektriksel özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla, akım-gerilim (I-V) özellikleri karanlıkta ve farklı aydınlatma şiddetleri altında ölçülüp değerlendirilmiştir. Sciencetech güneş similatörü aydınlatma şiddeti uygulamalarında kullanılmıştır. Keitley 4200 SCS ölçüm sistemi elektriksel karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Elektriksel ölçümler diyota -2 ile +2V arasında voltaj uygulanarak yapılmıştır. Organik tabaka NAMA'nın ince film kalınlığı 1 MHz'de kapasite-voltaj (C-V) ölçümü Keitley 4200 SCS ölçüm sistemi ile belirlenmiştir.

## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Au/NAMA /n-Si/In Schottky Diyotunun Akım Gerilim Karakteristikleri

Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun oda sıcaklığında karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki yarı logaritmik akım-voltaj grafiği Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Au/NAMA/n-Si/InSchottky diyotunun yarı logaritmik akım-voltaj grafiği

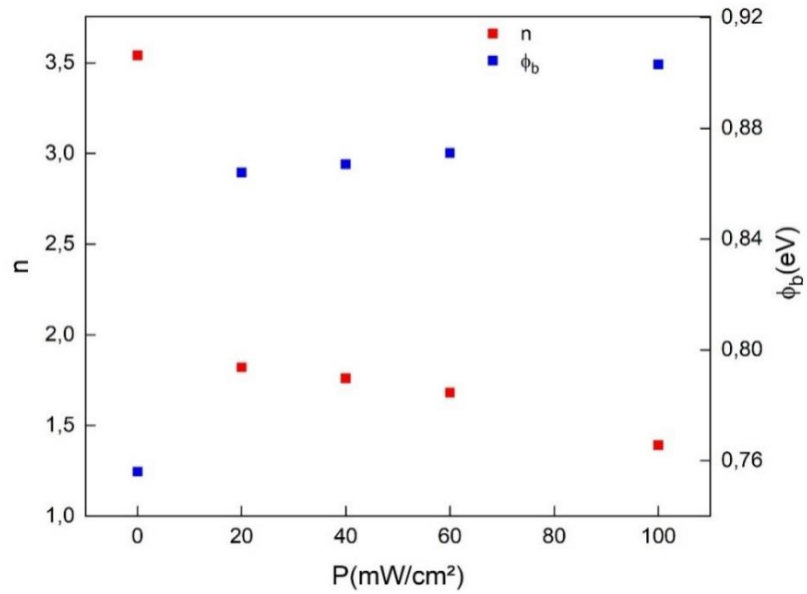
Şekil 4.1.'de görülen Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotuna ait I-V grafik eğiminden faydalanılarak idealite faktörü hesaplanmıştır. Doyma akımı ( $I_0$ ) değeri, I-V grafiğinin lineer bölgesinin, sıfır voltajda I eksenini kestiği noktadan bulunmuştur. Engel yüksekliği değeri ise, diyotun kontak alanı ve Richardson sabiti kullanılarak

hesaplanmıştır. Hesaplanan idealite faktörü, doyma akımı ve engel yüksekliği değerleri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun hesaplanan  $n, I_0, \Phi_b$  değerleri

| Aydınlatma<br>Şiddeti | $n$  | $I_0(A)$               | $\Phi_b (eV)$ |
|-----------------------|------|------------------------|---------------|
| karanlık              | 3,54 | $6,43 \times 10^{-08}$ | 0,756         |
| 20mW                  | 1,82 | $9,89 \times 10^{-10}$ | 0,864         |
| 40mW                  | 1,76 | $8,84 \times 10^{-10}$ | 0,867         |
| 60mW                  | 1,68 | $7,49 \times 10^{-10}$ | 0,871         |
| 100mW                 | 1,39 | $2,17 \times 10^{-10}$ | 0,903         |

Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin uygulanan farklı ışık şiddetlerine göre değişimi Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun  $n$  ve  $\Phi_b$  değerlerinin ışık şiddeti ile değişimleri

Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi aydınlatma şiddeti arttırıldığında; idealite faktörü değerleri azalırken, engel yüksekliği değerleri artmaktadır.

Doğrultma davranışı; metal/yarıiletken kontaklarda, yük taşıyıcıların bir yönden diğer yöne daha kolay iletilimini ifade etmektedir. Doğrultma oranı ise doğru beslem akımının, ters beslem akımına oranıdır. İdeal diyotların doğrultma oranı genellikle  $10^3$ - $10^6$  olarak ifade edilir [29]. Doğrultma oranının eşitliği denklem 4.1.'de verilmiştir.

$$RR = \frac{I_F}{I_R} \quad (4.1)$$

Eşitlikte verilenlere göre RR doğrultma oranı,  $I_F$  doğru beslem akımı,  $I_R$  ters beslem akımıdır. Denklem 4.1'deki eşitlik kullanılarak hesaplama yapılmış ve Au/NAMA/n-Si/In diyotunun doğrultma oranı 29 bulunmuştur.

İdeal diyotlarda, idealite faktörü değeri 1'dir. İdealite faktörü değeri 1'den büyük ise bu durum diyotun ideallikten saptığını gösterir. İdeallikten sapma nedenleri olarak birkaç etkenden bahsedilir ki bunlar; arayüzey durumları, arayüzey tabakasının varlığı ve seri direnç etkisi şeklindedir [30,32]. Bazı çalışmalarda benzer sonuçlar izlenmiştir. Pakma ve arkadaşları koronen organik arayüzey tabakası kullanarak; Al/Coronene/n-Si diyotunun idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerini, karanlıkta sırasıyla 2,81 ve 0,697 eV,  $100 \text{ mW/cm}^2$  ışık şiddeti için ise sırasıyla 2,07 ve 0,755 eV bulmuşlardır [34]. Yakuphanoglu ve arkadaşları da ara yüzey tabakası olarak organik siklotrifosfazan bileşiğini kullanarak oluşturdukları Al/Siklotrifosfazan /p-Si diyotunun idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerini, karanlık için sırasıyla 4,29 ve 0,82 eV,  $100 \text{ mW/cm}^2$  ışık şiddeti için ise sırasıyla 3,95 ve 0,83 eV bulmuşlardır [35]. Soylu ve arkadaşları da ara yüzey tabakası olarak Ru(II) bileşiğini kullanarak oluşturdukları Au/Ru(II)/n-Si diyotunun idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerini, karanlık için sırasıyla 3,51 ve 0,9 eV,  $100 \text{ mW/cm}^2$  ışık şiddeti için 3,22 ve 0,91 eV bulmuşlardır [36]. Bizim çalışmamız olan Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunu yukarıdaki literatürle karşılaştırdığımızda daha yüksek engel yükseklikleri ve daha düşük idealite faktörlerine sahip metal/organik malzeme/inorganik yarıiletken Schottky yapısı elde edilmiştir.

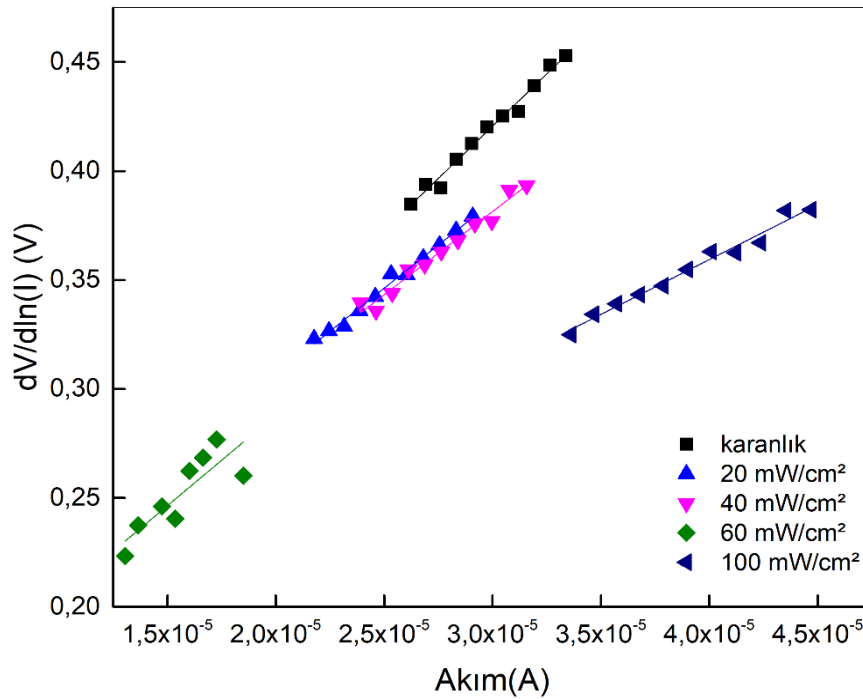
#### 4.2. Cheung Metodu Yardımı ile Seri Direnç Hesaplanması

Üretilmiş olan Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun, karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında, Cheung metodu yardımıyla seri direnç değerleri hesaplanmıştır. Cheung metoduna göre seri direnç, I-V eğrisinin doğru beslemde lineerleşmeye başladığı bölgede etkilidir. İlgili Cheung fonksiyonları [27].

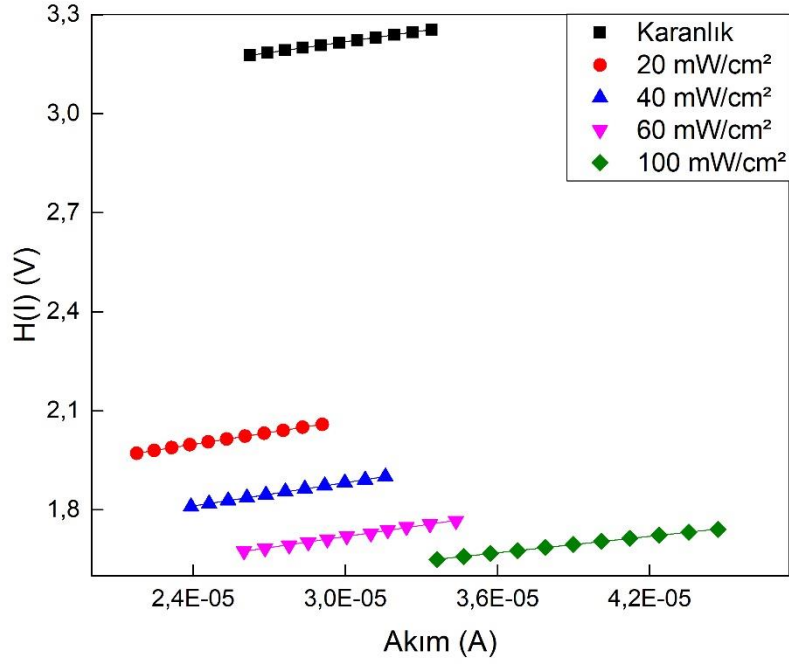
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \frac{kT}{q} + IR_s \quad (4.2)$$

$$H(I) = n\phi_b + IR_s \quad (4.3)$$

Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotuna ait karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altındaki  $dV/d(\ln I) - I$  ve  $H(I) - I$  grafikleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 4.2.'de gösterilmiştir



Şekil 4.3. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki  $dV/d(\ln I)$ -I grafiği



Şekil 4.4. Au/NAMA/n-Si/InSchottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki H(I)-I grafiği

Tablo 4.2. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun hesaplanan Rs değerleri

| Işık Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> ) | dV/dlnI-I | H(I)-I |
|------------------------------------|-----------|--------|
|                                    | Rs (Ω)    | Rs (Ω) |
| Karanlık                           | 9,585     | 10,944 |
| oda ışığı                          | 9,100     | 10,592 |
| 20mW                               | 7,910     | 11,999 |
| 40mW                               | 7,632     | 11,760 |
| 60mW                               | 5,166     | 11,220 |
| 100mW                              | 5,035     | 8,281  |

Tablodaki verilen sonuçlara göre, seri direnç değerlerinin ifade etmek istediği; aydınlatma şiddeti arttıkça seri direnç değerlerinin azaldığı yönündedir. Literatürde araştırmacıların yaptığı çalışmalarla benzer sonuçlarla karşılaştığını desteklemektedir. Soylu ve arkadaşlarının bir çalışmasına göre; arayüzey tabakası olarak Ru(II) organik bileşimini kullanarak oluşturdıkları Au/Ru(II)/n-Si diyotunun seri direnç değerleri;



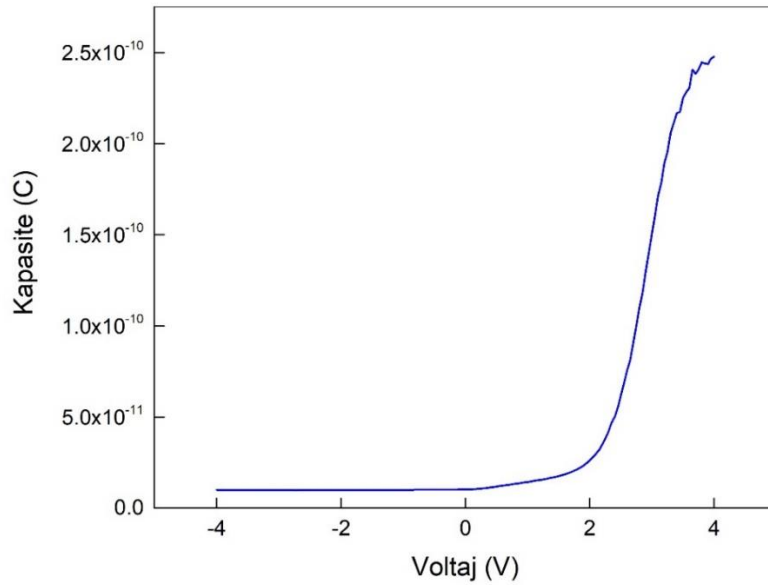
karanlık için 2620  $\Omega$ , 100 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti için 2570  $\Omega$  şeklindedir [30]. Yakuphanoglu ve arkadaşlarına göre ise; arayüzey tabakası olarak organik siklotrifosfazan bileşiğini kullanarak oluşturdıkları Al/ Siklotrifosfazan /p-Si diyotunun seri direnç değerlerini, karanlık için 59220  $\Omega$ , 100 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti için ise 33590  $\Omega$  bulmuşlardır [35]. Araştırmalara göre, seri direnç değerleri k $\Omega$  mertebesinde ve bu durum bizim sonuçlarımızla da paralellik göstermektedir.

#### 4.3. Organik Arayüzey Tabakası Kalınlığının Hesaplanması

Yarıiletken ile doğrultucu kontak arasında büyütülen organik arayüzey tabakasının kalınlığı denklem 4.4’de verilen eşitlik kullanılarak bulunmuştur.

$$C_{org} = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{\delta} \quad (4.4)$$

Denklemde verilen,  $\epsilon_i$  arayüzey tabakası geçirgenliği sabiti,  $\epsilon_0$  boşluğun geçirgenlik sabiti,  $\delta$  organik arayüzey tabakası kalınlığı ve A ise etkin yüzey alanıdır. Arayüzey tabakasının kalınlığı şekil 4.5’deki  $C_{org} = 2,47798 \times 10^{-10}$  alınarak denklem 4.4 kullanılarak  $3,37 \times 10^{-5}$  (33,7 nm) hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun 1 MHz’de Kapasite-Voltaj grafiği

#### 4.4. Arayüzey Durum Yoğunluğunun Hesaplanması

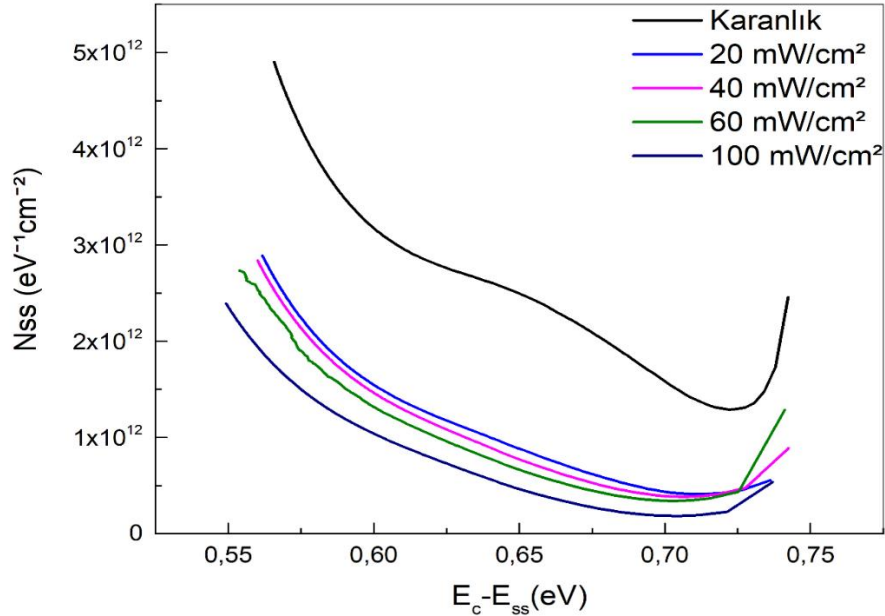
Arayüzey durum yoğunluğu ( $N_{ss}$ ), doğru beslem I-V ölçümlerinden,  $\phi_b$  'nin değeri göz önüne alınarak, enerjinin ( $E_c - E_{ss}$ ) bir fonksiyonu olarak elde edilir. Arayüzey tabakası, yarıiletken ile arayüzey tabakası arasında ortaya çıkmaktadır ve bu arayüzey durumları diyot parametrelerini etkilediklerinden dolayı idealite faktörünün esas değeri olan  $n=1$  değerinden sapmalara neden olmaktadır. Arayüzey durum yoğunluğu eşitliği;

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left( \frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{w_D} \right) \quad (4.5)$$

Enerji farkı eşitliği ise;

$$E_c - E_{ss} = q(\phi_b - V) \quad (4.6)$$

Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotuna ait karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altındaki  $N_{ss} - (E_c - E_{ss})$  grafiği Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki  $N_{ss} - (E_c - E_{ss})$  grafiği

Hesaplamalara göre; aydınlatma şiddeti arttıkça, arayüzey durum yoğunluğu azalmıştır. Literatür araştırılmış olup, incelendiğinde; Pakma ve arkadaşları' na göre Coronene organik arayüzey tabakası kullanılarak oluşturulan Al/Coronene/n-Si diyotunun arayüzey durum yoğunluğu değerleri karanlıkta  $4,76 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  ile  $1,32 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  arasında,  $100 \text{ mW/cm}^2$  aydınlatma şiddeti değeri için  $3,15 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  ile  $5,04 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  aralığında bulmuşlardır [36].



## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmamızda; n tipi Si kristali kullanılmıştır. Bu kristalin özellikleri şöyledir: 500  $\mu\text{m}$  kalınlıklı, (100) yüzey yönelimli, 20  $\Omega\text{-cm}$  öz dirence sahiptir. NAMA organik bileşiği spin kaplama (spin coating) yöntemi ile ince film olarak büyütülerek Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotu oluşturulmuştur. Üretilen diyotun elektriksel karakteristiğini incelemek için oda sıcaklığında, karanlıkta ve farklı aydınlatma şiddetlerinde I-V ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümlerle diyot parametreleri hesaplanmıştır.

Üretilen Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun I-V ölçümleri karanlık ve dört farklı aydınlatma şiddeti (20-40-60-100  $\text{mW/cm}^2$ ) için -2V ile +2V aralığında alınmıştır.  $\ln I$ -V eğrisine göre ters beslem bölgesinde bir doyum akımının olduğu, doğru beslem bölgesinde ise ideallikten sapmalar gözlemlenmiştir.  $\ln I$ -V grafiğine göre, diyotun doğrultucu özellikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Hesaplamalara göre Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun sırasıyla idealite faktörü değeri karanlık ve 100  $\text{mW/cm}^2$  aydınlatma şiddeti için 3,54 ve 1,39 bulunmuştur. Engel yüksekliği değeri karanlık ve 100  $\text{mW/cm}^2$  için sırasıyla 0,756 eV ve 0,903 eV bulunmuştur. Doyum akımı değeri ise karanlık ve 100  $\text{mW/cm}^2$  için sırasıyla  $6,43 \times 10^{-8} \text{mA}$  ve  $2,17 \times 10^{-10} \text{mA}$  bulunmuştur. Literatürde Au/n-Si Schottky diyotu için engel yüksekliği değeri yaklaşık olarak 0,750 eV olarak rapor edilmiştir. NAMA organik malzemesi Au/n-Si yapısına eklendiğinde engel yüksekliği 0,756 eV bulunmuştur.

Termiyonik emisyon teorisi; ideal diyotlar için idealite faktörü değerini 1 kabul eder. Hesaplanan idealite faktörü değerinin 1'den büyük oluşunu, arayüzey tabakasına, arayüzey durum dağılımlarına, oluşabilecek oksit tabakasına ve seri direnç etkisine bağlıyoruz.  $\ln I$ -V eğrisinden hesapladığımız değerlerde, engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleri arasında lineer bir bağıntı vardır. Aydınlatma şiddetinin artışıyla

idealite faktörü değeri azalırken, engel yüksekliğinde artış izlenmektedir. Yani, yaptığımız Schottky diyotşıkla etkileşime girerek, fotodiyot özelliği gösterebildiği sonucuna varılmıştır.

Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun,  $\ln I-V$  grafiğı incelendiğinde, yüksek voltaj bölümlerinde ideallikten sapmaların oluştuğı ve aşağı doğru bükülmelerin oluştuğı izlenmiştir. Bükülmeler, seri dirençten kaynaklanmaktadır. Çalışmada Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altındaki seri direnç değerleri Cheung ve Cheung metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Seri direnç değeri karanlık ve  $100 \text{ mW/cm}^2$  aydınlatma şiddeti için sırasıyla  $10940 \Omega$  ve  $8281 \Omega$  olarak hesaplanmıştır. Aydınlatma şiddeti arttıkça, seri direnç değeri azalmıştır.

Hazırlanan diyotun arayüzey durum yoğunluğı karakteristiğı, doğru beslem  $I-V$  ölçümleri ve engel yüksekliğinin değeri kullanılarak, enerjinin ( $E_c-E_{ss}$ ) bir fonksiyonu olarak karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri uygulanarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, aydınlatma şiddeti arttıkça arayüzey durum yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak elde edilen Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun farklı aydınlatma şiddetleri altındaki karakteristiğı izlenip, parametreleri hesaplanmıştır. Bu bağlamda oluşturulan Au/NAMA/n-Si/In Schottky diyotunun fotodiyot özelliğı gösterdiği ve optoelektronik uygulamalarda değerlendirilebileceğı öngörülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Sharma, B.L., Metal-semiconductor contacts schottky barrier junctions and their applications, Plenum Press, New York, 1-50, 1984.
- [2] Sze, S. M., Physics of Semiconductor Devices 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 362-390, 1981.
- [3] Nicollian, E.H., & Goetzberg, A., MOS Conductance Technique for Measuring Surface State Parameters, Applied Physics Letters, 7, 8, 216, 1965.
- [4] Card, H.C., & Rhoderick, E.H., Studies of tunnel MOS diodes I. Interface Effects in Silicon Schottky Diodes, Journal of Physics D: Applied Physics, 4, 10, 1589-1601, 1971.
- [5] Çakar, M., Yıldırım, N., Karataş, Ş., Temirci, C., & Turut, A. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Sn/rhodamine-101/n-Si and Sn/rhodamine-101/p-Si Schottky barrier diodes, Journal of Applied Physics. 100, 7, 74505-74510, 2006.
- [6] Güllü, Ö., Aydoğan, Ş., & Türüt, A., Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure, Semiconductor Science and Technology, 23, 7, 075005, 2008.
- [7] Tang, M.L., Reichardt, A.D., Wei, P., & Bao, Z., Correlating carrier type with Frontier molecular orbital energy levels in organic thin film transistors of functionalized Acene derivatives, Journal of the American Chemical Society, 131,14, 5264-5273, 2009.
- [8] Ligenza, S., & Spitzer, W.G., The mechanisms for silicon oxidation in steam and oxygen, Journal of Physics and Chemistry Solids, 131-136, 1960.
- [9] Lee, W.H., Lee, S.K., Shin, W.S., Moon S.J., Lee, S.H., & Kang, I.N., Synthesis and photovoltaic properties of new poly (quarterselenophene) and poly (quarterselenophene-alt-quarterthiophene), Solar Energy Materials and Solar Cells, 117, 161–167, 2013.
- [10] Kim, D.Y., So, F. & Gao, Y., Aluminum phthalocyanine chloride/C60 organic photo voltaic cells with high open-circuit voltages, Solar Energy Materials and Solar Cells, 93: 1688 –1691, 2009.

- [11] Forrest, S.R., The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic, *Nature*, 428, 911–918, 2004.
- [12] Guo, Y., Yu, G., & Liu, Y., Functional organic field-effect transistors, *Advanced Materials*, 22, 4427–4447, 2010.
- [13] Ng, T.N., Russo, B., Krusor, B., Kist, R., & Arias, A.C., Organic inkjet-patterned memory array based on ferroelectric field-effect transistors *Organic Electronics: Physics Materials Applications*, 12, 2012–2018.
- [14] Gullu, O., Kilicoglu, T., & Turut, A., Electronic properties of the metal/organic interlayer/inorganic semiconductor sandwich device, *Journal Physical Chemistry Solid*, 71, 351–356. 2010.
- [15] Pakma, O., Cavdar, Ş., Koralay, H., Tuğluoğlu, N., & Yüksel Ö.F., Improvement of diode parameters in Al/n-Si Schottky diodes with Coronene interlayer using variation of the illumination intensity, *Physica B: Condensed Matter*, 527, 1–6, 2017.
- [16] Rhoderick, E.H., *Metal–Semiconductor Contacts Electrical & Electronic Engineering Monographs*, Oxford University Press, Oxford, 1978.
- [17] Donati, S. *Photodetectors: devices, circuits and applications*, Prentice Hall., 1999.
- [18] Uzun, A. *Mikroişlemciler Arası Optik Yolla Haberleşme*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, ,2002.
- [19] Sze, S. M., *Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductor Devices* 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 250-270, 1981.
- [20] Rhoderick, E. H., & Williams, R. H., *Surfaces, Interfaces, and Schottky Barriers, Metal-Semiconductor Contacts* 2 nd ed., Clarendon Press, Oxford, 1-47, 1988.
- [21] Nicollian, E. H., & Brews, J. R. *Experimental evidence for interface trap properties, MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) Physics and Technology*, John Willey and Sons, New York, 285-318, 1982.
- [22] Cowley, A.M., & Sze, S.M., *Surfaces state and barrier height of metal-semiconductor systems*, *Journal of Applied Physics*, 36, 10, 3212-3216, 1965.
- [23] Sze, S.M., & Kwok K.N., *Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductor Devices*, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 245-300, 2007.
- [24] Braun, F., *Über die stromleitung durch schwefelmetalle*, *Annual Physical Chemistry*, 229, 556-563, 1874.

- [25] Sharma, B. L. Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their Applications, Plenum Press, New York, 1984.
- [26] Neamen, D. A., Semiconductor Physics and Devices 2nd ed., Mc Graw-Hill, New York, 517-523, 1997.
- [27] Cheung, S. K., & Cheung, N.W. Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, Applied Physical Letters, 49, 85-87, 1986.
- [28] Kallmann, H., & Pope, M. Photovoltaic effect in organic crystals, The Journal of Chemical Physics, 30, 585-591, 1959.
- [29] Farag, A.A.M., & Yahia, I.S. Rectification and barrier height inhomogeneous in rhodamine B based organic schottky diode, Synthetic Metals, 161, 32-39, 2011.
- [30] Deng, X.Y., Zheng, L.P., Yu, G., & Cao, Y. Polymer heterojunction photodiodes with MEHPPV doped with organic acceptors, Synthetic Metals, 135-136, 823-824, 2003.
- [31] Singh, A., Characterization of interface states at Ni/n Cd, Schottky barrier type diodes and the effect of CdF<sub>2</sub> surface preparation, Solid-State Electronics, 28, 223-232, 1985.
- [32] Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., & Tataroğlu, A. The Role of interface states and series resistance on the I-V C-V characteristics in Al/SnO<sub>2</sub>/p-Si schottky diodes, Solid State Electronics, 47, 1847-1854, 2003.
- [33] Fiat Varol S., Sayin, S., Eymur, S., Merdan, Z., & Ünal, D. Optical performance of efficient blue/near UV nitropyridineconjugated anthracene (NAMA) based light emitting diode, Organic Electronics, 31, 25-30, 2016.
- [34] Al-Senany, N., Al-Ghamdi, A., Farooq, W.A., & Yakuphanoglu, F. Structural, electrical and photoresponse properties of Si-based diode with organic interfacial layer containing novel cyclotriphosphazene compound, Silicon, 10, 683-691, 2016.
- [35] Soyulu, M., Tataroğlu, A., Ocaya, R., Dere, A., Dayan, O., Şerbetci, Z., Abdullah, G., Al-Sehemi, A., Al-Ghamdi, A., & Yakuphanoglu, F. Ruthenium (II) complex based photodiode for organic electronic applications, Journal of Electronic Materials, 47, 828-833, 2018.
- [36] Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., & Tataroğlu, A. The role of interface states and series resistance on the I-V C-V characteristics in Al/SnO<sub>2</sub>/p-Si Schottky Diodes, Solid-State Electronics, 47, 1847-1854, 2003.



## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 yılında Giresun’ da doğdu. Cumhuriyet ilkokulu’nu tamamlayıp, ortaokul ve liseyi Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimini tamamladı. 2008 yılından beri maden mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2015 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.