T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEYİ NANO BOYUTTA KENDİLİĞİNDEN TOPLANAN TEKLİ TABAKA (SAM) MOLEKÜLÜ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ ORGANİK ARAYÜZEYLİ SİLİSYUM TABANLI SCHOTTKY DİYOTLARIN İNCELENMESİ

Başak Aslıhan BAĞCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı

Şubat-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Başak Aslıhan BAĞCI tarafından hazırlanan "Yüzeyi Nano Boyutta Kendiliğinden Toplanan Tekli Tabaka (SAM) Molekülü ile Modifiye Edilmiş Organik Arayüzeyli Silisyum Tabanlı Schottky Diyotların İncelenmesi" adlı tez çalışması 03/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Mahmut KUŞ	……..
Danışman Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL	……..
Üye Prof. Dr. İmren Hatay PATIR	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Başak Aslıhan BAĞCI

Tarih: 03/02/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜZEYİ NANO BOYUTTA KENDİLİĞİNDEN TOPLANAN TEKLİ TABAKA (SAM) MOLEKÜLÜ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ ORGANİK ARAYÜZEYLİ SİLİSYUM TABANLI SCHOTTKY DİYOTLARIN İNCELENMESİ

Başak Aslıhan BAĞCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

2021, 86 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
Prof. Dr. Mahmut KUŞ
Prof. Dr. İmren Hatay PATIR

Metal/yarıiletken kontaklar diğer bir deyişle Schottky diyotlar, metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey durumlarına bağlı olarak farklı elektriksel özellikler göstermektedir. Çeşitli yollarla bu mekanizma kontrol edilebilmektedir ve uygulamaların çoğunda bu özelliklerin kontrol edilmesi oldukça önem taşımaktadır. Metal/yarıiletken arayüzeylerde organik bir malzeme kullanılması son yıllarda sıkça karşılaşılan bir yöntemdir. Bu konudaki araştırmalar, literatürde çok sayıda mevcuttur.

Bu çalışmada n-tipi ve p-tipi silisyum yarıiletken yüzeyi kendiliğinden toplanan tekli tabaka (SAM) tek katman olarak kaplanarak modifiye edilmiş ve bu yüzey p ve n tipi organik yariletkenlerle kaplanarak oluşturulmuş olan Schottky diyodun karakterizasyonu yapılmıştır. Diyodun, I-V ölçümleri alınarak yapıya ait elektriksel özellikler incelenmiştir. I-V ölçümleri oda sıcaklığında alınıp arayüzeylerin elektriksel özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. I-V sonuçlarına göre, potansiyel engel yüksekliği (Φ_B), idealite faktörü (n), aygıtın seri direnci (R_s) gibi parametreler belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında yüzeyi modifiye edilmiş Si ile modifiye edilmemiş Si'dan elde edilen diyotların karşılaştırması yapılmıştır. SAM tekniğinin etkisi detaylandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: idealite faktörü, n-tipi silisyum, organik arayüzey, p-tipi silisyum, potansiyel engel yüksekliği, SAM, schottky diyot, seri direnç.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SCHOTTKY DIODES, WHİCH ARE BASED-SILICON, AT THE INTERFACE OF ORGANIC WHOSE SURFACE MODIFIED WITH NANO SIZE SELF ASSEMBLED MONOLAYER (SAM) MOLECULES

Başak Aslıhan BAĞCI

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN NANOTECHNOLOGY AND ADVANCED MATERIALS

Advisor: Prof.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

2021, 86 Pages

Jury
Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
Prof. Dr. Mahmut KUŞ
Prof. Dr. İmren Hatay PATIR

Metal/semiconductor contacts, in other words Schottky diodes, show different electrical properties depending on the interface states between the metal and the semiconductor. This mechanism can be controlled in various ways, and, in most applications it is essential to control these properties. The use of an organic metarial in metal/semiconductor interfaces is a common method in recent years. Researches on this subject is available in large numbers in the literature.

In this study, n-type and p-type Silicon semiconductor surfaces were modified by coating a single layer via Self Assembled Monolayer (SAM) techniques and Schottky diodes were fabricated with p and n type organic semiconductors and characterized. The electrical properties of the structure was be examined by taking I-V measurements of the diode. I-V measurements were be taken at room temperature. According to the I-V results, parameters such as potential obstacle height (Φ_B), ideality factor (n), serial resistance of the device (Rs) was be determined. In this study, the comparison of diodes from Si with unmodified Si was be compared. The effect of SAM technique was be detailed.

Keywords: ideality factor, n-type silicon, organic interface, p-type silicon, potential obstacle height, SAM, schottky diode, serial resistance.

ÖNSÖZ

Yalnızca bu tez çalışmasında değil kariyerime yön vereceğim her aşamada hem bilimsel çapta hem de manevi boyutta büyük bir özveri ile bana emeklerini layık gören saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mahmut KUŞ'a sonsuz minnet, teşekkür, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Danışmanlığımı üstlenen yüksek lisans eğitimim boyunca bütün imkânlarını ve anlayışını benim için kullanan saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunmamda jüri üyesi olan Prof. Dr. İmren Hatay PATIR'a tez çalışmalarımı sabır göstererek inceleyip verdiği tavsiyeler ve yönlendirmeler için, deneyimlerini benimle paylaştığı için teşekkürü bir borç bilirim.

Fizik bilgisini tüm açıklığı ile benimle paylaşan, teorik ve araştırma çalışmalarımda deneyimlerini sabırla bana aktaran gece gündüz demeden benim için çaba harcayan Dr. Ümmühan AKIN'a teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarımda değerli vakitlerini benim için ayıran, her türlü teknik ve bilimsel yardımı bana sağlayan, desteklerini hep hissettiğim sevgili arkadaşlarım Öğr. Gör. Sümeyra BÜYÜKÇELEBİ ve Dr. Esma YENEL'e açık yüreklilikleri için teşekkürlerimi sunarım.

Hem teorik hem deneysel çalışmalarımda bana destek ve kaynak sağlayan, zaman ve deneyimini benden esirgemeyen sevgili Dr. Çisem Kırbıyık KURUKAVAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı kendi çalışması kadar benimseyen her yaşadığım aksilik ve sorunu benim kadar önemseyip çözmemde bana yardım eden sevgili arkadaşım Gamze DÖLEK'e samimi dostluğu ve paylaşımcılığı için teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana teknolojik imkanlar ve malzeme kaynakları sağlayan Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi ailesine teşekkür etmek isterim.

Son olarak eğitim sürecim boyunca maddi ve manevi tüm imkanlarını benim için kullanan, kendi ayaklarım üzerinde durmayı öğrenmemde ve gelişmemde bana desteğini sağlayan sevgilimi aileme, özellikle varlığıyla bana güç veren canım annem Filiz BAĞCI'ya, süreçlerimi her zaman yakından takip eden babam Rıza BAĞCI'ya, sadece kardeş değil bana dost olan Murat Ekrem BAĞCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilim ve teknolojiye gönül vermiş tüm araştırmacılara başarılar temenni ederim.

Başak Aslıhan BAĞCI
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. İletkenlik Kavramı 2

1.2. Yarıiletken Tipleri 4

1.2.1. Doğal yarıiletkenler 5
1.2.2. Katkılı yarıiletkenler 9
1.2.3. Organik yarıiletkenler 13

1.3. Diyot Kavramı 16

1.3.1. Diyot çeşitleri 17

1.4. Diyot Karakteristikleri 18

1.4.1. Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri 19

1.5. Schottky Diyotlar (Metal/Yarıiletken Kontaklar) 20

1.6. Metal/P-Tipi Yarıiletken Kontaklar 22

1.7. Metal/N-Tipi Yarıiletken Kontaklar 24

1.8. Schottky Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları 26

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **29**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **33**

3.1. Kullanılan Kimyasallar ve Çözeltilerin Hazırlanması 33

3.2. Kaplama Teknikleri ve Kullanılan Cihazlar 34

3.2.1. Spin (döngüsel) kaplama yöntemi 34
3.2.2. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi 35
3.2.3. Kullanılan cihazlar 36

3.3. Numunelerin Hazırlanması 36

3.3.1. Omik metal kontak oluşumu 38
3.3.2. SAM molekülü kaplama 42
3.3.3. Organik yarıiletken (PCBM ve P3HT) kaplama 42

3.3.4. Doğrultucu metal kontak oluşumu 44

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 47

4.1. Hazırlanan Schottky Diyotların I-V Karakteristikleri 47

4.2. Cheung-Cheung Modeli Yardımıyla I-V Karakteristikleri 57

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 68

5.1 Sonuçlar 68

5.2 Öneriler 69

KAYNAKLAR 70

ÖZGEÇMİŞ 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}C$	: Santigrat derece
2-OMe	: 3,5-dimetoksi fenil boronik asit
A	: Amper
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Au	: Altın
Å	: Angström
A^*	: Etkin Richardson sabiti
APABA	: 4,(4‘-aminofenilazo) benzoik asit
C	: Coulomb
C_2H_5OH	: Etanol
C_3H_6O	: Aseton
C_3H_8O	: İzopropanol
C_6H_{14}	: Hegzan
CH_3OH	: Metanol
Cu	: Bakır
CuPc	: Bakır Ftalosiyanin
d	: Elektron boşluğu (deşik) temel yükü
dV/d(lnI)	: Birinci Cheung fonksiyonu
e	: Elektron temel yükü
E	: Enerji
E_a	: Alıcı atom enerji seviyesi
E_c	: İletim bandı enerji seviyesi
E_d	: Verici atom enerji seviyesi
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_{fm}	: Metalin fermi enerji seviyesi
E_{fyi}	: Yarıiletkenin fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletken yasak enerji bant aralığı
E_v	: Değerlik (valans) bandı enerji seviyesi
Ge	: Germanyum
HF	: Hidroflorik asit
H(I)	: İkinci Cheung fonksiyonu
I	: Akım
I_0	: Doyma akımı
I_d	: Diyot akımı
I_f	: İleri yön akımı
I_R	: Ters yön akımı
In	: Indiyum
InP	: Indiyum Fosfit
J	: Akım yoğunluğu
J_0	: Doyma akım yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti
K	: Kelvin
n	: İdealite faktörü
n	: Serbest elektron sayısı

N_2	: Azot
Si	: Silisyum
p	: Elektron boşluk sayısı
Pt	: Platin
q	: Elektron yükü
R_s	: Seri direnç
T	: Mutlak sıcaklık
V	: Volt
V_d	: Diyot gerilimi
V_f	: Diyot ileri yön gerilimi
V_R	: Diyot ters yön gerilimi
W_D	: Tüketme bölge genişliği
X_{yi}	: Elektron yatkınlığı
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_{yi}	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_B	: Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bo}	: Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
μ_d	: Elektron boşluğu (hole) mobilitesi
μ_e	: Serbest elektron mobilitesi
σ	: Öz iletkenlik

Kısaltmalar

μm	: Mikrometre
A	: Alan
AE	: Alan emisyonu
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
cm	: Santimetre
dev/dk	: Devir/dakika
DMSO	: Dimetilsülfoksit
DSSC	: Boya duyarlı güneş pilleri
eV	: Elektron volt
g	: Gram
I	: Akım
I-V	: Akım-Gerilim
LED	: Işık yayan diyot
ln(I-V)	: Logaritmik akım-gerilim
M	: Molarite
MEH-PPV	: Poli [2-metoksi-5- (2-etil) heksoksi-fenilenvinilen]
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
MnHA	: Manganez hekzamidin
nm	: Nanometre
ns	: Nanosaniye
n-Si	: N-tipi silisyum
n-GaAs	: N-tipi galyum arsenit
NIG	: Nigrosin

OFET	: Organik alan etkili transistörler
OLED	: Organik ışık yayan diyotlar
OXZ	: Oksazinin
P3HT	: Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)
PCBM	: 6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester
ps	: Pikosaniye
p-Si	: P-tipi silisyum
PPy	: Polipirol
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme (Physical Vapour Deposition)
RCA	: Radio Corporation of America
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
SAM	: Kendiliğinden toplanabilen tekli tabaka
sn	: Saniye
TAE	: Termoiyonik alan emisyonu
TE	: Termiyonik emisyon
TED	: Termoiyonik emisyon-difüzyon
V	: Gerilim

1. GİRİŞ

İnce film aygıtlar üzerindeki çalışmalarda yarıiletken malzemelerin kullanımı son yıllarda oldukça sıklaşmıştır. İletkenler yerine yarıiletkenlerin tercih edilmesinin sebebi, malzemelerin elektriksel özelliklerinin kontrol edilebilir olmasıdır. Yarıiletkenlere eklenen maddeler veya iletkenliği etkileyen faktörler değiştirildikçe yarıiletkenin iletkenlik derecesinde değişiklikler sağlanabilmektedir.

Yarıiletken aygıtlarda genelde silisyum (Si) metali tercih edilmektedir. Bunun sebebi inorganik yarıiletken olan Si metalinin doğada bol miktarda bulunması, ekonomik olması ve yüksek sıcaklıklarda daha kararlı olmasıdır.

Schottky diyotlar metal/yarıiletken kontaklardan oluşmaktadır ve bu diyotlarda kontakların elektriksel özelliklerini değiştiren arayüzey malzemelerinin cinsi de büyük önem taşır. İdealite faktörü, engel yüksekliği, arayüzey enerjisi, iş fonksiyonu gibi birçok parametre; kullanılan arayüzey malzeme türüne bağlıdır ve metal/yarıiletken yapıların arayüzey kalitelerini yorumlamamızda yardımcıdır. Metal/yarıiletken kontakların karakteristik özelliklerindeki değişimleri gözlemlemek için birçok araştırmacı arayüzey malzemesini organik yarıiletkenlerden seçmektedir.

Organik yarıiletkenler Van der Waals bağları ile bağları içermektelerdir. Bu zayıf bağlar organikleri inorganik yarıiletkenlere göre daha kararsız yapmaktalardır. Kararsızlık sayesinde organik yarıiletkenler elektriksel karakterizasyonlarını etkileyen değiştirilebilir ve dönüştürülebilir modifiye uygulamalarına açıklardır.

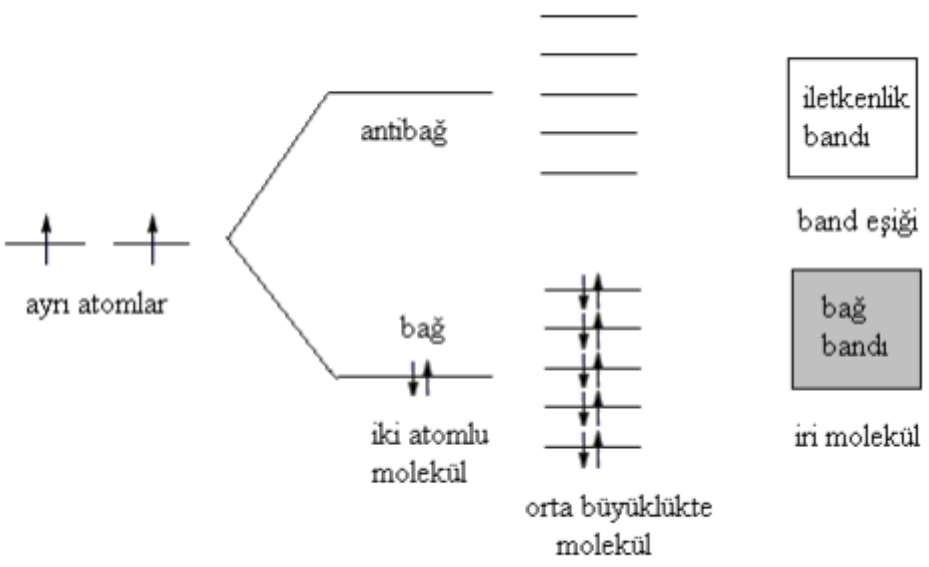
Bu tezin deneysel çalışmalarında 2 çeşit organik arayüzeyin kombinasyonlu şekilde Si metallerine kaplanmış olan Schottky diyotların, kendiliğinden toplanan tekli tabaka (SAM) molekülünün modifiye edilmesiyle oda sıcaklığında, elektriksel özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada alt taban olarak n-Si ve p-Si metalleri seçilmiştir. Omik kontak için n-tipi silisyum (n-Si) tabanlı numunelere indiyum (In), p-tipi silisyum (p-Si) tabanlılara ise alüminyum (Al) fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile kaplama yapılmıştır. Organik arayüzey olarak Poli(3-hekziltiyofen-2,5-diil) (P3HT) ve 6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM) kullanılmıştır. Omik kontak atılmış n-tipi ve p-tipi silisyumlara organik arayüzeyler kaplanmıştır. Bazılarına SAM molekülleri kaplanarak 8 farklı numune elde edilmiştir. Doğrultucu kontak olarak Al kullanılmış ve Schottky diyotlar oluşturulmuştur. Schottky diyotlarda SAM moleküllerinin elektriksel etkileri ölçümlerle incelenmiştir.

Tezin ileriki bölümlerinde diyotların iletkenlik özellikleri, çeşitleri ve karakteristikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca metal/yarıiletken kontak teorileri ile ilgili bilgiler şekillerle detaylandırılmıştır. Schottky diyotların n-Si ve p-Si oluşumları görsellerle desteklenmiştir. Numunelerin hazırlanması için kullanılan cihaz ve kimyasallara ilaveten diyot oluşum aşamalarına da değinilmiştir. Hazırlanan Schottky diyotların oda sıcaklığındaki elektriksel özelliklerinin hesaplanması için gerekli metotlar ve elde edilen sonuçlar grafik ve çizelgelerle sunulmuştur.

1.1. İletkenlik Kavramı

Bir atomun sahip olduğu elektronların elektrik iletebilmesi (yük taşıyan bir nitelik kazanabilmesi) için değerlik bandından ayrılıp iletim bandına geçmeleri gerekmektedir. Eğer bir malzemedeki bütün elektronlar iletim bandına geçmeyip değerlik bantlarında kalmışlarsa bu malzeme yalıtkan malzemedir. Değerlik bandındaki elektronların iletim bandına geçme oranı malzemenin iletkenlik derecesini belirler. Şekil 1.1'de iki atomlu bir molekülün enerji bantları verilmiştir.



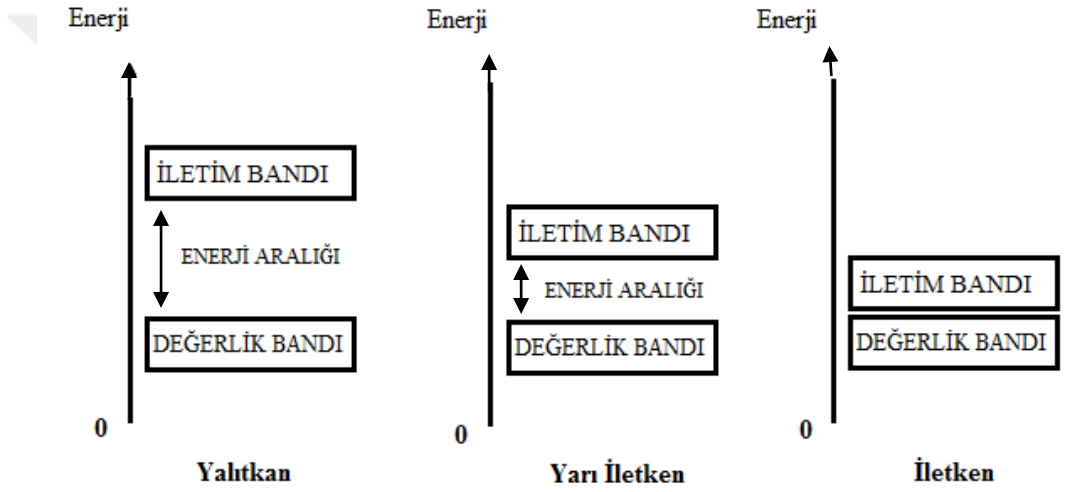
Şekil 1.1. İki atomlu bir molekülün enerji bant seviyesi (Aydin, 2007)

Bir malzemenin değerlik bandı ile iletim bandı arasındaki mesafe yaklaşık 2 eV (elektron volt)'tan daha düşük ise bu malzemelerdeki elektronların ısı ve ışık gibi enerjiler ile değerlik bandından iletim bandına geçmesi mümkün olabilir. Isı, ışık, basınç, akım,

manyetik etki alanı ve gerilime bağlı olarak yalıtkan durumundan iletken durumuna geçen malzemelere yarıiletken malzemeler denir. Yalıtkan malzemelerde bant aralığı 3 eV'dan daha yüksektir (Çetin, 2013c)

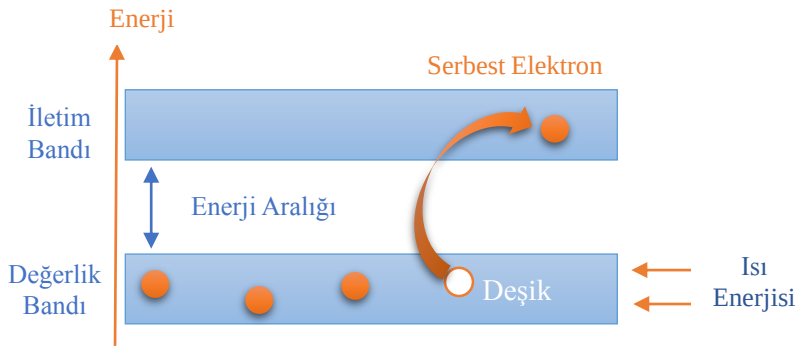
İletim ve değerlik bandı arasındaki alana enerji boşluğu veya enerji aralığı (band gap) denir.

Maddelerin elektriksel iletkenliği 1 santimetreküp (cm^3)'teki serbest elektron miktarına göre iletken, yalıtkan ve yarıiletken olarak da sınıflandırılabilir. İletken, yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin enerji bantlarına dair şematik bir görünüm aşağıda Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken maddelerde bant aralığı (Aydin, 2007)

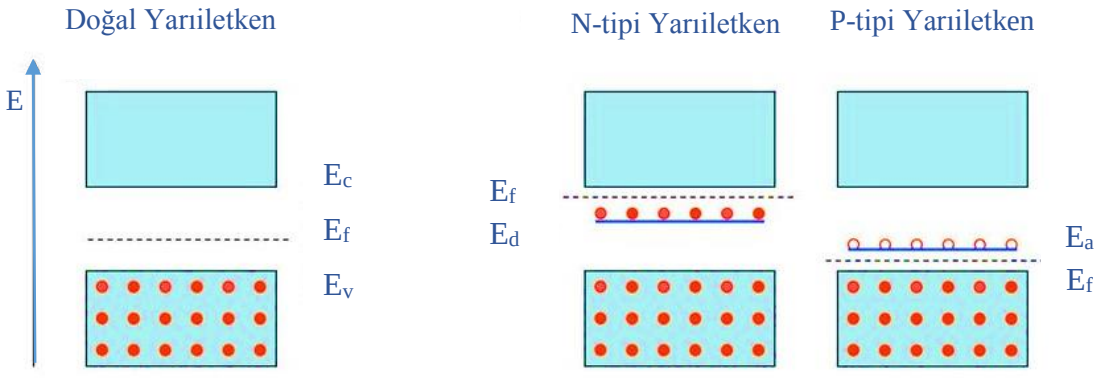
İletken malzemelere örnek vermek gerekirse bakır (Cu), altın (Au), gümüş (Ag), platin (Pt) gibi malzemeler yüksek iletkenliğe sahip olup bant şekilleri Şekil 1.3'te gösterilen iletken malzemelerinki gibidir. Değerlik bandındaki elektronlar iletim bandının değerlik bandına çok yakın ya da bir diğer anlamda iç içe geçmiş olmasından dolayı kolaylıkla iletim bandına geçebilir. Böylece hiçbir dış etki gerektirmeksizin bu malzemeler elektrik akımını iletebilirler. Yarıiletken malzemelere örnek olarak katkılanmış Si, germanyum (Ge), galyum gibi malzemeler örnek verilebilir. Bu malzemelerde iletkenlik bandı ile değerlik bandı arasındaki mesafe çok küçük (2 eV'dan daha küçük) olduğundan küçük bir etki ile değerlik elektronları iletkenlik bandına geçebilir. Yalıtkan malzemelere örnek olarak alüminyum oksit gibi malzemeler verilebilir. Yalıtkan malzemelerde bant aralığı o kadar büyüktür ki elektronların iletim bandına geçmeleri oldukça güç hale gelmiştir.



Şekil 1.3. Hareketli bir silisyum atomundaki bir elektron boşluğunun oluşmasında enerji diyagramı (Aydin, 2007)

1.2. Yarıiletken Tipleri

Yarıiletken malzemeler günümüz elektronik uygulamalarının vazgeçilmez bir alanını oluşturmaktadır. Bu nedenle yarıiletken kavramını anlamak önem arz eder. Yarıiletken malzemeler iki sınıfa ayrılır. Doğal (özgün) ve katkılı (p-tipi ve n-tipi) olarak sınıflandırılan yarıiletkenlerde bu sınıflama fermi enerji düzeyine göre belirlenmiştir. Fermi enerji düzeyi bir malzemede elektronların bulunma ihtimali olan maksimum enerji seviyesi olarak basitçe tanımlanabilir. Şekil 1.4'te yarıiletkenlerin tiplerine göre bant şekilleri verilmiştir. Şekildeki E enerji miktarı, E_c iletim bandı enerji seviyesi, E_f fermi enerji seviyesi, E_v değerlik bandı enerji seviyesi, E_d verici atomun enerji seviyesi, E_a alıcı atom enerji seviyesi anlamına gelmektedir.



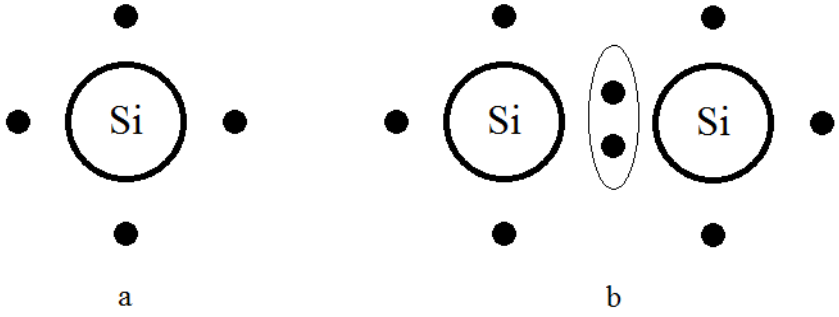
Şekil 1.4. Doğal, n-tipi ve p-tipi yarıiletkenlerin enerji bant yapıları.

P-tipi bir yarıiletkende fermi düzeyi değerlik bandına yakınken n-tipi yarıiletkende fermi düzeyi iletim bandına yakındır. Doğal yarıiletkenlerde ise fermi

düzeyinin değerlik bandı ve iletkenlik bandının ortasına tekabül ettiği varsayılır. Örnek vermek gerekirse Si kristaline katkılanan malzeme türüne göre n-tipi ya da p-tipi yarıiletken elde edilebilir.

1.2.1. Doğal yarıiletkenler

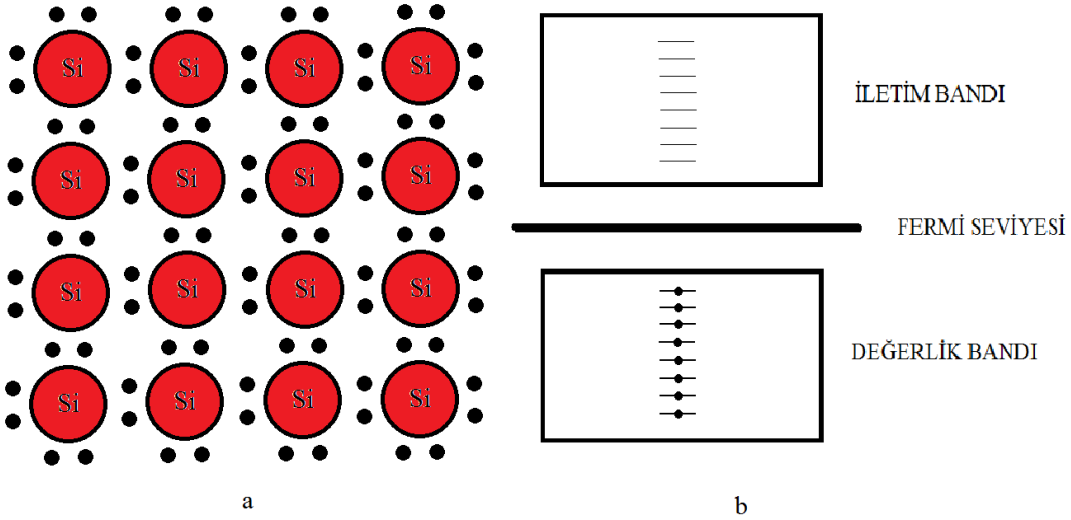
Son yörüngesinde 4 tane değerlik elektron bulunduran Si atomu Şekil 1.5.a'da, kovalent bağ yapısı Şekil 1.5.b'de gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Si^{4+} (a) atom modeli, (b) kovalent bağ yapısı

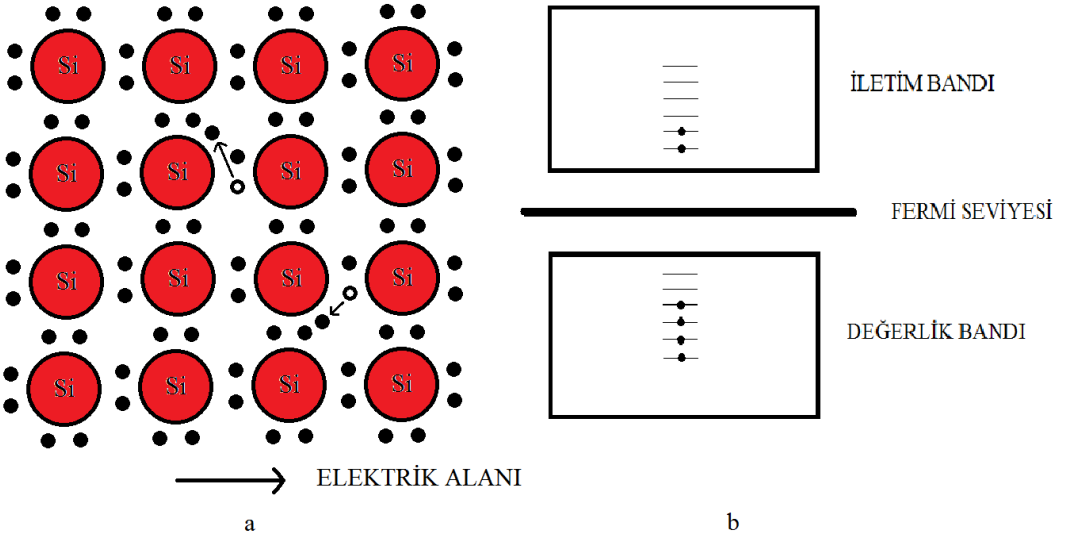
Değerlik elektron sayısının 4 olması aynı zamanda değerlik bandında her bir atom için 4 tane elektron var demektir. Bir çok Si atomu bir araya gelerek Şekil 1.6.a'daki gibi bir kristal yapı meydana getirir (Çetin, 2013b).

Şekil 1.6.a'daki kırmızı küreler silisyum atomlarını, siyah küçük küreler de değerlik elektronlarını temsil etmektedirler. Kristal yapıda her bir silisyum atomunun etrafında 8 tane elektron mevcuttur ve kimyasal açıdan kararlı haldedirler. Bütün elektronlar atomlara bağlanmış durumdadır, yani serbest elektron barındırmamaktadır. Bu durum bütün elektronların değerlik bandında olduğunu ifade eder. Fermi seviyesinin üzerine çıkan herhangi bir elektron mevcut değildir (Çetin, 2013b).



Şekil 1.6. Silisyum metalinin (a) kristal yapısı, (b) bant yapısı

Doğal yarıiletkenlerde fermi seviyesi Şekil 1.6.b'de görüldüğü gibi enerji bant aralığının ortalarına denk gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda yalıtkan haldeki bu kristali ısıtırsak ve bir elektrik akımına maruz bırakırsak birkaç elektron, aldıkları enerji ile uyarılarak iletim bandına geçip serbest elektron statüsü kazabilirler (Çetin, 2013b).



Şekil 1.7. Elektrik alanı uygulanmış (a) silisyum kristali, (b) enerji bant yapısı

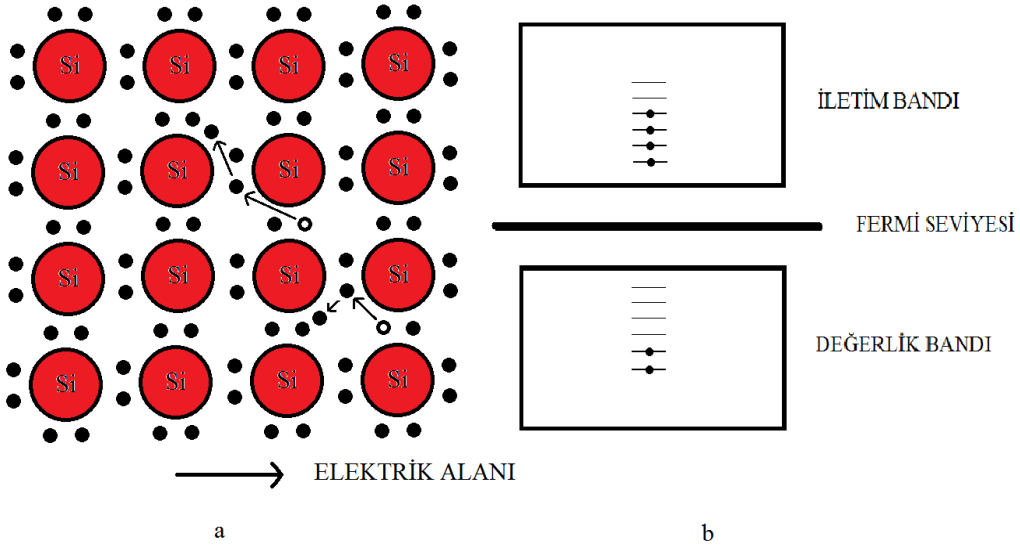
Şekil 1.7'de elektrik alanı uygulanmış silisyum kristali ve enerji bant yapısı gösterilmiştir. Şekil 1.7.a'da elektrik alanı sağ tarafa doğru uygulandığı için elektronlar sol tarafa doğru hareket eğilimi göstermektedirler. Elektronlar, iletim bandına geçebilecek enerjiyi edindikten sonra kovalent bağdan ayrılıp elektrik akımının tersi yönünde kristal arası konumlarda gezinerek hareket etmeye başlar. Bu durum Şekil

1.7.b'de elektronun değerlik bandından ayrılıp iletim bandına geçtiğini göstermektedir. Atomdan ayrılan elektron, elektrik alanından etkilenip hızlanmaya başlayabilir. Farklı engellere çarparak saçılmalar yapacaktır ancak net hareketi elektrik alanının tersi yönünde olacaktır. Bu durumda da elektrik akımı ortaya çıkaracaktır (Çetin, 2013b).

Bir kristal yapıda kafes noktalarında duran atomlardan bir tanesi kendi konumundan ayrıldığı zaman geride bir boşluk bırakır. Benzer şekilde bir elektron da kendi konumundan ayrıldığı zaman geride bir boşluk bıraktığı düşünülür. Bu boşluğun adına da elektron deşiği denir. Elektron deşiği de elektron gibi bir parçacık olarak değerlendirilir ve onlar da elektron yüküne sahiptir (Çetin, 2013b).

Bir elektronun elektrik yükünü temel yük üzerinden tarif ederiz. Bir elektronun temel yükü (e) -1.602×10^{-19} C (coulomb) değerindedir. Şekil 1.7.a'daki gibi gösterilen deşik de oradan ayrılan elektronun temel yüküne eşit değerde olarak pozitif elektrik yüklü olduğu düşünülür. Eksi yüklü bir parçacık ayrıldığı için gerisinde bıraktığı deşiğin temel yükü (d) $+1.602\times10^{-19}$ C değerindedir (Çetin, 2013b).

Elektrik alanı uygulanan kristalde elektronlar elektrik alanına ters yönde hareket ettiği için deşikler de artı yüklü bir parçacık olarak değerlendirilerek elektrik alanı yönünde hareket ettiği kabul edilir. Bir elektronun bıraktığı boşluğa sol tarafındaki bir atomdan ayrılan başka bir elektron yerleşir. Elektronlar elektrik akımının tersi yönünde elektron deşiklerine yerleşerek ilerler. Bu durumda elektron boşluklarının elektrik alanı yönünde ilerlediğini düşünebiliriz (Çetin, 2013b).



Şekil 1.8. Elektrik alanı uygulanmış silisyum kristalindeki (a) elektron ve boşlukların hareketi, (b) enerji bant yapısı

Şekil 1.8.a'daki gibi elektron deşikleri elektronlarla yer değiştirerek elektrik akımına katkıda bulunurlar ve enerji bant yapıları Şekil 1.8.b'deki hali alır. Deşikler sayesinde belli atomlara bağlanmış elektronlar da elektrik alanına ters yönde hareket edebilirler. Bu sebeple bir yarıiletkenin öz iletkenliği değerlendirilirken bu deşiklerin de katılımı hesaba katılmalıdır.

Bir metalin öz iletkenliği değerlendirilirken serbest elektronların mobilitesi (μ_e), her bir elektronun mutlak değerdeki temel yükü (e), serbest elektronların sayısı (n) ele alınır. Bir yarıiletken söz konusu olduğu zaman bir metalin öz iletkenliği parametrelerine ilave olarak deşiklerin mobilitesi (μ_d), deşiklerin elektrik yükü (d) ve toplam deşik sayısı (p) hesaba katılır.

Öz iletkenlik formülü;

$$\sigma = \mu_e|e|n + \mu_d|d|p \tag{1.1}$$

halindedir.

Katkılama yapılmamış bir Si kristalinde her bir serbest elektron kendi konumundan ayrıldığı zaman geride yine kendi sayısı kadar deşik bırakacağından n ve p değerleri birbirine eşittir (Çetin, 2013b).

Doğal yarıiletkenler için formül;

$$\sigma = |e|n(\mu_e + \mu_d) = |d|p(\mu_e + \mu_d) \tag{1.2}$$

şeklinde ifade edilir.

Ticari uygulamalarda kullanılan yarıiletkenlere genellikle yabancı maddeler eklenerek iletkenlik özelliği üzerinde daha net bir kontrol sağlanır. Bunların bazılarında iletkenlik baskın olarak serbest elektronların hareketiyle sağlanır. Serbest elektron sayısının daha fazla olduğunu belirtmek için bunlara n-tipi yarıiletken adı verilir (Çetin, 2013b).

Bir diğer grupta ise iletkenlik baskın olarak deşik hareketiyle sağlanır. Elektron deşiği sayısının daha fazla olduğunu belirtmek için de bunlara p-tipi yarıiletken adı verilir (Çetin, 2013b).

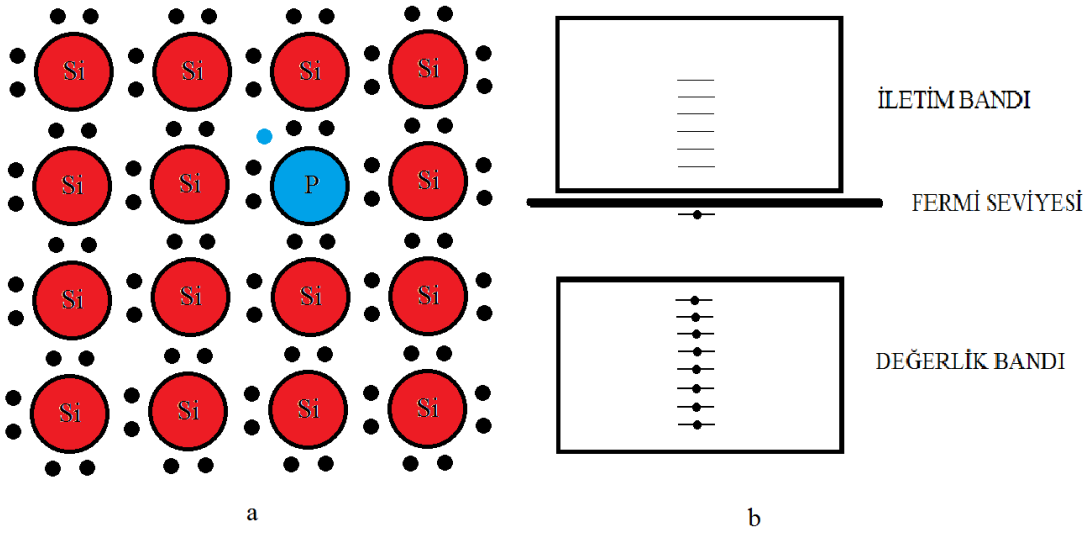
1.2.2. Katkılı yarıiletkenler

Si ve Ge gibi elementler kendiliğinden yarıiletken özelliği gösterseler de bu elementlerin içine çok az miktarda farklı elementler katkılayarak yani alaşımlayarak onların yarıiletkenlik özelliği geliştirilebilir ve kontrol edilebilir bir hale getirilebilir. Bu işlemin adına katkılama denir. Doping olarak da bilinen bu işlem performans arttırmak amacı taşır (Çetin, 2013d).

N-tipi yarıiletkenler ve eksi (-) yüklü elekronların hareketleri

Son yörüngesinde 5 elektron bulunduran maddeler Ge veya Si maddelerine belli bir oranda katılmasıyla n-tipi yarıiletkenler oluşur. Antimuan, arsenik, fosfor gibi maddelerin son yörüngesinde 5 elektron vardır.

Silisyuma fosfor gibi 5 bağ yapabilen bir malzemenin silisyum kristal destek maddesi içine girmesi bir bağ fazlalığına yani elektron fazlalığına neden olacağından negatif yük taşıma kısaca n-tipi bir yarıiletken özellik kazanımına neden olur.



Şekil 1.9. Forfor katkılanmış silisyum (a) kristali, (b) enerji bant yapısı

Şekil 1.9.a'da gösterildiği gibi silisyum kristaline fosfor elementi katkılanarak performans arttırma yoluna gidilmiştir. 4 değerlik elektronu olan Si atomlarının arasına mavi ile gösterilmiş 5 değerlik elektronu olan fosfor elementi yerleştirilmiştir. 1 tane fazladan elektron, kristal yapı içinde kovalent bağa katılamaz fakat serbest elektron statüsünde değildir. Elektrik akımına katkı sağlayamaz çünkü çok zayıf da olsa fosfor

atomu ile elektrostatik bir etkileşimi vardır. 5. elektron yaklaşık 0.01 eV bağlanma enerjisine sahip olduğu için çok az bir enerji uygulandığı zaman fosfor atomundan ayrılıp elektrik akımına katılabilir (Çetin, 2013d).

Şekil 1.9.b'deki enerji bantlarına bakıldığında değerlik bandındaki bütün enerji durumları dolu vaziyettedir ve iletim bandı boştur. Silisyumun sahip olduğu bütün elektronlar kovalent bağa katılmış durumdalar. Hepsi değerlik elektronu konumunda bulunmaktadır. Fosfor atomunun sahip olduğu fazladan tek elektron sadece 0.01 eV bağlanma enerjisine sahip olduğu için o elektronu bant aralığı içinde, iletim bandına çok yakın bir mesafede tarif edebiliriz. Şekil 1.9.b'da enerji bant aralığındaki elektron fosforun 5. elektronunu temsil etmektedir. Bu kristal bir elektrik alanına maruz kaldığında veya ısıtıldığında ilk önce fosfora ait fazladan elektron iletim bandına geçecektir. İletim bandına kolaylıkla bir elektron bağışlayabildiği için bu duruma bağışçı durumu adı verilir (Çetin, 2013d).

Bir elektronun serbest elektron statüsüne geçebilmesi için fermi seviyesinin üzerinde bir enerjiye sahip olması gerekmektedir. Doğal yarıiletken ve yalıtkan malzemelerde fermi seviyesi yaklaşık olarak değerlik bandı ile iletim bandı ortalarına denk gelmektedir. Katkılanmış, doping yapılmış n-tipi yarıiletkenlerde fermi seviyesi yukarı kayarak bağışçı durumunun çok yakınlarına denk gelmektedir. Fakat bağışçı durumunun üzerinde bir seviyede kalmaktadır (Çetin, 2013d).

N-tipi yarıiletkenlere yeterli elektrik alanı veya ısı uygulandığında sadece fosforun fazladan elektronu değil silisyum atomlarına bağlı elektronlar da doğal yarıiletkenlerdeki gibi elektrik akımına katılabilirler. Onlar da konumlarından ayrılıp geride boşluklar bırakırlar. Bu boşluklar da elektrik akımıyla hareket edebilirler. Fakat silisyum atomlarında elektronlar kadar boşluklar da vardır. Doğal yarıiletkenlere kıyasla n-tipi yarıiletkenlerde fosfor vb. 5 elektronlu atomlardan dolayı elektron sayısı daha fazladır. Bu sebeple serbest elektron sayısı elektron deşiği sayısından çok daha fazla sayıdadır.

N-tipi yarıiletkenler için iletkenlik,

$$n \gg p$$

$$\sigma \cong |e| n \mu_e \qquad (1.3)$$

şeklinde formül ile gösterilebilir.

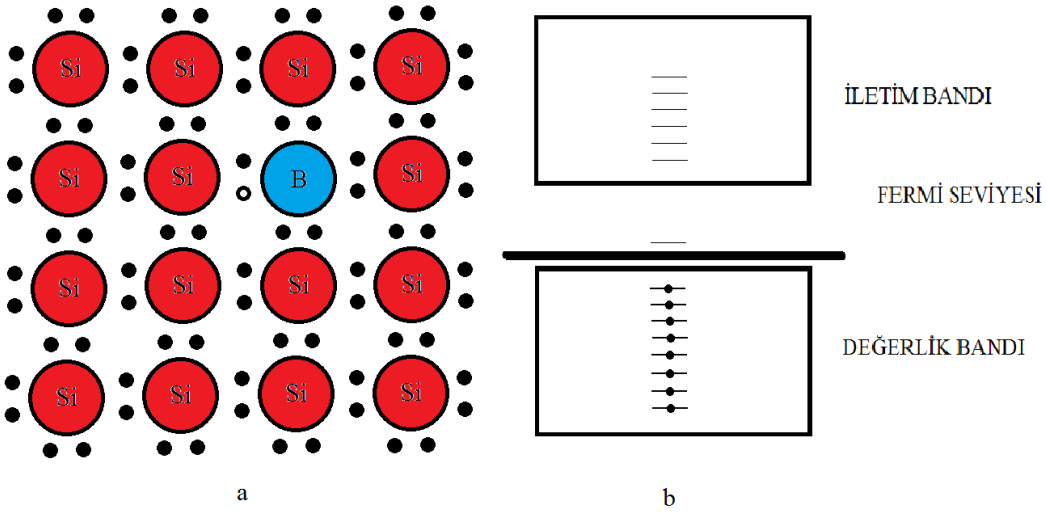
N-tipi yarıiletkenlerde öz iletkenlik değerlendirirken deşik sayısı çok az olduğu için sadece serbest elektron sayısı dikkate alınır. Bu tür yarıiletkenlerde iletkenliğin deşiklerden çok serbest elektronlar vasıtasıyla sağlandığını belirtmek için adlandırma n-tipi yarıiletken olarak yapılır (Çetin, 2013d).

P-tipi yarıiletkenler ve artı (+) yüklü deşiklerin hareketleri

Son yörüngesinde 3 elektron bulunduran maddeler Ge veya Si maddelerine belli bir oranda katılmasıyla p-tipi yarıiletkenler oluşur. Galyum, In, B (bor), Al gibi maddelerin son yörüngesinde 3 elektron vardır.

Silisyuma bor gibi üzerinde elektron boşluğu bulunan bir malzeme katkılandığında kristal içine giren bor atomları 4 bağ yapan silisyum destek maddesi içinde 3 bağ yaparak bir bağ boşluğu kalmasına neden olur. Bu da pozitif yüklerin taşınabilmesini sağlar ve p-tipi bir yarıiletken özelliğe neden olur (Çetin, 2013a)

Şekil 1.10'da silisyum kristali içindeki 3 değerlik elektronu olan bor atomunun 3 silisyum atomu ile elektron çifti paylaşarak kovalent bağ kurduğu gösterilmiştir. Şekil 1.10.a'daki gösterilen yapıdaki bor atomu sol tarafındaki silisyum atomuna verebileceği bir elektronu kalmadığı için kovalent bağ kuramamaktadır. Silisyumun sahip olduğu tek değerlik elektronuna karşılık bordan bir elektron deşiği gelmiş gibi değerlendirilir (Çetin, 2013a).



Şekil 1.10. Bor atomu katkılanmış silisyum (a) kristali, (b) enerji bant yapısı

Elektron deşikleri de elektronlar gibi elektrik yüküne sahiptir fakat negatif değil pozitif yüklülerdir. Deşikler artı yüke sahip oldukları için kristalin elektrik alanına maruz

bırakılması durumunda, deşiklerin elektrik alanı ile aynı yönde hareket etmesi beklenir. Elektronların boşluklara yerleşmesi ile açıklanan bu durum elektron deşik hareketi olarak değerlendirilir. Bu hareketler gerçekleşirken elektrik yükü taşındığı için ortaya bir akım çıkar ve bir elektriksel iletim oluşur. Bu yarıiletkenlik işleyişinde de serbest elektronların var olması söz konusudur. Sıcaklığın etkisiyle elektronların bir kaçı kovalent bağdan ayrılarak elektrik alanına ters yönde ilerleyerek kristal yapıda bir elektrik alanına katkıda bulunabilirler. Geride yine deşikler bırakırlar fakat serbest elektronların sayısı bor atomlarından da gelen elektron boşluklarından dolayı deşiklerin sayısından çok daha azdır. Serbest elektronlarla değil deşikler vasıtasıyla yarıiletken özelliğinin geliştirildiği, kontrol edildiği yarıiletkenlere p-tipi yarıiletkenler denir (Çetin, 2013a).

P-tipi yarıiletkenler için öz iletkenlik hesaplanırken serbest elektronlar göz ardı edilir ve sadece deşiklerin sayısı değerlendirmeye alınır. Deşiklerin sayısı (p), deşiklerin mobilitesi (μ_d) ve deşiklerin elektrik yükünün (d) mutlak değeri çarpımı sonucu öz iletkenlik değeri hesaplanır (Çetin, 2013a).

P-tipi yarıiletkenlerin öz iletkenlik formülü,

$$p \gg n$$
$$\sigma \cong |d| p \mu_d \qquad (1.4)$$

şeklindedir.

Şekil 1.10.b'de p-tipi yarıiletkenlerin işleyişi enerji bantları üzerinden tarif edilmiştir. 3 değerlik elektronu bulunan bor atomundan gelen elektron deşiğinin enerji durumu değerlik bandının üzerinde gösterilir. P-tipi silisyumlarda fermi seviyesi değerlik bandına yakın mesafededir. Bu sayede değerlik bandındaki elektronlar fermi seviyesine daha kolay ulaşabilmektedirler. Değerlik bandı elektronlarla doluyken elektron deşiğini temsil eden durum boş bir durumdur. Çünkü deşikte bir elektron yoktur ve iletimin sağlanması için o durumun elektron alması gerekmektedir. Bu durum alıcı durumu olarak adlandırılır (Çetin, 2013a).

Alıcı durumun enerji seviyesi değerlik bandındaki elektronlardan biraz daha yüksektir. Değerlik bandındaki elektronların boş konumdaki deşiğe atlayabilmeleri için az bir miktar enerjiye ihtiyaçları vardır (Çetin, 2013a).

Doğal bir silisyum kristaline kıyasla p-tipi yarıiletkenlerde elektronlar, elektron deşikleri sayesinde geçiş yapacakları boşluklara daha rahat yerleşebilirler. Bir elektron

deşiğe atladığında ardında kendi boşluğunu bırakarak oraya başka bir elektronun da yerleşmesini sağlar. Bu hareketler de iletkenliğe katkıda bulunur (Çetin, 2013a).

P-tipi yarıiletkenlerde fermi seviyesi alıcı durumun çok yakınlarında bulunur. Enerji seviyesi alıcı durumdan biraz daha düşüktür. Elektronlar alıcı duruma yerleştiklerinde elektrik akımı gerçekleşmiş olur (Çetin, 2013a).

1.2.3. Organik yarıiletkenler

Organik yarıilekenler konjugasyon özelliğine sahiptir. Bu konjugasyon π elektronlarının delokalizasyonundan ya da polimer zincirine katkılanan bileşenlerden kaynaklanmaktadır. 1977'de organik yarıiletken polimerlerin keşfinin ardından bu malzemeler hem akademik hem de endüstriyel alanlarda oldukça ilgi çekmişlerdir. Özellikle elektronik endüstrisinde çok uzun süredir rekabetçi bir konuma sahiptirler. En çok kullanılan elektronik uygulamaları organik ışık yayan diyotlar (OLED), organik alan etkili transistörler (OFET), organik Schottky diyotlar, güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pilleri (DSSC) olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş pilleri diyotlarla ters mantıkta çalışmaktadır. Güneş pilleri ışık enerjisinden akım üretirken diyotlar akım ile ışık üretirler (Kus ve ark., 2018)

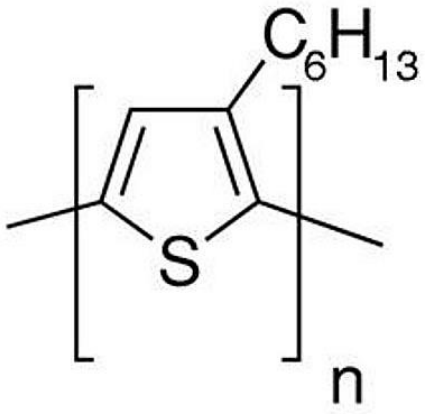
Genel olarak, hibrit organik Schottky diyotlar, diyot üretiminde kullanılan inorganik yarıiletken malzeme üzerinde bir organik yarıiletken tabakası kaplanarak üretilebilir. Dolayısıyla Schottky diyotlarda etkili bir arayüzey olarak organik yarıiletken, üretilen diyotun elektronik özelliklerini geliştirmektedir. Organik yarıiletkenler yüksek kimyasal kararlılık, düşük maliyet, kolay uygulama ve bariyer yüksekliğinin artmasını sağlamaktadır (Tatara, 2019).

En çok gelecek vadeden elektronik cihazlar donör olarak politiyofenlerin (örneğin düzenli sıralı P3HT) ve akseptör olarak fulorenlerin (PCBM gibi) karışımından üretilen cihazlar olmuştur. P3HT, yüksek boşluk hareketliliği ve yüksek absorpsiyon özellikleri dolayısıyla sıkça tercih edilmektir. Örneğin şimdiye kadar en sık karşımıza çıkan ve yüksek enerji dönüşüm verimi sağlayan güneş pilleri, P3HT yarıiletken polimeri ile bir karbon-60 türevi olan PCBM'in homojen karışım halinde yüzeye kaplanan konfigürasyonlardır. % 10 verimlilik hedeflenen çalışmaların birkaç yıl içerisinde oranın % 2'lerden % 5'lere yükseldiği görülmüştür. Bu durum ticarî kuruluşların organik güneş pillerine daha fazla yatırım yapacağını göstermektedir. Oldukça hafif olan P3HT:PCBM

güneş pilleri, esnek yüzeylere kaplanarak giyilebilen modüller şeklinde kullanılabilecektir.

1.2.3.1. P3HT (Poli(3-hekziltiyofen-2,5-diil)) organik yarıiletkeni

Yüksek kristallenebilirlik oranına ve yüksek iletkenlik değerlerine sahip olan P3HT (Şekil 1.11), diyot uygulamalarında arayüzey tabakası oluşturması için sıklıkla kullanılan organik yarıiletken polimerlerden biridir.



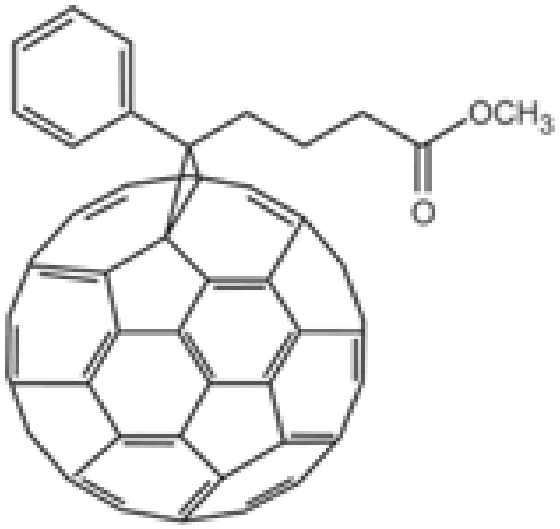
Şekil 1.11. P3HT molekül yapısı

Organik elektroniklerde birincil olarak, konjuge zincirinde verimli π-π istiflenmesine izin veren yan zincirin uçtan uca düzenli olması nedeniyle tercih edilmektedir. Alkil yan grubu nedeniyle P3HT nötr durumda hidrofobik haldedir. Mükemmel elektriksel iletkenlik, elektrolümünesans ve düzenli olmayan optik özelliklerinden dolayı en önemli iletken polimerlerden biridir. Esnek uygulamalara izin vermesine rağmen termal özelliklerinin kötü olmasından dolayı geliştirilmesi gerekmektedir.

1.2.3.2. PCBM (6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester) organik yarıiletkeni

Fulleren malzemeler benzersiz kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle uygulamalı bilimlerde özellikler organik elektroniklerde büyüyen bir ilgi görmektedir. Bu malzemeler mükemmel elektron akseptör olmalarıyla bilinir ve kimyasal olarak uygulama alanına göre modifiye edilebilirler. Çözülebilen fulleren türevleri n-tipi organik

yarıiletken olarak Schottky diyotlar dahil pek çok organik elektronik cihazlarda kullanılmaktadır.



Şekil 1.12. PCBM molekül yapısı

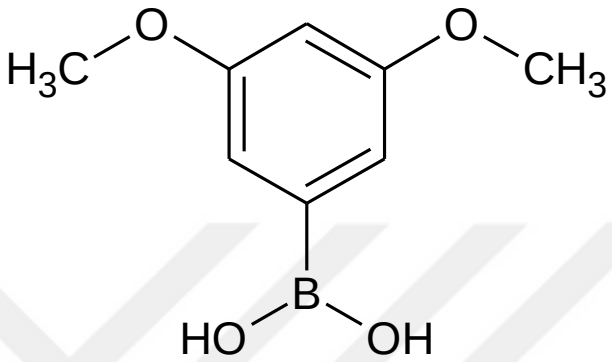
PCBM (Şekil 1.12) çözelti süreçleriyle, uygulanabilir n-tipi organik yarıiletkenlerin en çok karşımıza çıkan türlerindendir. P-tipi konjuge polimerlerle karışım halinde güneş pili ve OFET üretiminde kullanılabildiği gibi ince film halinde tek başına diyot uygulamalarında kullanılabilmektedir.

1.2.3.3. SAM (kendiliğinden toplanan tekli tabaka) molekülleri

SAM (self assembly monolayer) molekülleri metal ya da metal oksit yüzeyler üzerinde, kimyasal bağlarla ve adsorpsiyonla tutunarak kendiliğinden tek tabaka kaplama sağlayabilmektedirler. Bu oluşum sayesinde yüzeyler kontrol edilebilir kimyasal fonksiyonelliğe sahip olmaktadır. Arayüzey olmaları durumunda organik fotovoltaiklerde, organik transistörlerde, Schottky diyotlarda, kimyasal sensörlerde, biyosensörlerde ve litografide kararlı akımların daha hızlı oluşmasını sağlarlar (Kuralay ve ark.; Kirbiyik, 2017).

SAM moleküllerinin hem kuyruk hem de baş kısımlarının her ikisinin de uyarlanabilme özelliği vardır. Bu demektir ki; hem aktif baş grubunun hem de kuyruk grubunun değiştirilebilme imkanı vardır. Bu nedenle modifikasyon yapılacak olan yüzeyde istenilen özelliklere göre SAM malzemeleri uyarlanabilir. Örneğin; bronik asit yerine karboksilik asit ya da fosforik asit gibi farklı fonksiyonel gruplar eklenebilir.

SAM (Şekil 1.13) molekülünün cinsine ve modifiye edilecek yüzeyin özelliklerine (kirlilik, pürüzlülük vb.) bağlı olarak yüzeyler arası etkileşimler farklılık gösterir ve SAM'ın uygulandığı yüzeyle bağlanma açısı değişebilir. Bu açı da uygulanan yapının özelliklerinde değişime sebebiyet verir. SAM molekülleri, tasarım çeşitlilikleri sayesinde Schottky diyotlarda arayüzey uygulamalarında kolaylık sağlar (Kirbiyik, 2017).



Şekil 1.13. Uygulanan SAM malzemesinin (2-OMe) molekül yapısı

Bu tezin deneysel çalışmalarında 3,5-dimetoksi fenil boronik asit (2-OMe), SAM malzemesi olarak kullanılmıştır. Metoksi gruplarıyla fonksiyonelleştirilmiş olan SAM molekülünün aktif baş kısmı boronik asittir. Yeterince küçük olan fenil boronik asit molekülleri sayesinde uzun zincirli SAM moleküllerinin arayüzeyler üzerinde yarattığı kısıtlamalar engellenecektir. Bu SAM molekülünün uygulanması sonucunda yüzeylerde gerçekleşecek olan elektriksel karakterizasyon değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Diyot Kavramı

Akımı tek yönlü geçiren devre elemanlarına diyot denir. Bir yöndeki dirençleri ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve diğer yöndeki dirençleri ise çok büyüktür. Direncin küçük olduğu yöne iletim yönü, büyük olduğu yöne ters yön denir. Diyot sembolü, akım geçiş yönünü gösteren bir ok şeklindedir (Dağ, 2013).

Diyotun uçları pozitif (+) ve negatif (-) işaretleri ile de belirlenir. Pozitif uca anot, negatif uca katot denir. Diyotun anoduna, gerilim kaynağının pozitif (+) kutbu, katoduna ise kaynağın negatif (-) kutbu gelecek şekilde gerilim uygulandığında diyot iletime geçer (Dağ, 2013).

Bir diyottan akım geçebilmesi için anodunun (+) katoduna (-) göre pozitif olması gerekmektedir. Öncelikle anottaki voltajın katoda göre belirli bir voltaj eşiğini geçmesi gerekir (Dağ, 2013).

Diyotlar yarıiletken maddelerden oluşur. Yarıiletken devre elemanlarında en çok kullanılan maddeler Si ve Ge'dur. Bu maddelerin elektriksel özellikleri katkı maddelerine göre değişmektedir. Bu katkı maddeleri n-tipi maddeler ve p-tipi maddelerdir. N-tipi maddeler Si ya da Ge atomlarını negatif yaparken p-tipi maddeler pozitif yapar (Akbaba, 2017c).

Diyotlar p-tipi ve n-tipindeki iki yarıiletkenin birleştirilmesiyle oluşur. Birleşim bölgesinde p ve n'deki oyuk ve elektronun birbirlerini nötrlemesi ile nötr bir bölge oluşur. Üretecin (+) kutbunun p'deki oyukları, (-) kutbunun n'deki elektronları diyodun nötr bölgesine itmesiyle yük hareketi oluşur ve diyottan akım geçer (Akbaba, 2017c).

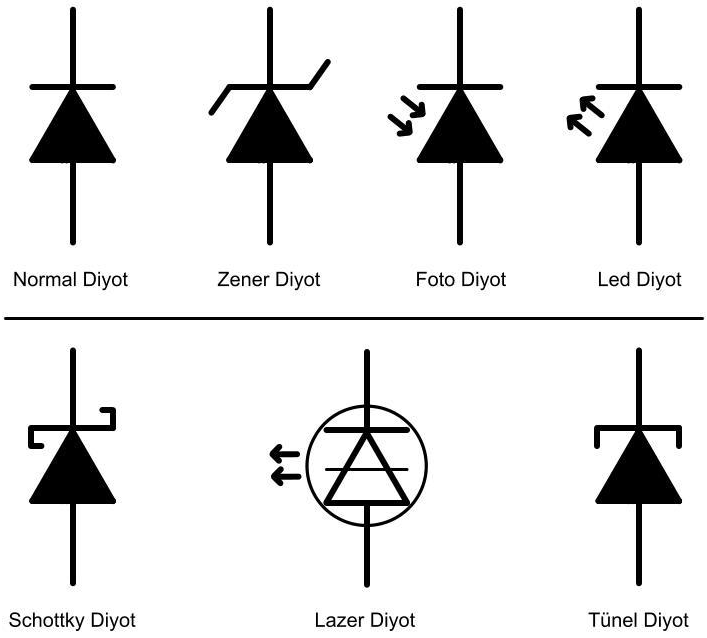
Si tabanlı diyotları iletime geçirmek için uygulanması gereken minimum gerilim yaklaşık 0.7 V değerinde olmalıdır. Ge tabanlı diyotlar için ise yaklaşık 0.3 V değerinde gerilim uygulanmalıdır. Bu gerilime eşik değeri denir (Akbaba, 2017b)

Diyotlarda eşik değeri sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir (Akbaba, 2017a).

1.3.1. Diyot çeşitleri

Diyotlari elektrik alanında redresör (doğruluyucu) , elektronikte ise, doğrultucu, detectör, modülatör, sınırlayıcı ve anahtar olarak kullanılmaktadır. Diyotların, uygulamalara göre farklılık gösteren değişik çeşitleri vardır. Şekil 1.14'te bunlardan bazılarının sembolleri verilmiştir (Dağ, 2013).

Diyot çeşitleri;
Kristal diyot,
Zener diyot,
Schottky diyot,
Işık yayan diyot (LED),
Foto diyot,
Tünel diyot,
Ayarlanabilir kapasiteli diyot (varaktör – varikap)



Şekil 1.14. Bazı diyot çeşitlerinin sembolleri

1.4. Diyot Karakteristikleri

Diyot karakteristiklerinde diyotlara uygulanan polarma akım ve gerilime bağlı olarak diyotların davranışları incelenir (Akbaba, 2017a).

İdeal diyotlar

Yapımında kullanılan maddeden dolayı içerdiği elektronlar rahatlıkla hareket eder. İdeal diyotlarda, Si ve Ge tabanlı diyotlardaki eşik gerilimi yoktur. İdeal diyotlara doğru polarma verildiği zaman kapalı bir anahtar gibi davranır ve iletime geçerler.

Doğru polarmada anoduna (+), katoduna (-) yük verilirken ters polarmada anoduna (-), katoduna (+) yük verilir ve diyot açık bir anahtar gibi davranır (Akbaba, 2017a).

Normal diyotlar

Uygulamada kullanılan Si veya Ge diyotlar normal diyotlar olarak adlandırılır (Akbaba, 2017a).

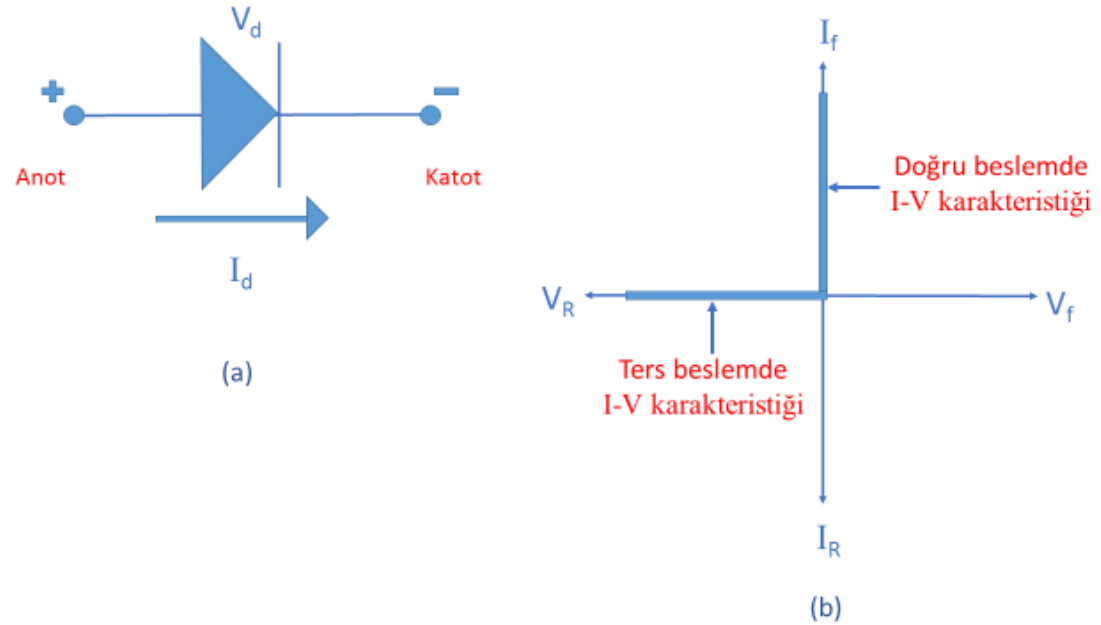
1.4.1. Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri

İdeal diyot sembolü Şekil 1.15.a'daki gibi gösterilmektedir. Şekil 1.15.b'de akım gerilim karekteristiğinin ters polarmada yani gerilimin 0 V'dan küçük olduğu durumlarda diyot üzerindeki akımın da 0 olduğu gösterilmektedir. Diyot gerilimi 0 V'dan büyük olduğu durumlarda diyot üzerindeki akım da 0'dan büyük olacaktır. V_d diyot gerilimi, I_d ise diyot akımıdır. Id

$V_d < 0$ ise $I_d = 0$ (diyot kesimde)

$V_d > 0$ ise $I_d > 0$ (diyot iletimde) (Akbaba, 2017a)

Karakteristik eğri üzerindeki V_f diyot ileri yön gerilimini, I_f ise diyottan geçen ileri yön akımını ifade eder. V_R diyot ters yön gerilimi, I_R ise diyottan ters yönde akan akımdır (Celal, 2016).

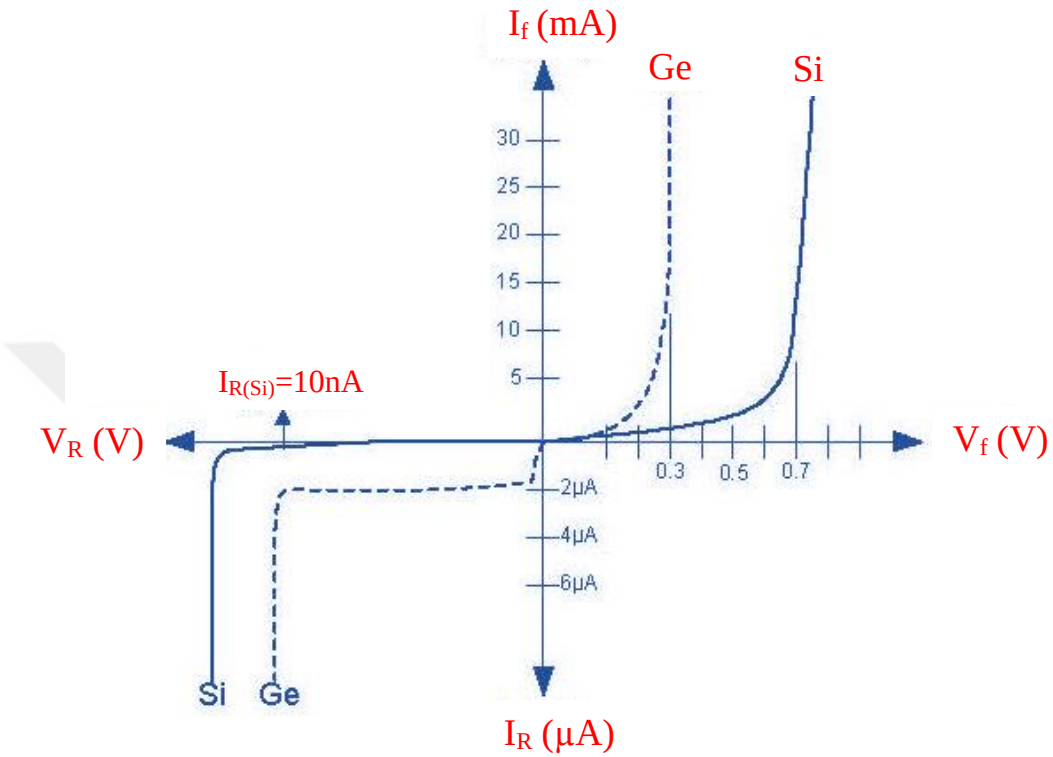


Şekil 1.15. İdeal diyot (a) sembolü, (b) I-V karakteristiği

Normal diyotlarda ideal diyotlardan farklı olarak yapıldıkları maddelerden dolayı P-N ekleminde bir gerilim seti meydana gelir. Bu gerilim setinden dolayı normal diyotları belirli bir voltaj değerinden sonra iletime geçirebiliriz (Akbaba, 2017a).

Şekil 1.16'da Ge ve Si tabanlı diyotların I-V grafikleri verilmiştir. Şekildeki I_f birimi miliamper (mA) cinsindendir. I_R ise mikroamper (µA) cinsindendir. Gerilim volt (V) birimindedir. Şekildeki gibi Ge tipi diyotlar için eşik gerilimi 0.3 V, silisyum tipi diyotlar için yaklaşık 0.7 V civarındadır. Eşik değerleri diyotların üretildiği maddeye ve

ortam sıcaklığına göre değişiklik gösterir. Ge diyotların sıcaklığı 60 santigrat derece (˚C) civarına çıkarılırsa eşik değeri yaklaşık 0.1-0.2 V arasına düşer. Silisyum diyotlarda ise 100 ˚C civarındaki sıcaklıklarda eşik değeri yaklaşık 0.5 V'a kadar düşebilir (Akbaba, 2017a).



Şekil 1.16. Ge ve Si tipi diyotların I-V karakteristikleri

Si ya da Ge tipi diyotlar doğru beslem altında diyotlar bir üreteç görevi görür ve bu üretecin gerilim değeri de diyodun eşik değeridir (Akbaba, 2017a).

1.5. Schottky Diyotlar (Metal/Yarıiletken Kontaklar)

Silikon diyotlarda üzerinden akım geçerken diyot üzerine düşen gerilim 0.6 V – 1.7 V arasında değişirken, Schottky diyotlarda ise bu gerilim değeri yaklaşık olarak 0.15 V – 0.45 V arasında değişir. Bu sayede çok daha hızlı bir anahtarlama sağlanırken sistemin verimi de aynı oranda bir artış gösterir. Bu elemanlar doğru beslemde 0.25 V değeriyle bile iletime geçebilirler (Seçen, 2015).

Çalışma prensipleri genel olarak normal diyotlar ile büyük oranda benzerlik gösterir. Güç kayıpları çok az olmasına rağmen gerilim ve akım değerleri normal ve

hızlı diyotlara göre daha düşüktür. Dezavantaj olarak ise normal diyotlardan daha fazla ters yönde akım geçirmesi söylenebilir (Seçen, 2015).

Normal diyotların aksine bir yapı olarak, metal yarıiletken arasındaki bağlantıya Schottky bariyeri denir. Metal kısım anot, yarıiletken kısım da katot gibi davranır. Schottky bariyeri sayesinde de hızlı anahtarlama sağlanır. Metal yarıiletken bağlantısındaki kombinasyonun çeşidine göre diyodun ileri yön gerilim ihtiyaç seviyesi de değişmektedir.

Diyot etrafında bir elektrik alan oluşabiliyor ve ters bozulma voltajı için limitleri bu elektrik alanı belirlemektedir. Elektrik alanı dağıtıcı koruma halkaları gibi uygulamalar mevcuttur. Bu uygulamalar kullanılan sistemin ve özellikle de devrenin yapısına göre değişkenlik gösterebilmektedir (Seçen, 2015).

Schottky diyotu normal diyottan ayıran en önemli özelliklerden biri ters düzelme zamanı ve karakteristiğidir. İletim halindeyken iletimi durdurulan bir diyot için ters düzelme zamanı 100 ns (nanosaniye) civarındadır. Schottky diyotlarda ise bu süre 100 ps (pikosaniye) olarak ölçülebilir. Bu durum büyük güçlerde çalışan Schottky diyotlarda 10 ns civarında ölçülmüştür (Seçen, 2015).

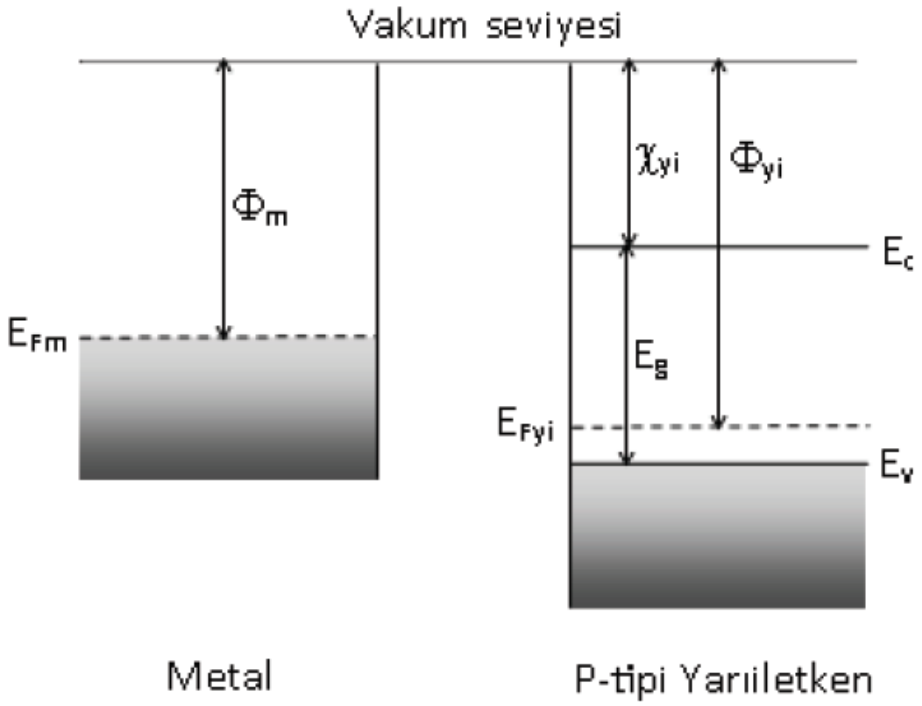
Schottky diyotların karakteristik özelliklerinin iyi anlaşılabilmesi için yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin iletkenlik özellikleri bilinmesi gerekir ve bunun için de yapıya uygun kontaklar yapılması gereklidir. İdeal bir kontak oluşturmak için kullanılan malzemelerin yüzeyleri temiz ve pürüzsüz olmalıdır. Bu şartlar sağlandığında metal/yarıiletken kontakta termodinamik denge oluşuncaya kadar hem yarıiletkenden metale hem de metalden yarıiletkene doğru yük alışverişi meydana gelir. Böylece, metal ile yarıiletken arasında oluşan arayüzeyde yüklerin ayrışmasıyla bir potansiyel engel yüksekliği oluşur ve bu potansiyel engel iki maddenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Bu bölgede yükler hareketli olmadığından direnci yüksek bir yalıtkan tabaka elde edilir. Bu tabaka genellikle Schottky Tabakası olarak da bilinir.

Metal/yarıiletken kontaklar genellikle doğrultucu ve omik olmak üzere iki farklı sınıfta incelenir. Akım taşıyıcılarını yani elektronlar ve deşikleri bir doğrultudan diğerine daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontak denir. Oluşturulan kontakta iki yönde de akım geçerse omik kontak elde edilir. Metal ve yarıiletken malzemelerin iş fonksiyonları kontağın doğrultucu ya da omik olmasını belirler. Yarıiletken malzeme n-tipi ise oluşan kontakta metalin iş fonksiyonu (Φ_m), yarıiletkenin iş fonksiyonunkinden (Φ_{yi}) büyük olması durumunda ($\Phi_m > \Phi_{yi}$) doğrultucu kontak elde edilir. Tersi durumda ise omik kontak oluşur ($\Phi_m < \Phi_{yi}$). P-tipinin kullanıldığı yarıiletken kontaklarda ise

yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan büyük ise ($\Phi_{yi}>\Phi_m$) doğrultucu kontak, yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan küçük ise ($\Phi_{yi}<\Phi_m$) omik kontak elde edilir.

1.6. Metal/P-Tipi Yarıiletken Kontaklar

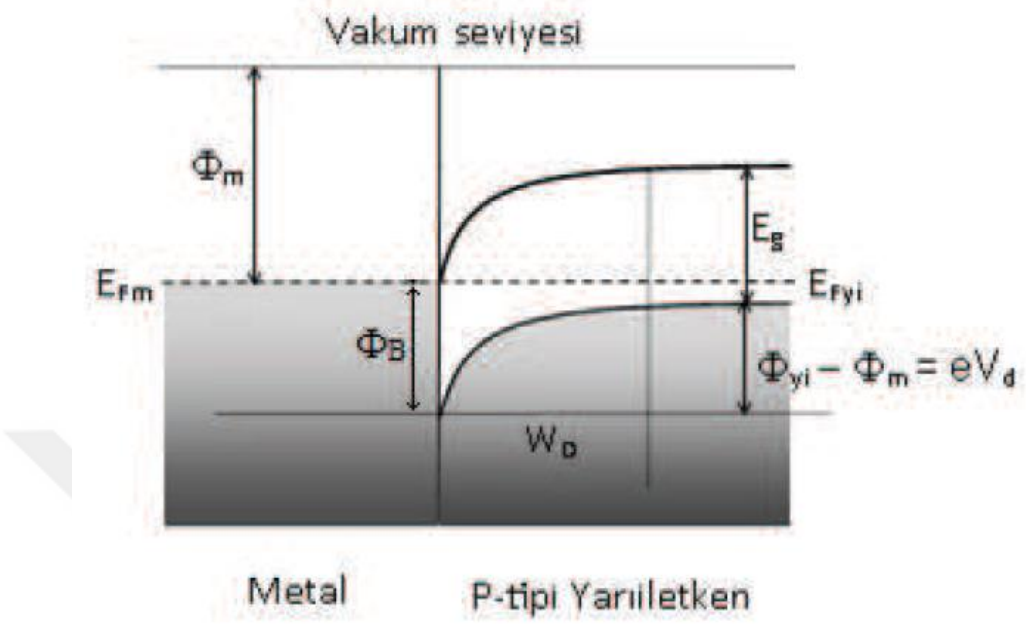
Bir metal ile p-tipi yarıiletken malzeme arasında kontak oluşturulmadan önceki enerji bant diyagramı Şekil 1.17'de görülmektedir. Enerji bant diyagramı, yarıiletken yüzey durumlarını içermediği için yüzeyin bant yapısı yarıiletkenin toplu bant yapısı ile aynı olup bantlarda bir eğilme söz konusu olmaz. Şekildeki X_{yi} elektron yatkınlığını, E_{fm} metalin fermi enerji seviyesini, E_{fyi} yarıiletkenin fermi enerji seviyesini, E_g yarıiletkenin yasak enerji bant aralığını, E_c iletim bandı enerji seviyesini, E_v değerlik bandı enerji seviyesini ifade etmektedir.



Şekil 1.17. Metal/p-tipi yapının doğrultucu kontak yapılmadan önceki enerji bant diyagramı (Bayram, 2014).

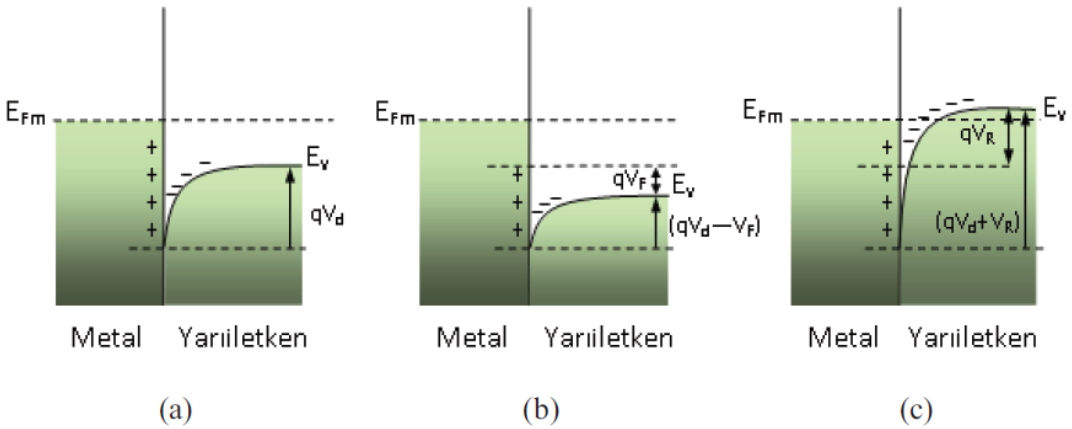
Metal/p-tipi yarıiletken yapının kontak durumunda ise metal ve yarıiletken arası yük alışverişi meydana geldiği için bantlarda bir bükülme söz konusu olacaktır. Termodinamik dengeye ulaşıldıktan sonraki oluşan enerji bant diyagramı Şekil 1.18'de

görünmektedir. Şekildeki Φ_B potansiyel engel yüksekliğini, W_D tüketme bölge genişliğini, e elektron temel yükünü temsil etmektedir.



Şekil 1.18. Metal/p-tipi yapının doğrultucu kontak oluşturulduktan sonraki enerji bant diyagramı (Bayram, 2014).

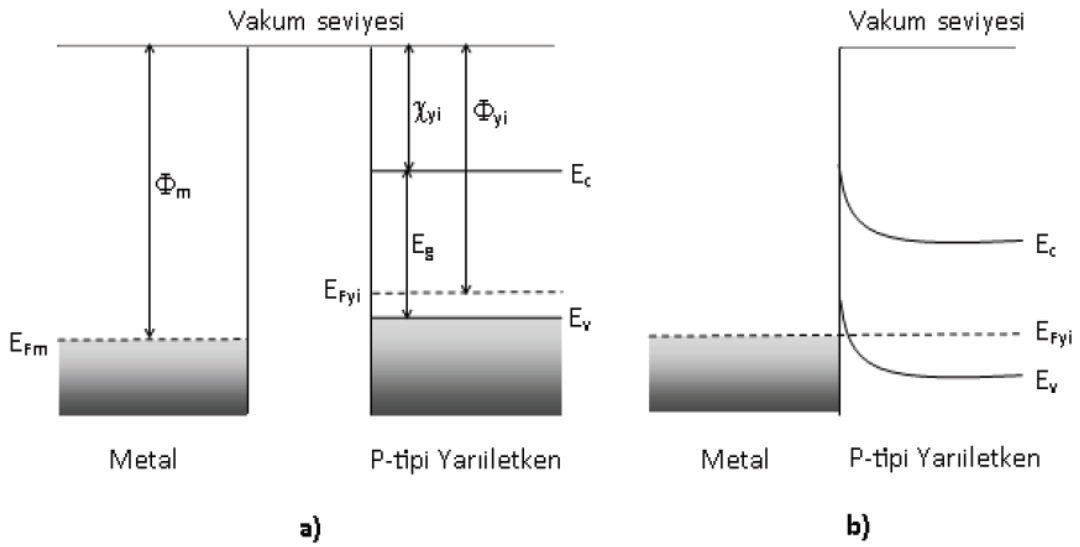
Kontak oluştuktan sonra, metal ile yarıiletken arasında yük alışverişi başlar ve geride negatif yüklü alıcılar bırakarak yüksek enerjili elektron boşlukları yani holler yarıiletkenden metale doğru hareket eder. Böylelikle metal malzemede pozitif yüzey yükleri birikir. Metal ile yarıiletken arasında oluşan zıt yükler bir dipol tabakası oluşturur. Sonucunda yarıiletken taraftaki fermi seviyesi bu iki malzemenin iş fonksiyonları farkı kadar aşağı doğru bükülür ve metal taraftaki fermi seviyesi ise sabit kalır (Bayram, 2014).



Şekil 1.19. Metal/p-tipi yapının a) dengede b) düz beslem c) ters beslem enerji bant diyagramları (Bayram, 2014).

Metal/p-tipi yarıiletken malzemenin dengedeki enerji bant diyagramı Şekil 1.19.a'da, düz beslemdeki enerji bant diyagramı Şekil 1.19.b'de, ters beslemdeki enerji bant diyagramı Şekil 1.19.c'de görülmektedir. Şekildeki q yine elektron yükünü ifade etmektedir (Bayram, 2014).

P-tipi yarıiletken ve metal malzemenin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m > \Phi_{yi}$ durumunda omik kontak oluşur. Şekil 1.20.a'da görüldüğü üzere yarıiletken malzemenin fermi seviyesi metal malzemenin fermi seviyesinden yukarıdadır. Kontak yapıldıktan sonra elektronlar yarıiletkende deşik bırakarak metale doğru geçiş yaparlar ve bu geçiş malzemelerin fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar devam eder. Denge durumuna geldiklerinde Şekil 1.20.b'de de görüldüğü gibi yarıiletken tarafındaki enerji bant seviyeleri aşağıya doğru bükülür (Bayram, 2014).

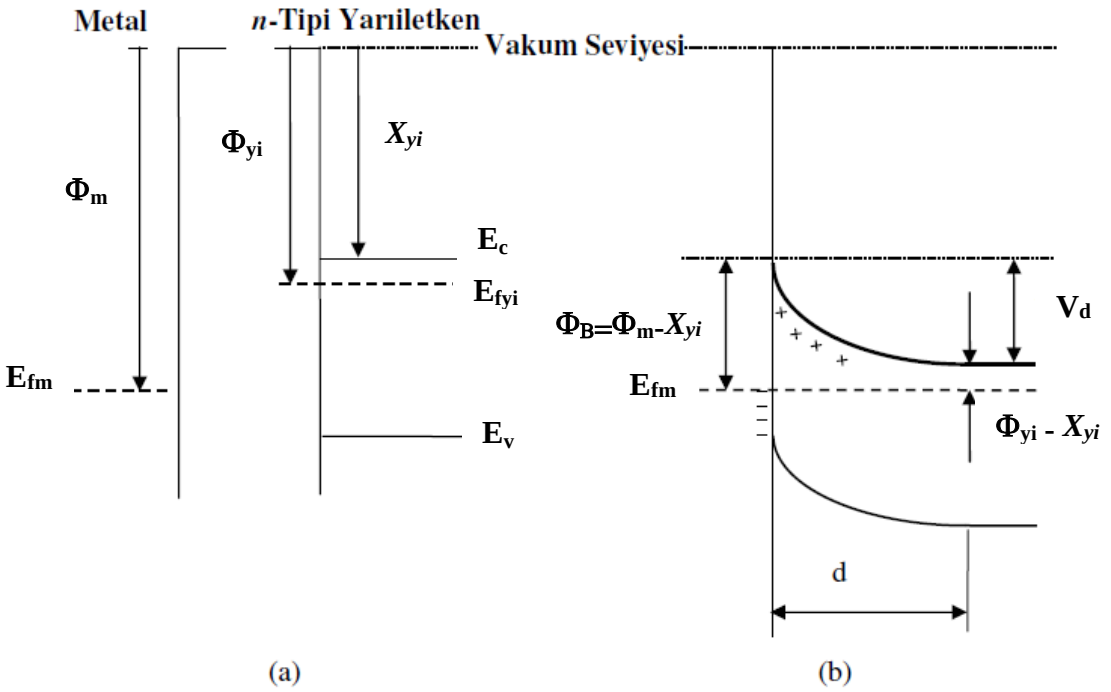


Şekil 1.20. Metal/p-tipi yapının a) kontak yapılmadan önceki b) omik kontak oluşturulduktan sonraki enerji bant diyagramı (Bayram, 2014).

1.7. Metal/N-Tipi Yarıiletken Kontaklar

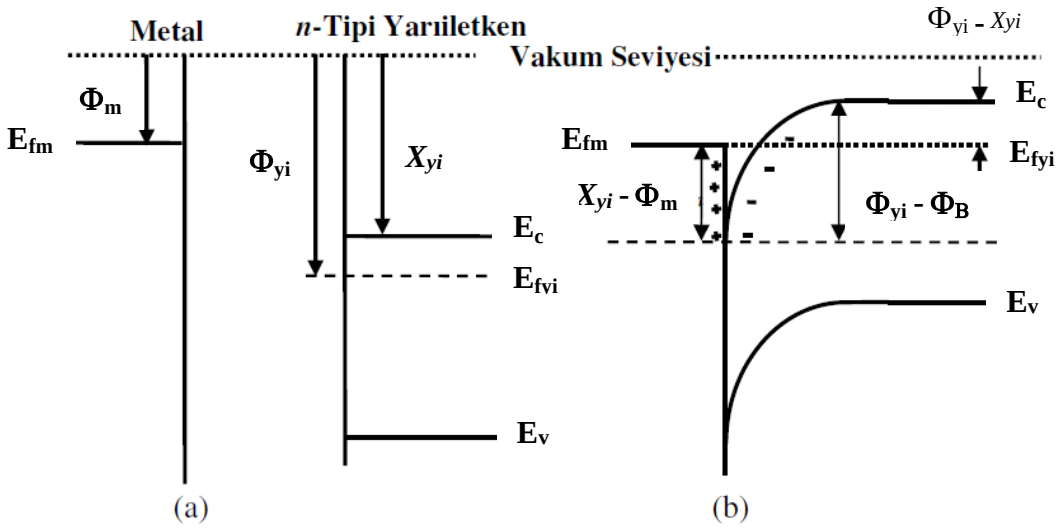
Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan küçük ise oluşan kontağa doğrultucu kontak ya da Schottky kontağı denir. Kontak durumundan önce, Şekil 1.21.a'da enerji bant diyagramında da görüldüğü üzere yarıiletken malzemenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden (Φ_m- Φ_{yi}) kadar yukarıdadır (Önal, 2007)

Kontak durumundan sonra yarıiletken malzeme ile metal malzeme arasında bir yük alışverişi başlar ve iki malzemenin fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar yani denge durumuna ulaşıncaya kadar bu yük alışverişi devam eder. Bu süreç zarfında elektronlar yarıiletkenden metale doğru geçerler. Kontak durumundan sonraki enerji bant diyagramı ise Şekil 1.21.b'deki gibidir. (Önal, 2007)



Şekil 1.21. Metal/n-tipi yapının (a) doğrultucu kontak yapılmadan önceki enerji bant diyagramı (b) doğrultucu kontak yapıldıktan sonraki enerji bant diyagramı (Önal, 2007)

Yarıiletken malzeme n-tipi ise ve yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan büyükse omik kontak oluşur. Yapının kontak durumundan önceki enerji bant diyagramı Şekil 1.22.a'da gösterilmiştir.



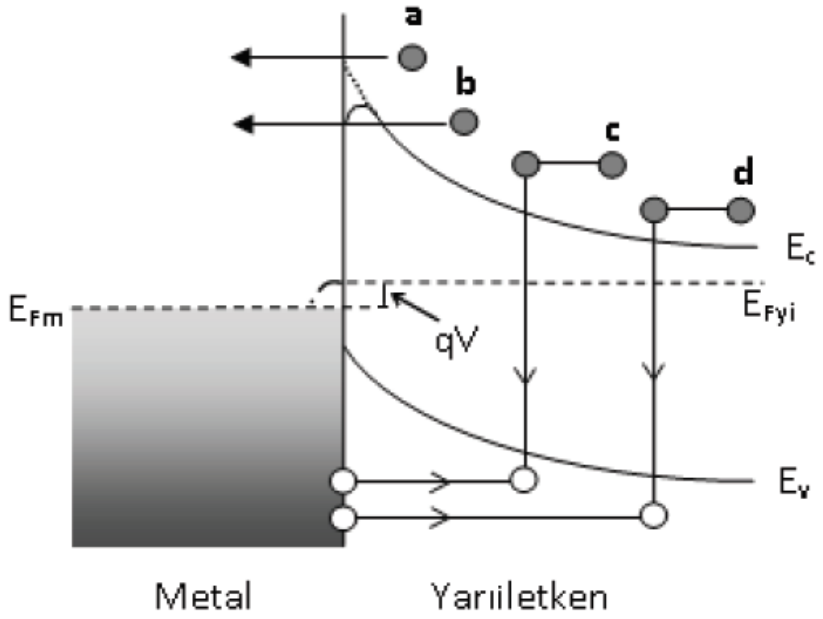
Şekil 1.22. Metal/n-tipi yapının omik kontak yapılmadan önceki (a) ve sonraki (b) enerji bant diyagramı (Önal, 2007).

Kontak durumundan önce yarıiletken malzemenin fermi seviyesi metal malzemenin fermi seviyesinden (Φ_m - Φ_{yi}) kadar aşağıdadır. Kontak durumundan sonra metal malzemeden elektronlar yarıiletken malzemeye doğru geçiş yaparlar. Bu geçiş termal dengeye ulaşıncaya kadar devam eder. Metal/n-tipi yarıiletken yapının kontak durumundan sonraki enerji bant diyagramı Şekil 1.22.b'de gösterilmiştir (Önal, 2007).

1.8. Schottky Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları

Schottky diyotların gerilim altındaki akım iletim mekanizmalarının belirlenmesi öneme sahiptir. Bu mekanizmaların belirlenmesinde arayüzey durumları, metal ile yarıiletken arasında oluşan oksit tabaka, mutlak sıcaklık (T), seri direnç (R_s), uygulanan gerilimin yönü oldukça etkili faktörlerdir.

Akım iletim mekanizmaları; termoiyonik emisyon (TE) teorisi, difüzyon teorisi, termoiyonik emisyon-difüzyon (TED) teorisi, kuantum mekaniksel tünelleme, termoiyonik alan emisyonu (TAE), alan emisyonu (AE), çok katlı tünelleme, uzay yük bölgesinde yeniden birleşme, yüksüz bölgede yeniden birleşme, deşik enjeksiyonu şeklinde sıralanabilir. Bir metal/yarıiletken yapısında meydana gelen bu mekanizmaların şematik gösterimi Şekil 1.23'te verilmiştir (Bayram, 2014).



Şekil 1.23. Metal/yarıiletken kontaklarda doğru beslemde meydana gelen akım iletim mekanizmalarının şematik gösterimi (Bayram, 2014).

Şekil 1.23'te gösterilen akım iletim mekanizmasında,

a; potansiyel engel yüksekliğini aşan elektronların oluşturduğu akım

b; elektronların potansiyel engeli içerisindeki kuantum mekaniksel tünellemesi ile oluşan akım

c; uzay yük bölgesinde yeniden birleşme sürecini oluşturduğu akım

d; deşik enjeksiyonun oluşturduğu akım (Bayram, 2014).

Schottky diyotlarda termoiyonik emisyon teorisi

Sıcak bir yüzeyden termal enerji nedeniyle elektronlar ve deşiklerin yani taşıyıcıların yayınlanması olayına termoiyonik emisyon denir (Önal, 2007).

Yeterli termal enerji kazanan taşıyıcıların potansiyel engelini aşarak metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale doğru geçerek oluşturdukları akım mekanizmasını açıklayan teoriye de termoiyonik emisyon teorisi denir (Önal, 2007; Bayram, 2014).

Bu akım mekanizması metal/n-tipi yarıiletken yapılarda elektronlar, metal/p-tipi yapılarda ise deşikler tarafından sağlanır (Önal, 2007).

Metal/yarıiletken kontaklarda akımın çoğunlukla taşıyıcılar tarafından iletilir. Termoiyonik emisyon teorisi, potansiyel engeli yüksekliğinin kT/q enerjisinden büyük ve engel bölgesinde taşıyıcı çarpışmalarının olmadığını kabul eder. Yani taşıyıcıların

ortalama serbest yolları schottky bölgesinin kalınlığından daha büyüktür. Ayrıca görüntü kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte ve engel görüntüsünün biçimi önemli olmayıp, akım engel yüksekliğine bağlıdır (Boy, 2013)

Termoiyonik emisyon teorisine göre akım yoğunluğu;

$$J = J_0 \left[exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1.5)$$

eşitliği ile verilir. Burada k boltzman sabiti, T mutlak sıcaklık, q elektron yükü, V uygulanan gerilim ve J_0 doyma akım yoğunluğu olup

$$J_0 = A^* T exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. İfadede A^* etkin Richardson sabiti, Φ_B potansiyel engel yüksekliğidir. Ayrıca akım yoğunluğu, metal/yarıiletken yapıların ideallikten sapma miktarlarını belirleyen idealite faktörü (n) cinsinden de,

$$J = J_0 exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (1.7)$$

şeklinde yazılabilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektronikte kullanılan en önemli yapılardan olan diyot çeşitlerinden birisi de Schottky diyottur. Yarıiletken ve metal arasında meydana gelen doğrultucu bir kontak olup bu doğrultucu etki ilk defa 1874 yılında Braun tarafından keşfedilmiştir (Kampen ve ark., 2004).

Daha sonraki yıllarda Alman fizikçi Walter H. Schottky tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan Schottky diyotlar sıcaklık taşıyıcı diyot olarak da bilinir. Diğer diyotlardan ayırıcı özellik olarak doğru beslem gerilimi ve hızlı anahtarlama özellikleri olan Schottky yapılarda kontak oluşumu için yüksek sıcaklık ve vakum gereklidir. Schottky yapıların güç elemanı olarak kullanıldıkları ilk yer doğrultucu bir devredir (Seçen, 2015).

Schottky diyotların teorik ve deneysel çalışmaları gösterir ki arayüzeylerde kullanılmak üzere seçilen malzemeler engel oluşumuna sebep olmaktadır. Tung, Schottky kontaklardaki arayüzey malzemelerinin etkilerini incelemeye almış ve engel yüksekliğinin arayüzeye göre değişiklik gösterdiğini tespit etmiştir (Tung ve ark., 1991).

Cheung ve Cheung'in geliştirdiği model sayesinde Schottky kontaklarının seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü, yapının doğru beslemde ölçülen elektriksel özellikleri ile hesaplanmıştır (Cheung ve Cheung, 1986).

Organik materyallerin Schottky diyotlar gibi elektronik aygıtlarda kullanımı ile alakalı örnekler literatürde mevcuttur.

Işığa duyarlı SAM molekülü olan 4,(4'-aminofenilazo) benzoik asit (APABA) silisyum metaline farklı derişimlerde bağlanarak DNA çipi üretilmiştir. Ölçümler sonucu optimum değerler 22 ℃ ortam sıcaklığında 24 saat bekletilen 20 milimolarlık (mM) SAM molekülü ile yapılan numunelerde görülmüştür (Demirel, 2009).

Hidrojen ve florür tabanlı SAM molekülleri değişik yüzeylere kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle kaplanarak ince filmlerin elde edilmeleri amaçlanmıştır. Fakat kaplama sırasında kazan içindeki farklı ısıl değerlerden dolayı yoğuşmalar meydana gelmiştir (Pakdemir, 2014).

Au yüzeylere kaplanması amacıyla SAM malzemesi olarak 4-merkapto-1-bütanol (MB) ve 11-merkaptoundekanoik asit çözeltisi kullanılan bir çalışmada polimer filmlerin oluşturulması için Polipirol (PPy) kaplama yapılmıştır (Kuralay ve ark., 2010).

Demir (II) tayininde kullanılmak üzere 1,6-hekzanditiyol ve 1-hekzantiyol SAM malzemeleri Au yüzeylere kaplanarak elektrotlar oluşturulmuştur. Analiz sonuçları,

elektrotlar ile demir (II) ölçümlerinin % 95'lik başarı sağlandığını göstermiştir (Calam, 2016).

Arayüzey olarak perylene-diimide kullanılan n-tipi galyum arsenit (n-GaAs) tabanlı Schottky diyotta arayüzey durumları 75-350 Kelvin (K) sıcaklık aralığında incelenmiş ve ölçüm sonuçları ideal diyot davranışları gözlenmiştir (Boy, 2013).

N-Si tabanlı Schottky diyotta organik yarıiletken olarak yine P3HT:PCBM kullanan bir araştırmacı oda sıcaklığında yaptığı ölçümler sonucunda organik arayüzeyli numunelerin elektriksel karakteristiklerinin daha başarılı olduğunu yaptığı hesaplamalarla bulmuştur (Yağlıoğlu ve Özmen, 2014).

P-Si diyotta pyronine-B organik yarıiletkenini kullanan başka bir araştırmacı da ölçümleri sonucunda organik arayüzeyli diyotunun doğrultucu davranışını gözlemlemiştir (Cakar ve Türüt, 2003).

Antrasen organik malzemesini n-tipi silisyum Schottky diyotta arayüzey olarak kullanan bir araştırmacı diyotun etkin bariyer yüksekliğinin arttığını ve doğrultucu davranış gösterdiğini yaptığı ölçüm ve hesaplar ile tespit etmiştir (Çaldıran ve ark., 2013).

Organik boya olan metilen mavisinin n-Si'de arayüzey olarak kullanılması Schottky diyotun ideal davranış göstermemesine sebep olmuştur (Yakuphanoglu ve ark., 2011).

Metilen mavisinin organik arayüzeyli Al / metilen-mavi / n-Si / Au Schottky diyotta da arayüzey malzemesinin diyotta elektriksel özellikleri kötü yönde etkilediği anlaşılmıştır (Ocak ve ark., 2009).

Azure A organik malzemesi n-Si tabanlı Schottky diyotta arayüzey olarak kullanılmıştır. Diyotun oda sıcaklığında karanlık ve aydınlık ortamda elektriksel özellikleri incelenmiş ve organik arayüzeyli diyotun doğrultucu özellik gösterdiği fakat güneş pili veriminin düşük, ideallikten de uzak olduğu tespit edilmiştir (Yıldırım ve Durumlu, 2017).

Al / Azure A / p-Si şeklinde kontaklanan Schottky diyotun karanlık ve aydınlık ortamda 25 ^{o}C oda sıcaklığında elektriksel ölçümleri yapılmıştır. İdealliğe çok yakın olmayan değerler bulunmuş ve bu sonucun da arayüzey katmanının sonucu olduğu düşünülmüştür (Orak ve ark., 2014).

Azure C organik arayüzeyli p-Si ile üretilmiş Schottky diyotun oda sıcaklığında aydınlık ortamda elektriksel özellikleri ölçülmüştür. Organik arayüzey kalınlığının artması durumunda fotovoltaik etkinin ve ideallik faktörünün arttığı gözlemlenmiştir (İkram ve ark., 2015; Orak ve ark., 2015).

Organik polimer olan PPy maddesi n-tipi silisyum Schottky diyotta arayüzey olarak kullanılmıştır. Sıcaklık yükseldikçe diyotun engel yüksekliğinin arttığı, idealite faktörünün ise azaldığı gözlenmiştir. Bu değerlerin heterojen olan engel yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmüştür (Aydoğan ve ark., 2005).

N-Si Schottky diyotta pentasen organik arayüzeyi kullanılmış ve arayüzeyin diyotun elektriksel parametrelerini iyileştirdiği görülmüştür (Oyama ve ark., 2011).

Manganez heksamidin (MnHA) organik malzemesi n-tipi silisyuma arayüzey olarak kullanılmış ve diyotun değişik sıcaklıklardaki elektriksel özelliğindeki değişimin belirlenmesi için ölçümler 300-380 K arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları organik arayüzeyin diyot karakteristiğini iyi yönde etkilediğini göstermiştir (Ocak ve ark., 2010).

Kuersetin organik malzemesi p-tipi indiyum fosfit (p-InP) Schottky diyotunda arayüzey olarak kullanılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan ölçümler diyotun fotovoltaik özelliklerinin iyi düzeyde olduğunu göstermiştir (Güllü ve Türüt, 2008).

P-tipi organik bakır ftalosiyanin (CuPc) arayüzeyli Ag / p-CuPc / a-Si / c-Si / Ag Schottky diyotunun analiz sonuçları fotovoltaik özelliklerin iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca diyot ideal diyot davranışı sergilemektedir (Tatar ve ark., 2013).

CuPc organiğinin arayüzey olduğu başka bir Schottky diyot yapısı Al / CuPc / p-InP şeklindedir. Oda sıcaklığında aydınlık ve karanlık ortamda yapılan ölçümler diyotun fotovoltaik özellik gösterdiğini kanıtlamıştır. Diyot, doğrultma özelliği de göstermiştir (Aslan ve ark., 2015).

Kalay ftalosiyanin (SnPc) organik malzemesi n-GaAs Schottky diyotunda arayüzey malzemesi olarak kullanılmıştır. Diyotun ölçümleri sonucunda bariyer yüksekliğinin azaldığı görülmüştür (Vearey-Roberts ve Evans, 2005).

Nigrosin (NIG) organik arayüzeyli, p-tipi silisyum Schottky diyot numuneleri hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında yapılan ölçümler diyotun doğrultucu özellik gösterdiğini kanıtlamıştır (Güllü, 2018).

Bir araştırmacı ise metil kırmızısını p-Si Schottky diyotta arayüzey malzemesi olarak kullanmış karanlık ortamda oda sıcaklığında ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Diyotun ölçüm sonuçları düzeltme davranışı göstermesine rağmen ideallikten uzaktır (Kılıçoğlu, 2008).

Poli [2-metoksi-5-(2-etil) heksoksi-fenilenvinilen] (MEH-PPV) organik yarıiletkeni boron katkılı p-Si Schottky diyotunda arayüzey malzemesi olarak kullanılmıştır. Karanlık ve aydınlık ortamda yapılan ölçümler sonucunda diyotun ışığa

duyarlı olduğu fakat arayüzeyin malzemesinin idealite faktörünü kötü yönde etkilediği görülmüştür (Hamidi, 2011).

Oksazinin organik yarıiletkeni arayüzey olarak kullanılıp Au / OXZ / n-Si / Al kontak yapılı Schottky numuneler hazırlanmıştır. Aydınlık ve karanlık ortamdaki ölçümlerinden diyotun ışığa duyarlı olduğu anlaşılmıştır. 300-375 K arasında yapılan ölçümler sonucu diyot düzeltme davranışı göstermiştir ancak homojen olmayan arayüzeyden kaynaklı olduğu düşünülen bariyer yüksekliği ve idealite faktörü kötü sonuçlar vermiştir (Farag ve ark., 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında organik yarıiletken malzeme olarak PCBM, P3HT ve SAM organik yarıiletkenleri kullanılmıştır.

3.1. Kullanılan Kimyasallar ve Çözeltilerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasalların ve çözeltilerin özellikleri Çizelge 3.1'de listelenmiştir.

Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan kimyasallar

No	Kimyasal Adı	Derişimi	Kimyasal Formülü	Üretici Firma
1	Aseton		C_3H_6O	Sigma Aldrich
2	Etanol	99,80%	C_2H_5OH	Sigma Aldrich
3	İzopropanol		C_3H_8O	Sigma Aldrich
4	Dimetil sülfoksit (DMSO)		C_2H_6OS	Sigma Aldrich
5	PCBM (10mg/ml)	99,50%	6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester	Kintec
6	P3HT (20mg/ml)	93,00%	Poli(3-hekziltiyofen-2,5-diil)	Lumtec
7	Hegzan		C_6H_{14}	
8	Azot (basınçlı gaz halinde)		N_2	
9	Hidroflorik asit	14,30%	HF	

6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM) Çözeltilerinin Hazırlanması

PCBM organik yarıiletkeninin diyotlarda çok kullanılmasının sebebi kullanım kolaylığı ve elektriksel özelliklere etkisidir. Havaya duyarlı bir malzeme olduğu için glovebox içerisinde inert ortamda tartılarak kütlece % 2 ve % 3'lük çözeltiler hacimsel olarak 1:1 orandaki klorobenzen:kloroform karışımı içerisinde en az bir gece boyunca çözündürülmüştür (20 miligram (mg) PCBM/mililitre (mL) çözücü - % 2 ve 30 mg PCBM/mL çözücü- %3).

Poli(3-hekziltiyofen-2,5-diil) (P3HT) Çözeltilerinin Hazırlanması

P3HT çözeltisi % 2'lik derişimde klorobenzen çözücü içerisinde hazırlanmıştır. Aynı şekilde tartım ve karıştırma işlemleri inert glovebox ortamında gerçekleştirilmiştir. Tam çözünmenin sağlanması için en az bir gece boyunca 70 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır.

DMSO (Dimetil sülfoksit)

Deneyde yüzeye kaplanan SAM moleküllerinin fazlasını temizlemek amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 3.1'de verilen çözeltiler kullanılmadan önce içerisinde kalan parçacıklardan arındırılması amacıyla 0,45 mikrometre (μm) gözenekli politetrafloroetilen (PTFE) filtreden süzülmüştür.

3.2. Kaplama Teknikleri ve Kullanılan Cihazlar

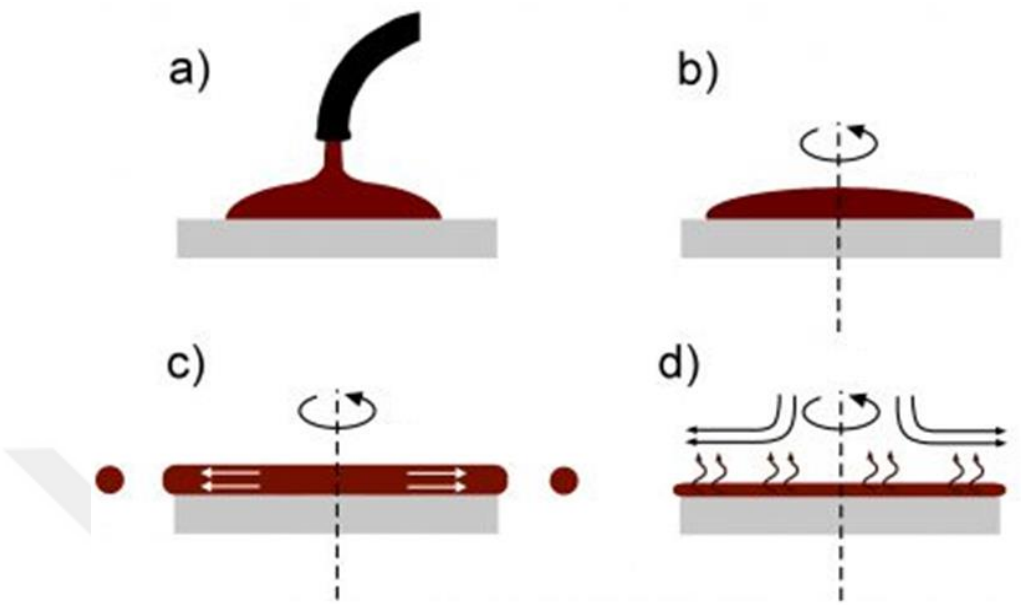
3.2.1. Spin (döngüsel) kaplama yöntemi

Döngüsel kaplama düz yüzeylerde ince film tabaka kaplamak için kullanılan bir kaplama yöntemidir. Kaplama yapılacak ortamda vakum, ısı gibi özellikler beklenmediğinden bu yöntem oldukça ucuz ve kolaydır. Az miktarda malzeme, kaplanacak tabakanın ortasına uygulanarak istenilen hızlarda belirtilen zaman süresi boyunca döndürülerek uygulanır. Bu proses için kullanılan cihazlara spin kaplayıcı veya sadece spinner denir. Bu kaplama yönteminde uygulanan kaplama malzemesi genellikle uçucudur ve işlem sırasında aynı anda buharlaşır. Filmin kalınlığı da çözeltinin ve çözücünün viskozitesi, kuruma hızı, konsantrasyonu ve yüzey gerilimi gibi özelliklere bağlı olduğu gibi son dönme hızı, kaplama süresi ve hızlanma basamakları gibi parametrelere de bağlıdır (Tyona, 2013; Bozkurt, 2017).

Döngüsel kaplama yönteminin matematiksel modellemesine bakıldığında burada en önemli faktörlerden biri döndürme hızıdır. Bu kaplama yöntemindeki döndürme hareketinin mekanik bir dişli değil de havayla yapılıyor olması cihazdaki titreşimi engellediğinden kaplama kalitesini oldukça etkilemektedir. Kaplanacak yüzeyin hızı devir/dakika (dev/dk), kaplama sıvısına uygulanan radyal (santrifüj) kuvvet derecesini ve aynı zamanda havanın karakteristik türbülansını ve hızını etkiler. Kaplama kalınlığı ile hız arasında ters orantı vardır. Eğme açısal hızı ne kadar artırılsa film tabakası o kadar ince olur (Tyona, 2013; Bozkurt, 2017).

Spin kaplama metodu istenilen ince filme bağlı olarak statik veya dinamik olarak gerçekleştirilebilir. Statik döngüsel kaplama yönteminde akışkan madde durağan haldeki yüzey üzerine eklenir ve ardından spin kaplama yapılır. Dinamik spin kaplama yönteminde ise yüzey istenilen dönme hızına ulaştıktan sonra akışkan madde dönen

yüzey üzerine yüklenir. Dinamik yöntem ile elde edilen film statik yönteme göre elde edilen filmden daha ince olmaktadır (Tyona, 2013).



Şekil 3.1. Döngüsel (spin) kaplama

Spin-kaplama yöntemi sırasında Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 4 temel aşama gerçekleşmektedir. Birinci aşama akışkan maddenin yüzeye yayılmasını içerir. İkinci aşama dönüşün başlamasıyla hızlıca gerçekleşen akışkanın yüzeye kaplanmasıdır. Üçüncü aşama ise filmin kademeli olarak incelmesidir. Bu aşamada film yaklaşık olarak son kalınlığa ulaşır. Son aşamada ise yüzey dönmenin de etkisiyle kurumaya başlar ve film oluşumu tamamlanır (Tyona, 2013). Genel olarak döngüsel kaplama işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyde kalan çözücünün tamamen uzaklaşması ve filmin kurumasının sağlanması için ısıtma işlemi uygulanır.

3.2.2. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi

Yüzey mühendisliğinin amacı; belirli endüstriyel uygulamalar için en ekonomik ve optimum yüzey özellik tasarımlarını sağlayacak uygun teknolojilerin ortaya konmasını sağlamaktır. PVD (Physical Vapour Deposition) yöntemleri kullanılarak üretilen ince seramik film kaplamalar, malzemenin aşınmaya karşı dayanımını yükselten etkili bir yöntem olmasının yanısıra uygun kaplama parametreleri seçildiğinde taban malzemenin kullanım ömrünü ve ticari değerini önemli ölçüde etkilemektedir (Huang ve ark., 2003).

Bu teknik, vakum altında bulundurulan malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçratılarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplama yapılacak yüzeye atomsal veya iyonsal olarak biriktirilmesi esasına dayanır.

PVD kaplamalar, sertlik, aşınma ve korozyon direncinin artırılması amacıyla yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yüksek işlem maliyeti, sınırlı kaplama alanı, düşük kaplama hızı gibi bazı dezavantajlara da sahiptir. PVD yöntemi, uygulanma kolaylığı, taban malzemenin mikro yapısına zarar vermemesi, ölçüsel tolerans değişikliğine gerek duyulmaması vb. özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Aytaç ve ark., 2016).

Tez çalışması kapsamında Al ve In olmak üzere 2 farklı metal PVD yöntemiyle kaplanmıştır.

3.2.3. Kullanılan cihazlar

Bu tez çalışmasında kullanılan deneysel aygıtlar ve kullanım alanları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

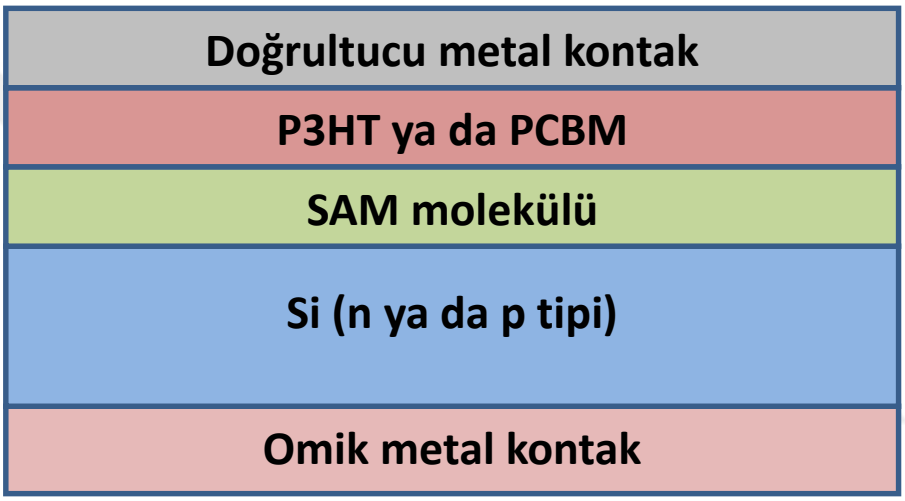
Çizelge 3.2. Tez çalışmasında kullanılan cihazlar

No	Cihazın Adı	Cihazın Markası ve Modeli	Deneyde Kullanım Alanı
1	Spin (döngüsel) Kaplama	Laurell WS-400BZ-GNPP/LITE	PCBM ve P3HT kaplama
2	PVD (glove box)	MB EVAP 200B	Al kaplama: p-Si metallerine (omik kontak) ve her iki tipe (doğrultucu kontak)
3	PVD	VAKSİS	n-Si metallerine In kaplama (omik kontak)
4	Akım kaynağı	Keithley 2410 1100V Source Meter	I-V ölçümleri

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında, alt tabaka olarak (100) düzleminde kesilmiş tek kristalli n-tipi ve p-tipi silisyum yarıiletken kullanılmıştır. İlk aşamada 4'er kare parçaya ayrılan Si metallerinin yüzeyi bilinen temizleme yöntemleri ile temizlenmiştir. Temizleme işlemi, Radio Corporation of America (RCA) yöntemine uygun olarak saf su, etanol, hegzan, aseton ve izopropanol ile temizlenmiş ardından azot gazı (N_2) ile kurutulmuştur. Daha

sonra, elde edilmiş olan yüzeyi temizlenmiş numunenin arka yüzeyine, ısısal buharlaştırma sisteminde yüksek saflıkta (% 99.99) In ve Al ile omik kontak yapılmıştır. Kontak işlemi sonrasında yüzeyler 2-OMe türü SAM molekülü ile modifiye edilmiştir. Bu işlem için SAM molekülünün 1.10^{-5} M'lık çözeltisi hazırlanarak Si tabakalar 1 gece boyunca bu çözücü içinde bekletilmiştir. Devamında modifiye edilmiş ve edilmemiş yüzeyler P3HT ya da PCBM ile spin kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Organik katman üzerine ise uygun yüksek saflıktaki Al metali ile PVD sistemi yardımıyla doğrultucu kontakları yapılarak aygıt hazır hale getirilmiştir. Elde edilen aygıtların temel kesit görünümü ise Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Elde edilen diyot yapısının temel kesit görünümü.

Çizelge 3.3. Hazırlanan Schottky diyotların kodları

Numune no	Numune Yapısı
D-1	Al/P3HT/n-Si
D-2	Al/P3HT/SAM/n-Si
D-3	Al/P3HT/p-Si
D-4	Al/P3HT/SAM/p-Si
D-5	Al/PCBM/n-Si
D-6	Al/ PCBM/SAM/n-Si
D-7	Al/ PCBM/p-Si
D-8	Al/ PCBM /SAM/p-Si

Tez çalışmasında kullanılan SAM moleküllü ve SAM molekülsüz hazırlanan 8 adet numunenin her bir Schottky diyot yapısına verilen kod numaraları aşağıdaki Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Çizelgeye omik kontaklar dahil edilmeden doğrultucu kontaklar, organik yarıiletken türleri ve SAM moleküllerinin kullanıldığı diyot kodları belirtilmiştir.

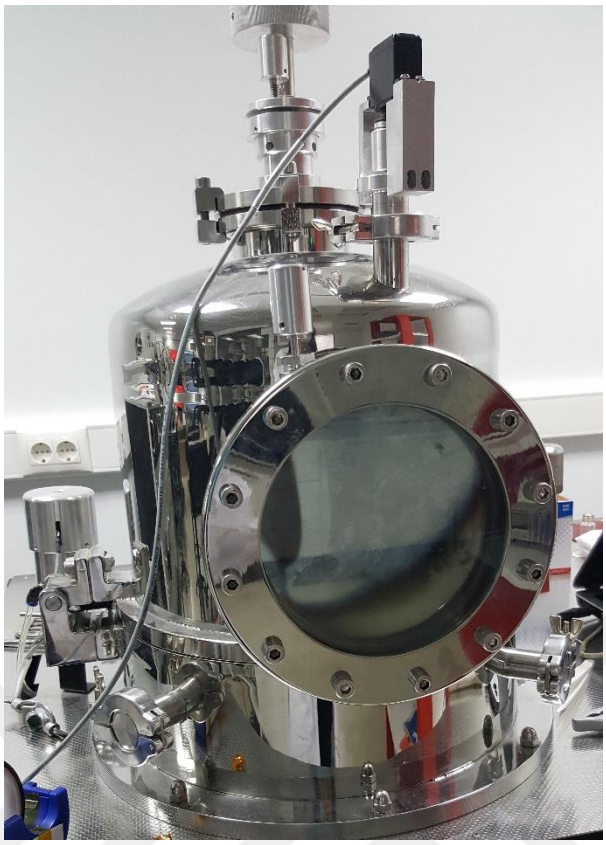
3.3.1. Omik metal kontak oluşumu

Omik kontak kalitesini arttırmak amacıyla kaplamadan önce metal numuneler ısıl işlemden geçirilerek yüzeylerinde elektronca zengin bir tabaka oluşturulmuştur. 300-330℃ sıcaklığa 3-5 dakika maruz bırakılan metal numuneler istenilen yüzey özelliklerine erişmiştir.

3.3.1.1. N-tipi silisyumlarda omik kontak oluşumu

Temizleme işlemi tamamlanan 4 adet n-Si metal plakaları PVD yöntemi ile In kaplanması için Şekil 3.3'te gösterilen temiz odadaki Vaksis'e mat yüzeylerine kaplama yapılacak şekilde yerleştirilmiştir. 2 parça In metali, yüksek sıcaklıklara dayanabilen Şekil 3.4'te görseli sunulan volfram olarak da bilinen tungsten metalinden yapılmış plakanın üzerine koyulmuştur.

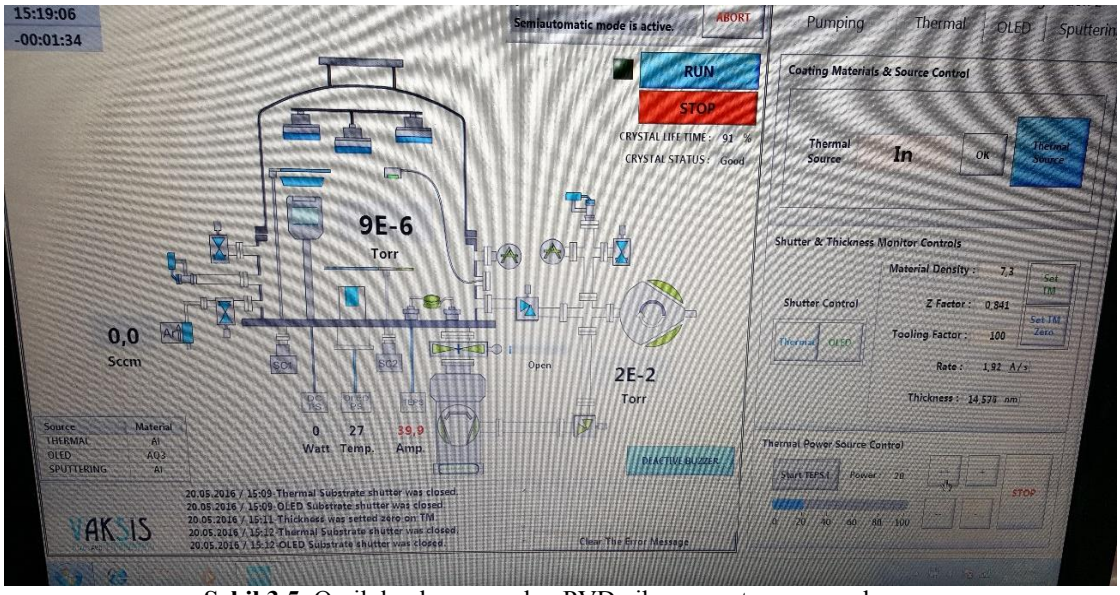
Kaplama için cihaza Şekil 3.4'teki gerekli parametreler girilmiştir. In yoğunluğu 7.3 gram (g)/cm^3 ve z faktörü 0.841'dir. In metalinin yüzey üzerinde homojen dağılabilmesi için vakumun düşmesi beklenmelidir. Vakum değeri 9.10^{-6} Torr'a düştüğünde buharlaşma için akım yükseltilmeye başlanmıştır. Akım yavaş yavaş yükseltilerek % 18-19 civarına getirildiğinde In buharlaşmaya başlamıştır. Akım yüzdesi maksimum % 22 değerine kadar çıkarılmıştır. Kaplama hızı olan rate değeri 0.3 angström (Å)/saniye (sn)'den 4 Å/sn'ye kadar çıkmıştır. N-Si metallerine kaplanan In 150 nm kalınlığına eriştikten sonra kaplama işlemi durdurulmuştur.



Şekil 3.3. Omik kontak için kullanılan PVD cihazı



Şekil 3.4. Kaplanacak numunenin yerleştirildiği tungsten



Şekil 3.5. Omik kaplama yapılan PVD cihazının otomasyon ekranı

3.3.1.2. P-tipi silisyumlarda omik kontak oluşumu

Temizlenmiş 4 adet p-Si metal parçalar Al kaplanması için Şekil 3.6'da gösterilen temiz odadaki Glove box'ın içine monteli, Şekil 3.7'deki PVD cihazının içine yerleştirilmiştir.



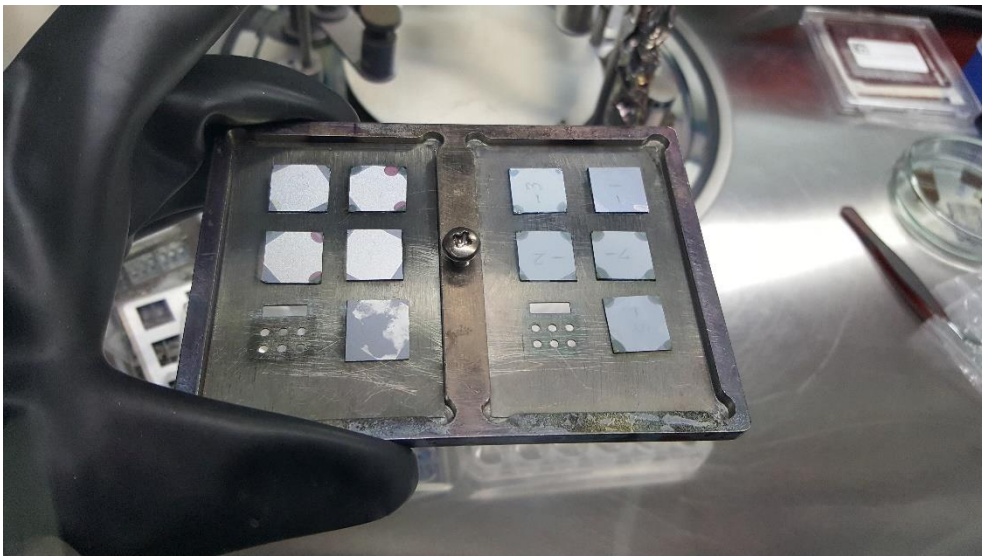
Şekil 3.6: Glove box



Şekil 3.7. Doğrultucu kontak oluşumunda kullanılan glove box monteli PVD cihazı

Tungstene yeterli miktarda Al metali yerleştirilip cihaza gerekli parametreler girilmiştir. Al yoğunluğu 2.7 g/cm^3'tür. Cihaz içinde kaplanan yüzey ile kaplama malzemesi arasında, kaplanan yüzeye yakın mesafede bir kristal dedektör bulunmaktadır. Bu dedektör kaplama hızını ve kalınlığını ölçmektedir. Kaplanan yüzey ile aynı mesafede olmadığı için tooling düzeltme faktörü cihaza girilmektedir. Tooling faktörü % 100 olarak sisteme girilmiştir. Z faktörü ise 1.05 olarak sisteme girilmiştir.

Vakum değeri 3.10^{-6} Torr değerine kadar düştükten sonra akım yükseltilmeye başlatılmıştır. Akım değeri % 27-28 civarına çıkarıldığında Al metali buharlaşmaya başlamıştır. Rate değeri 0.4 Å/sn'ye ulaştığında kaplama başlatılmıştır. Akım değeri % 42'ye kadar çıkarılmıştır. Rate kaplama hızı 17 Å/sn'ye ulaşmıştır. Kaplama kalınlığı 130 nm'ye ulaşınca kaplama durdurulmuştur. Kaplanan yüzeylerin görüntüsü Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Omik kontakları tamamlanmış numuneler

3.3.2. SAM molekülü kaplama

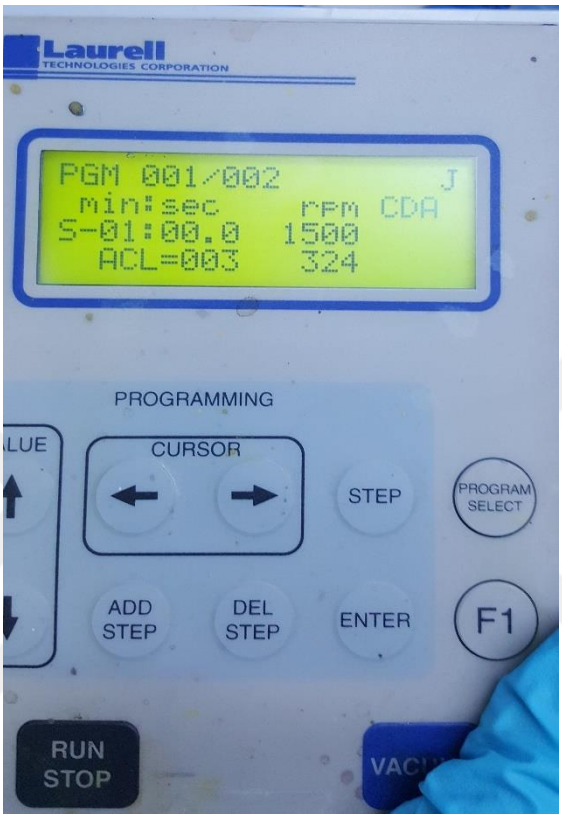
Omik kontakları tamamlanmış olan 2 adet p-Si ve 2 adet n-Si plaka SAM molekülü kaplama işlemi için ayrılmıştır. Bu numunelerden p-tipi olanlara D-4 ve D-8 kodları, n-tipi olanlara ise D-2 ve D-6 kodları verilmiştir. Silisyum metalinin omik kontak için metal kaplanan yüzeyi korunarak, diğer yüzeyine SAM molekülünün daha rahat bağlanabilmesi amacıyla hafif aşındırma işlemi için HF çözeltisi damlatılmış ardından saf sudan geçirilmiştir. Suyu süzüldükten sonra 1 mM'lık hazırlanan dimetil sülfoksit içerisindeki SAM çözeltisinin bulunduğu cam kap içerisine bırakılmıştır. Numuneler 18 saat boyunca SAM çözeltisinde bekletilmiştir. Yüzeydeki fazla SAM'ların temizlenmesi için numuneler DMSO çözeltisinden geçirilmiştir.

3.3.3. Organik yarıiletken (PCBM ve P3HT) kaplama

3.3.3.1. P3HT kaplama

Birer tanesi SAM molekülü kaplanmış 2 adet n-Si ve 2 adet p-Si numunesi P3HT organik yarıiletkeninin spin kaplama yapılması için seçilmiştir. N-tipi silisyum tabanlılardan SAM'sız olan D-1 ve SAM'lı olan D-2 kodlu numuneler tercih edilmiştir. P-tipi silisyum tabanlılardan ise SAM'sız olan D-3 ve SAM'lı olan D-4 kodlu numuneler spin kaplama için ayrılmıştır.

Numuneler sırasıyla vakum deliğine yerleştirilmiştir ve yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde P3HT çözeltisi damlatılmıştır. Şekil 3.9'da görülen spin kaplama cihazının sistemine gerekli parametreler girilmiştir. Numuneler 1500 rpm kaplama devrinde 45 saniye boyunca kaplanmıştır.



Şekil 3.9. Spin kaplama cihazının ekranı

3.3.3.2. PCBM kaplama

P3HT kaplanmamış 2 tane n-tipi, 2 tanesi ise p-tipi olan 4 numune spin tekniği ile PCBM kaplanması için vakum deliğine yerleştirilmiştir. N-tipi silisyum numunelerinden D-5 kodlu olan SAM'sız, D-6 kodlu olan SAM'lıdır. P-tipi silisyum numunelerinde D-7 kodlu olan SAM'sız, D-8 olan ise SAM'lıdır.

Numuneler sırasıyla spin kaplama cihazına yerleştirilerek üzerlerine tamamen kaplanacak şekilde PCBM çözeltisi damlatılmıştır. P3HT çözeltisinin kaplanmasında kullanılan değerler bu kaplamada da sabit tutularak eş değer kaplama kalitesi elde etmek amaçlanmıştır.

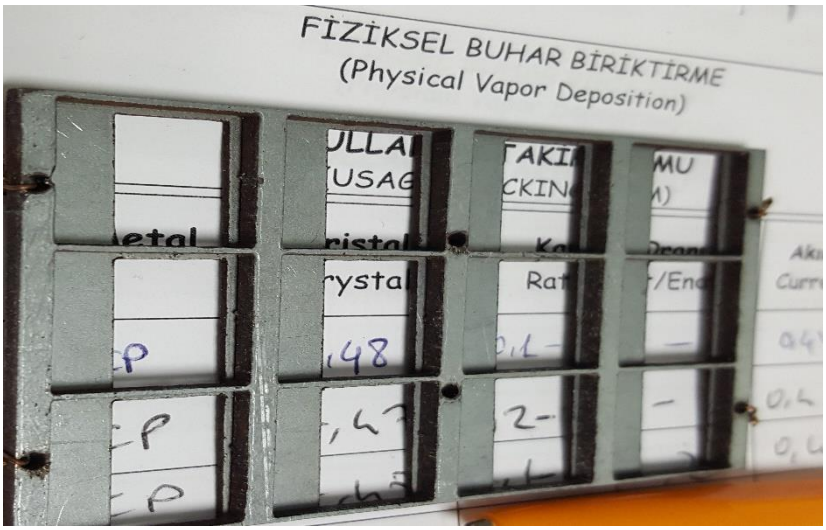
Şekil 3.10'da spin kaplama cihazının görseli sunulmuştur.



Şekil 3.10. Spin kaplama cihazı

3.3.4. Doğrultucu metal kontak oluşumu

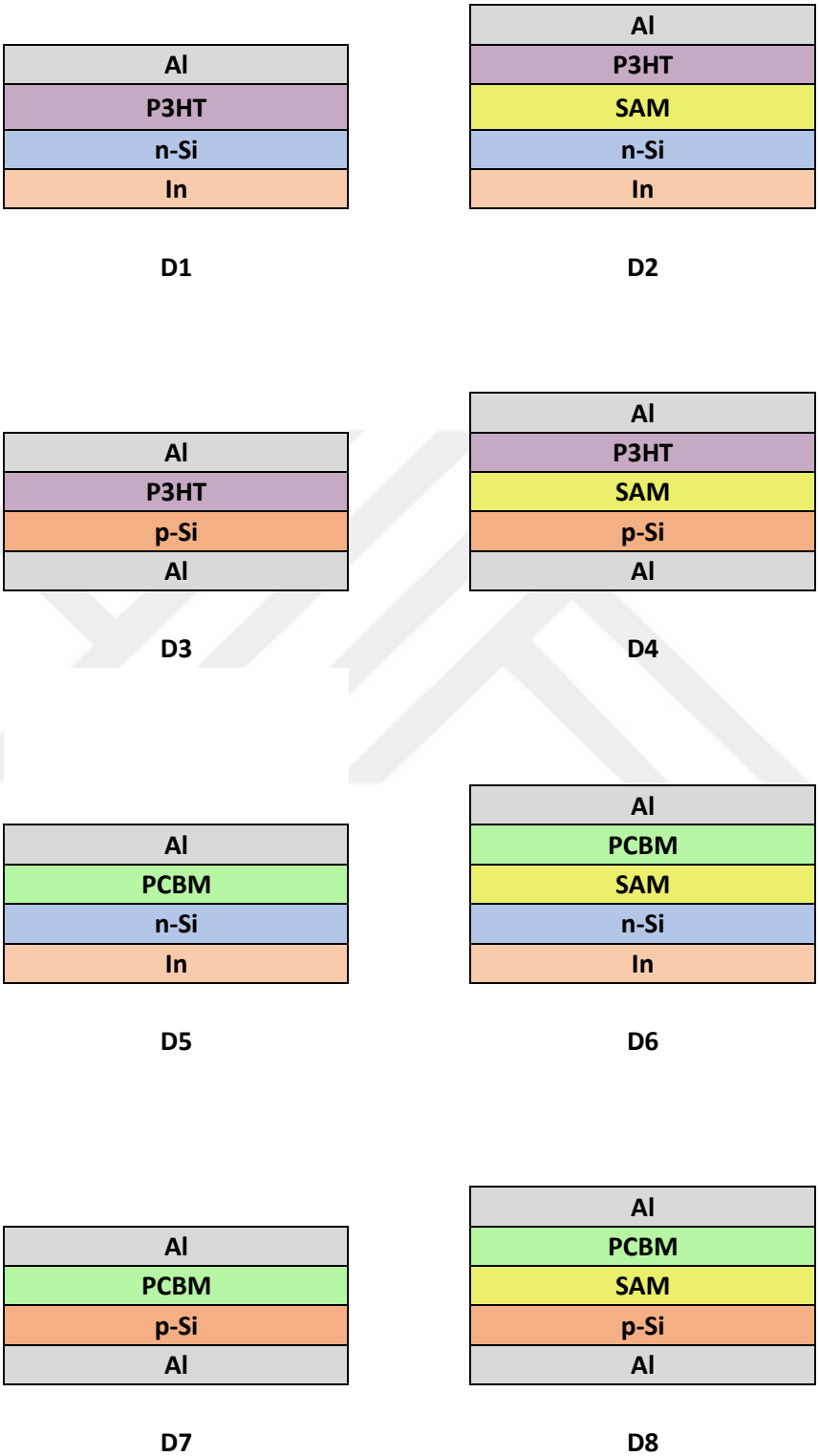
Arayüzeyleri ve omik kontakları tamamlanmış numuneler Al ile doğrultucu kontak oluşumu için tekrar glove box monteli PVD kaplama ünitesine alınmıştır. 1 milimetre (mm) çapındaki 6 noktalı maskeleme ile yapılacak kaplama için numuneler Şekil 3.11'deki cihazın parçasına organik yüzeyler kaplanacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.11. PVD kaplama yapılacak numunelerin yerleştirildiği düzenek

Tungstene yeterli miktarda Al metali koyulup cihaza gerekli parametreler girilmiştir. Al yoğunluğu 2.7 g/cm^3'tür. Tooling faktörü tekrar % 100 olarak tanımlanmıştır. Z faktörü ise 1.05 olarak sisteme girilmiştir.

Vakum değeri 7.10^{-6} Torr değerine kadar düştükten sonra akım yükseltilmeye başlatılmıştır. Akım değeri % 26-27 civarına çıkarıldığında Al metali buharlaşmaya başlamıştır. Rate değeri 0.2 Å/sn'ye ulaştığında kaplama başlatılmıştır. Akım değeri % 42'ye kadar çıkarılmıştır. Rate kaplama hızı 30 Å/sn'ye ulaşmıştır. Kaplama kalınlığı 150 nm'ye ulaşınca kaplama durdurulmuştur. Son olarak 8 farklı numunenin şematik gösterimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Hazırlanan Schottky diyotların şematik gösterimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde n-tipi ve p-tipi silisyum alt tabakalar üzerine P3HT ve PCBM organik yarıiletkenler kaplanarak hazırlanan Schottky diyotlarının oda sıcaklığında karanlık ortamda detaylı (I-V) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda Schottky diyoduna ait bir çok parametre belirlenmiştir. Bu parametrelerden idealite faktörü, bariyer yüksekliği, seri direnç değerleri, hem termoiyonik emisyon teorisi hem de cheung-cheung modeli kullanılarak bulunup karşılaştırılmıştır.

4.1. Hazırlanan Schottky Diyotların I-V Karakteristikleri

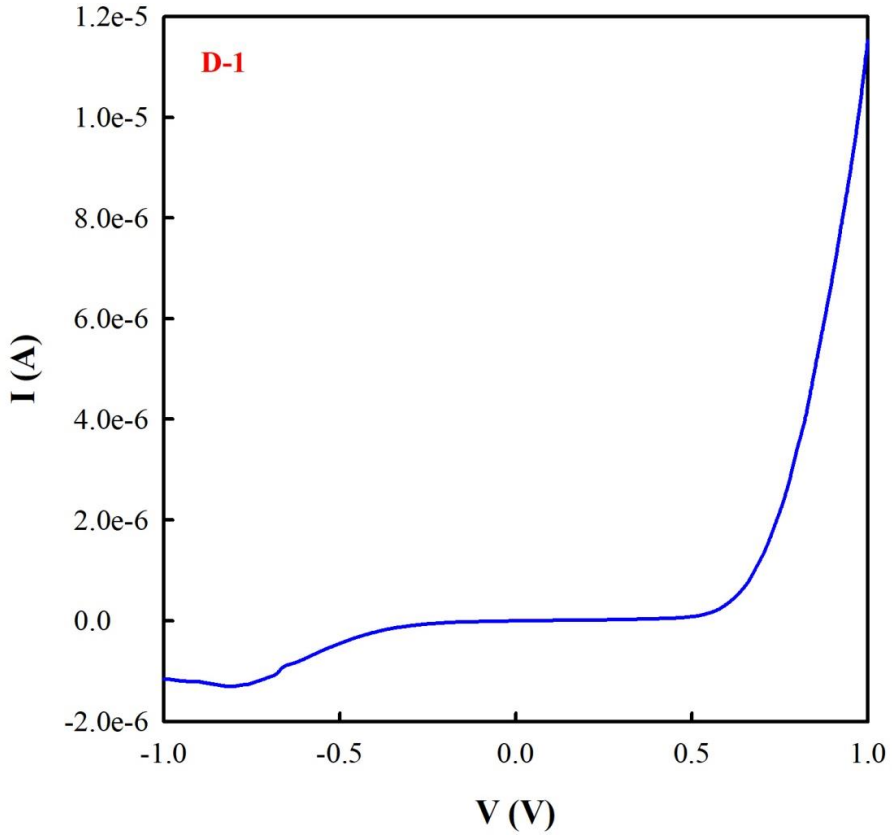
Hazırlanan metal/organik/yarıiletken Schottky diyotlarının I-V karakteristikleri termoiyonik emisyon teorisine göre incelenmiştir. Termoiyonik emisyon teorisinde bir diyodun akım ifadesi,

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

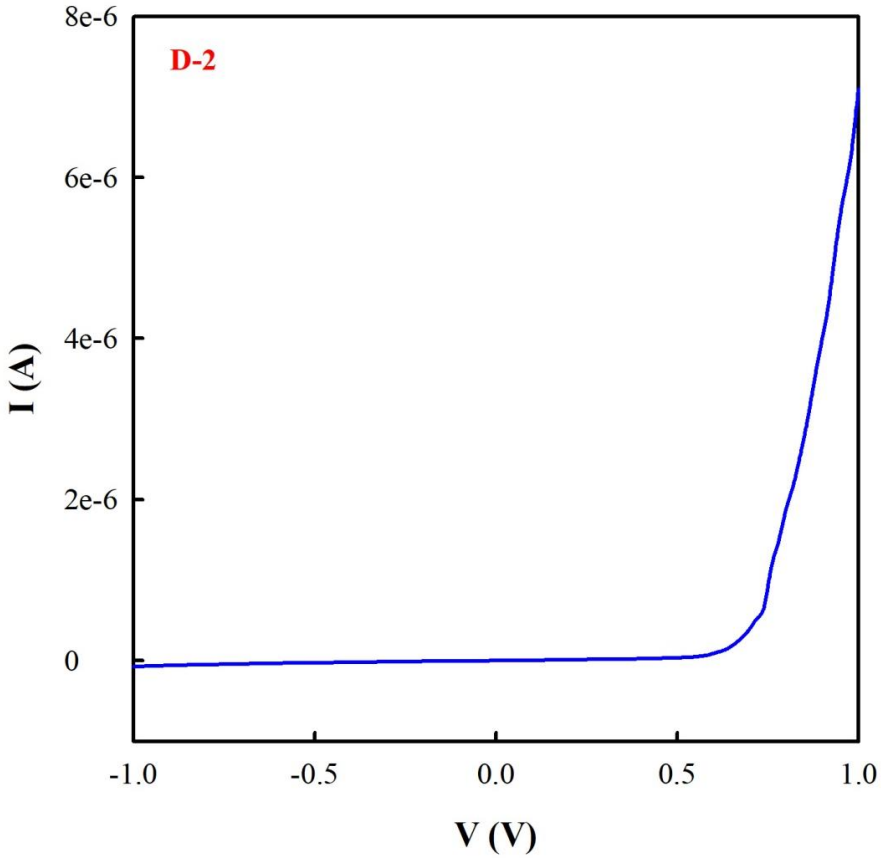
şeklinde yazılır. İfadede q elektron yükü, n idealite faktörü, k Boltzman sabiti, T mutlak sıcaklık, V uygulanan doğru beslem gerilimi ve I_0 amper (A) cinsinden doyma akımıdır. Doyma akımı, yarı-logaritmik *ln*I – V grafiğinde elde edilen eğrinin lineer kısmının sıfır gerilimde yani V = 0 değerinde akım eksenine uygun hale getirilmesiyle bulunur ve

$$I_0 = AA^*T^2 exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \tag{4.2}$$

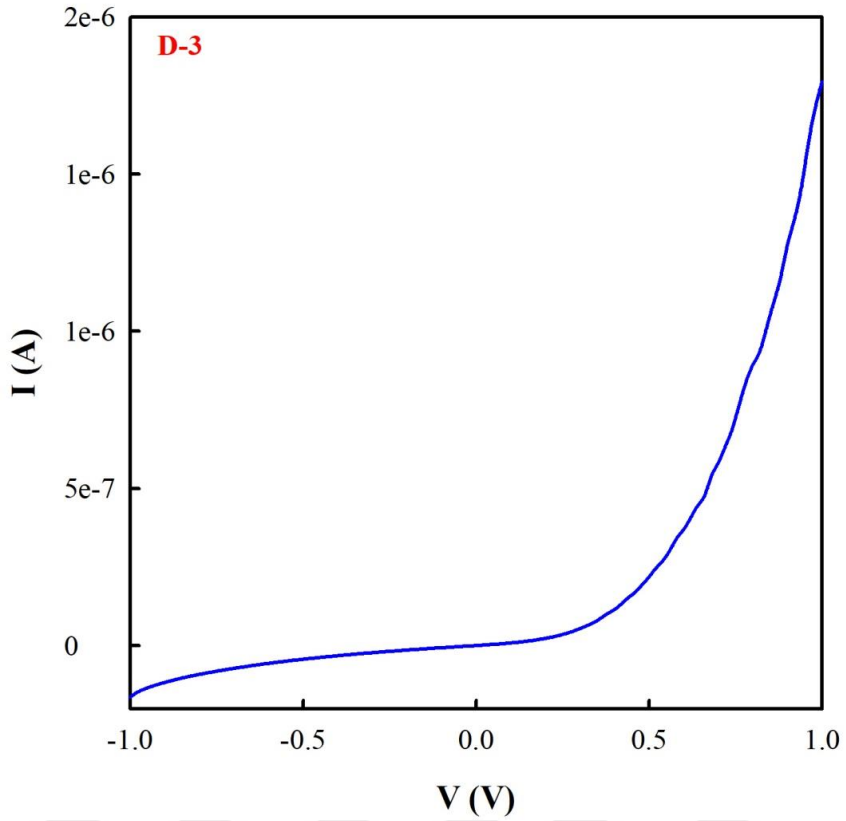
eşitliği ile ifade edilir. İfadede A diyodun doğrultucu kontak alanı (A = 0.0314 cm^2), A^* (n-Si için A^* = 112 A/K^2cm^2 ve p-Si için A^* = 32 A/K^2cm^2) ve Φ_{B0} sıfır beslemdeki engel yüksekliğidir. Şekil 4.1-8'de hazırlanan 8 farklı numunenin oda sıcaklığındaki (T = 300 K) I-V eğrileri verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere doğru beslem kısmında akım üstsel olarak artmıştır. Bu artıştan, hazırlanan diyotların çok iyi doğrultma özelliği gösterdiği söylenebilir.



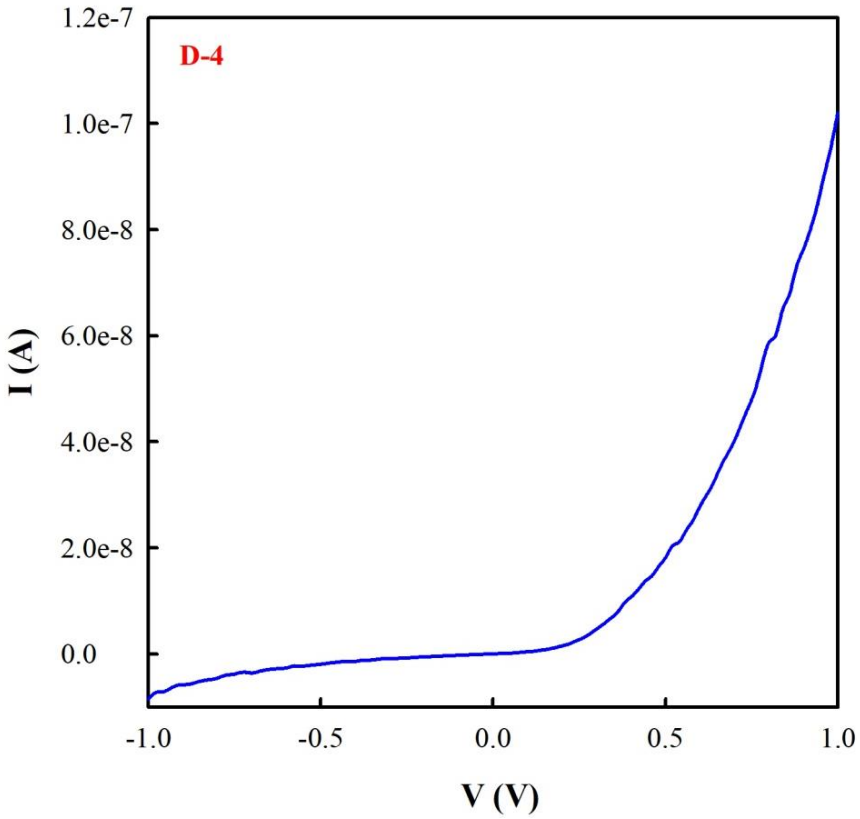
Şekil 4.1. D-1 kodlu numunenin I-V grafiği



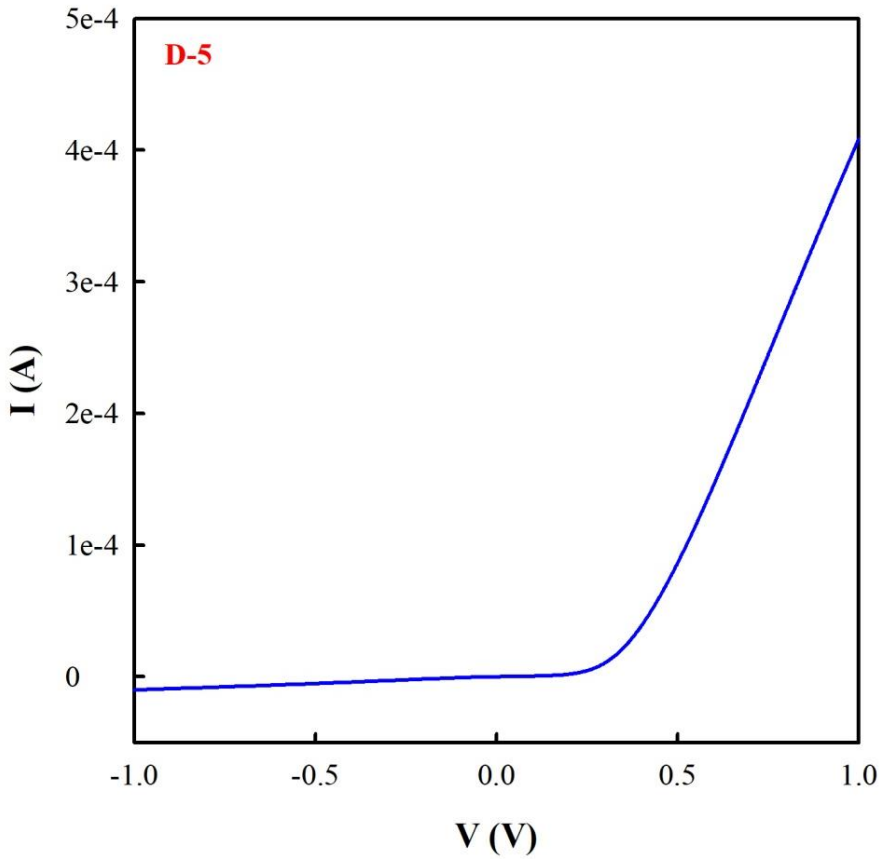
Şekil 4.2. D-2 kodlu numunenin I-V grafiği



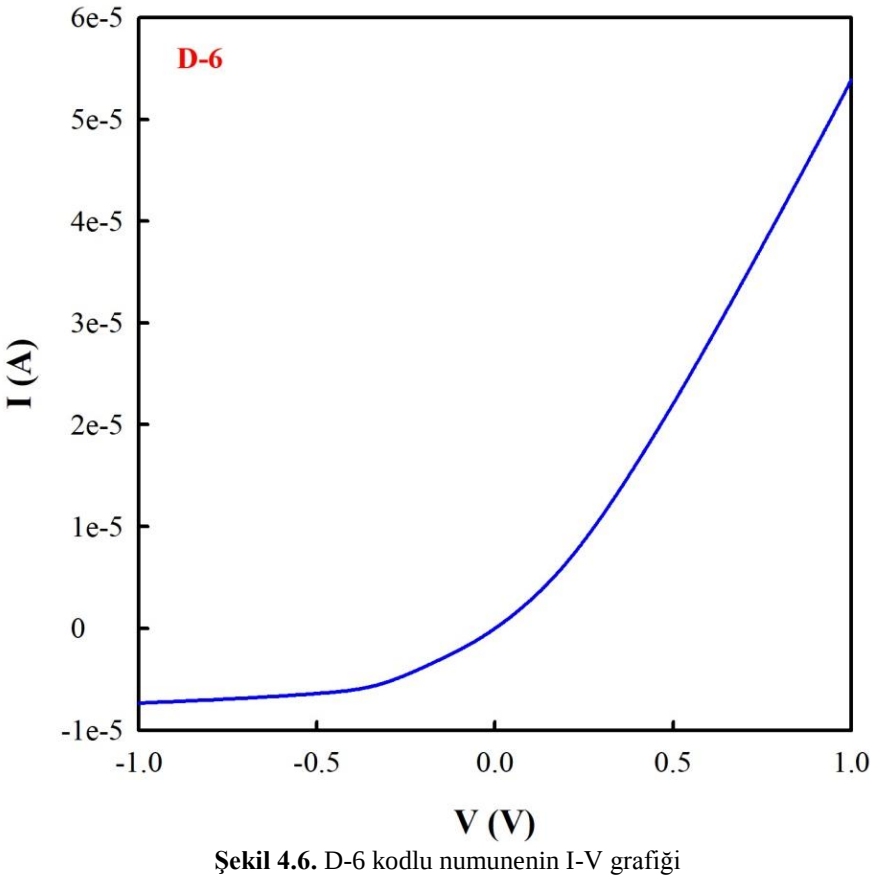
Şekil 4.3. D-3 kodlu numunenin I-V grafiği



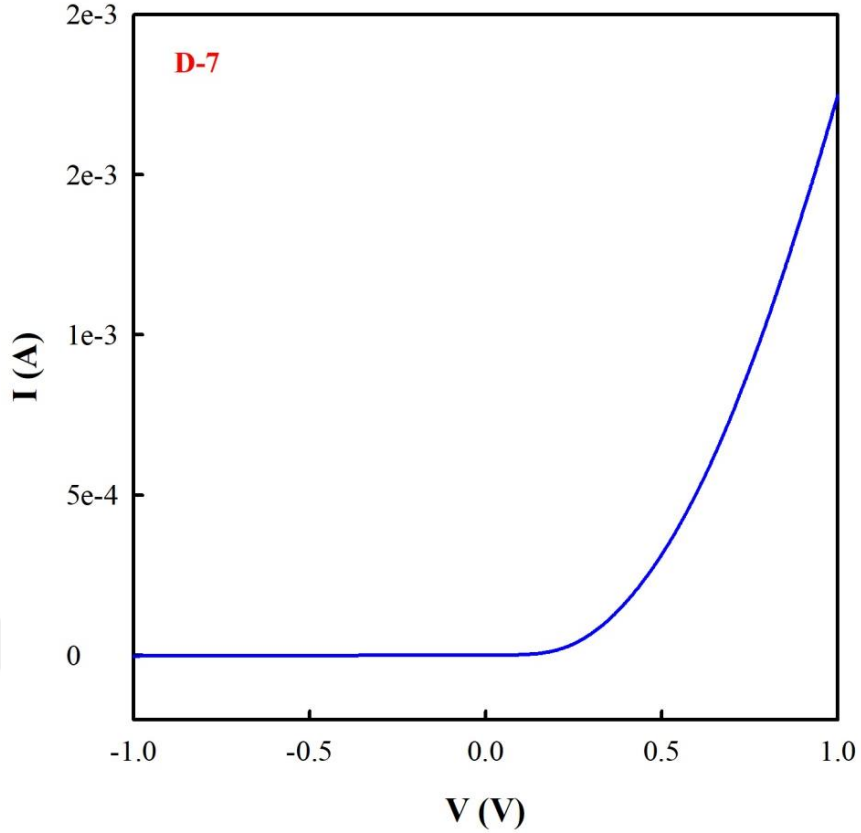
Şekil 4.4. D-4 kodlu numunenin I-V grafiği



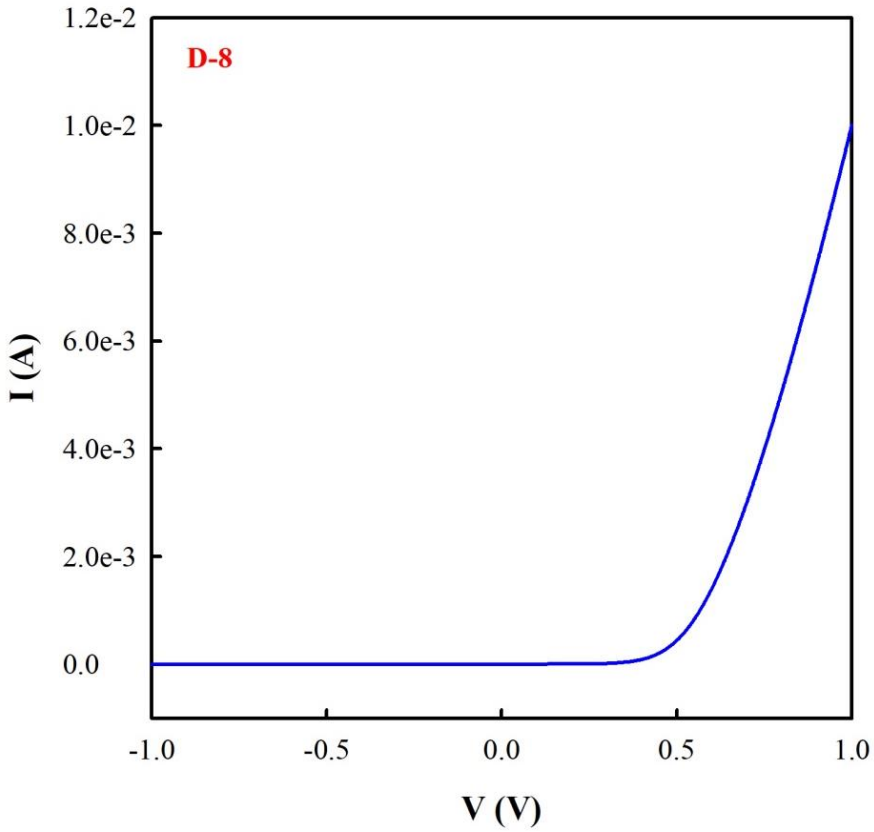
Şekil 4.5. D-5 kodlu numunenin I-V grafiği



Şekil 4.6. D-6 kodlu numunenin I-V grafiği

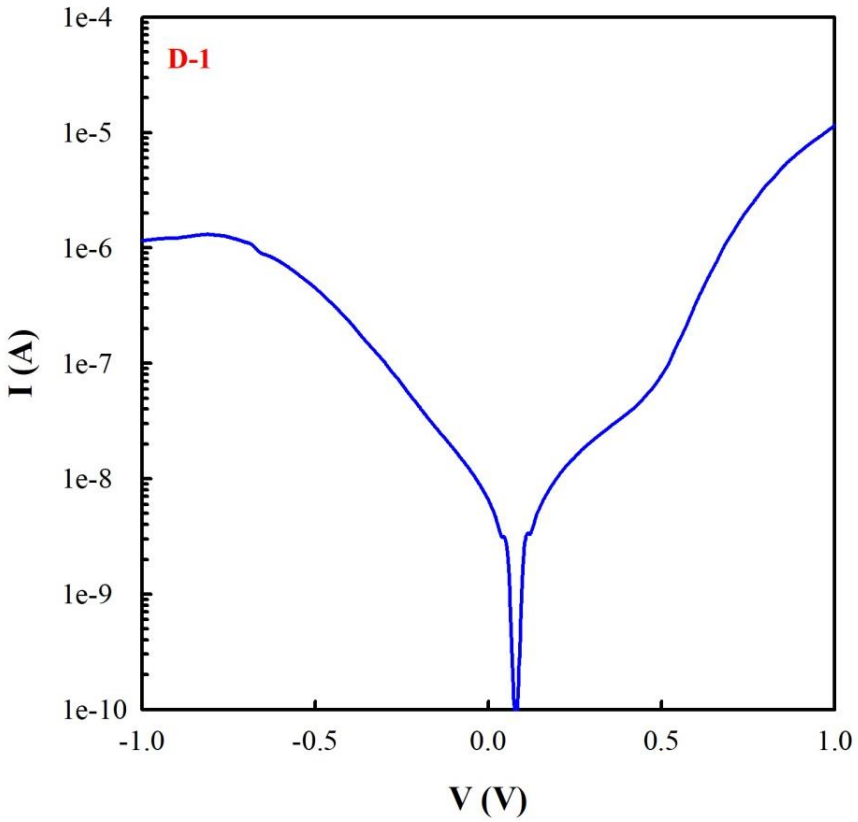


Şekil 4.7. D-7 kodlu numunenin I-V grafiği

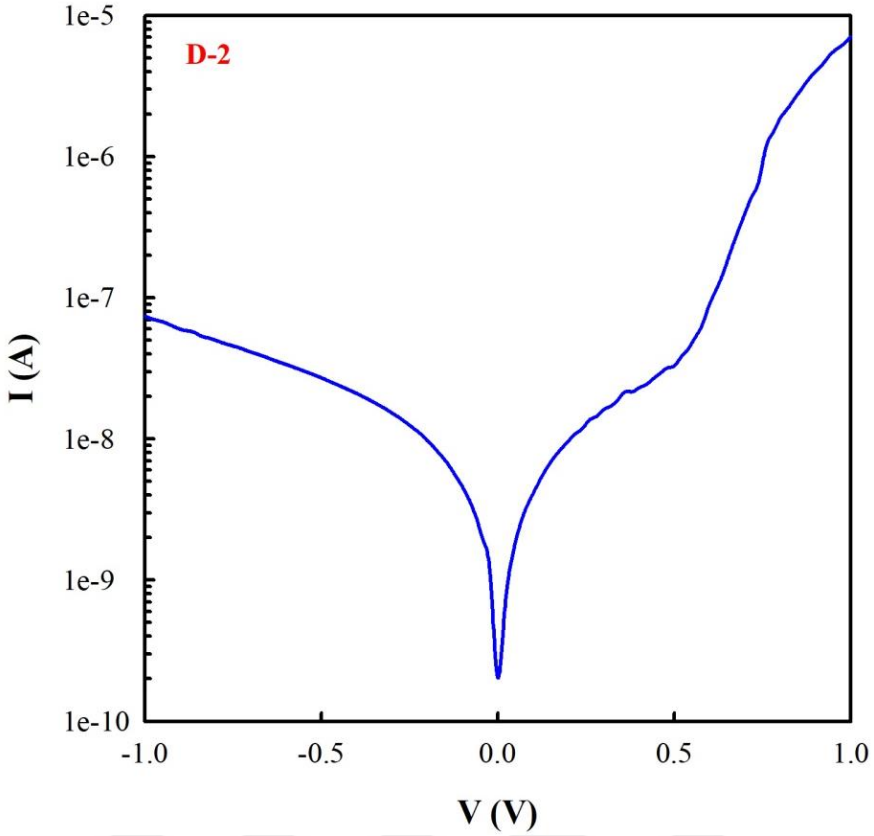


Şekil 4.8. D-8 kodlu numunenin I-V grafiği

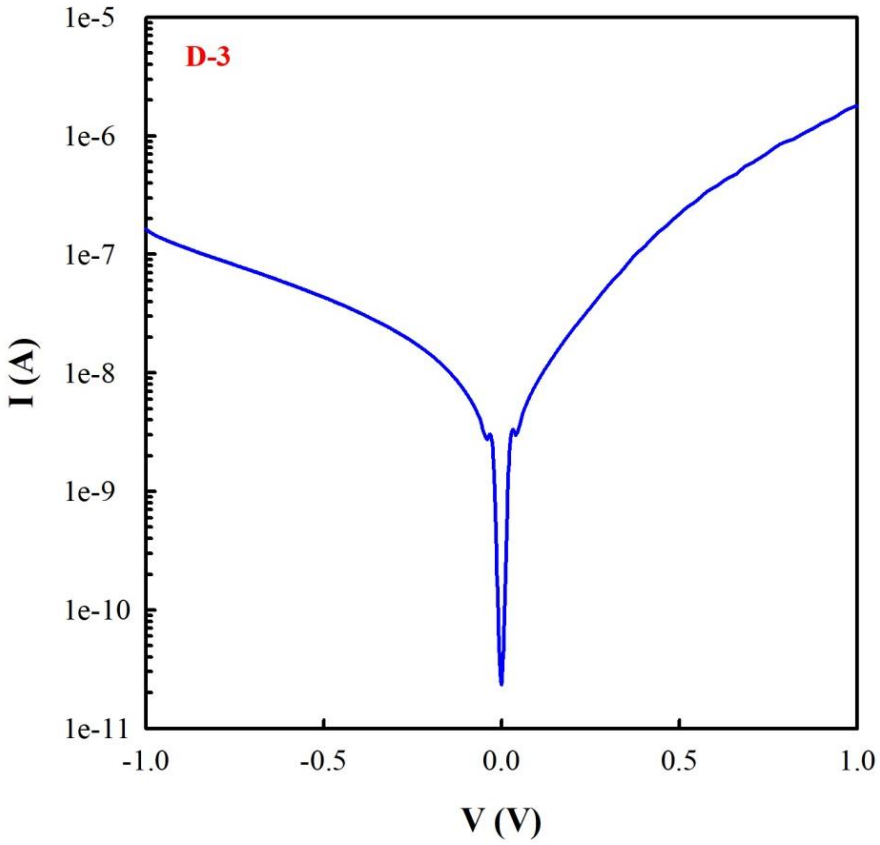
Hazırlanan Schottky diyotların oda sıcaklığındaki yarı logaritmik I-V eğrileri Şekil 4.9-17'de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere hazırlanan Schottky kontaklar oldukça iyi bir diyot davranışı sergilemişlerdir.



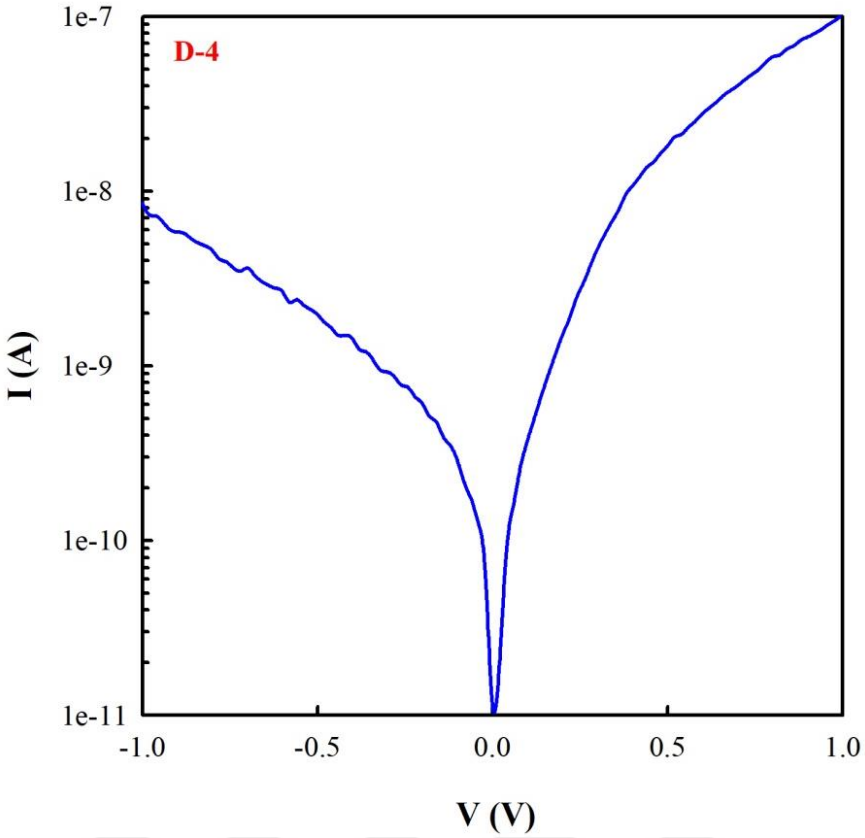
Şekil 4.9. D-1 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



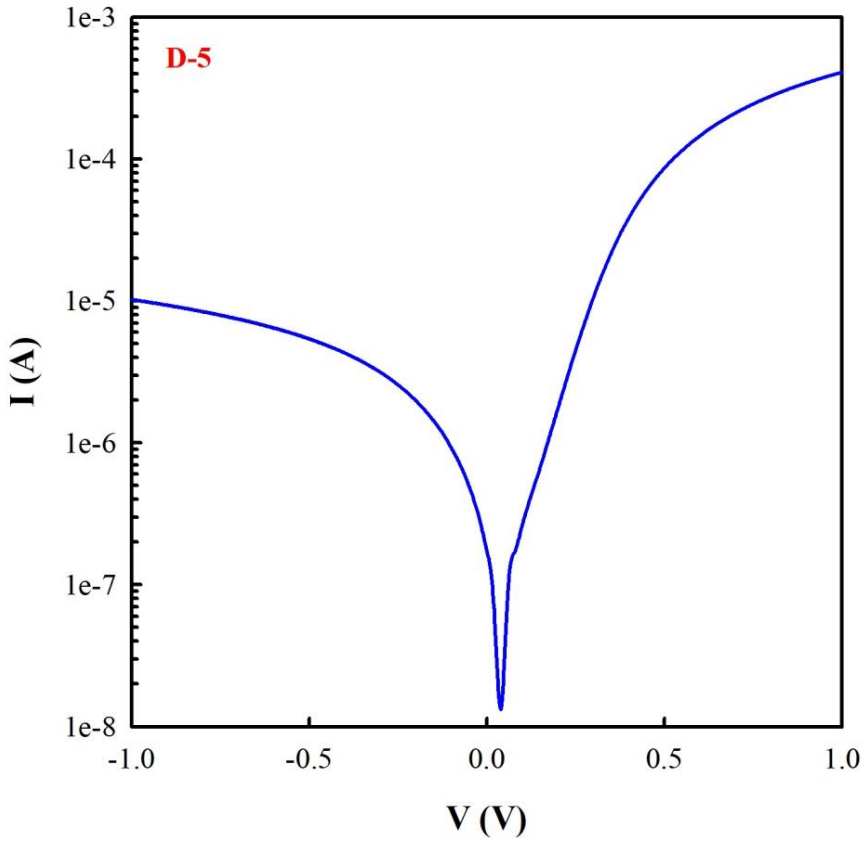
Şekil 4.10. D-2 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



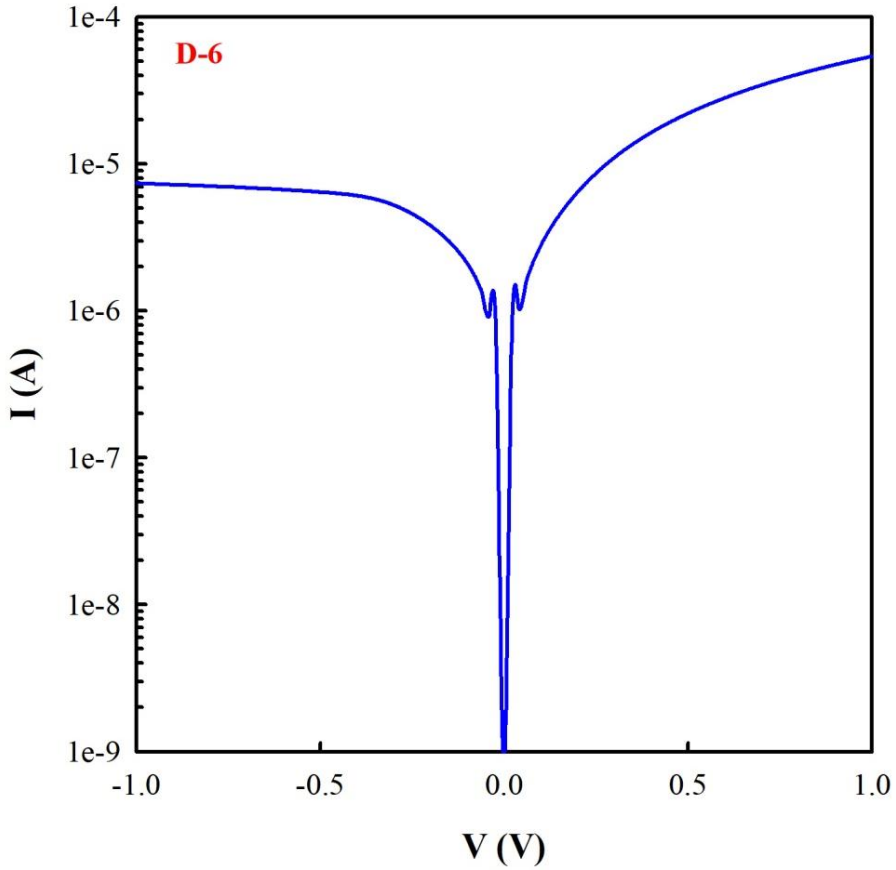
Şekil 4.11. D-3 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



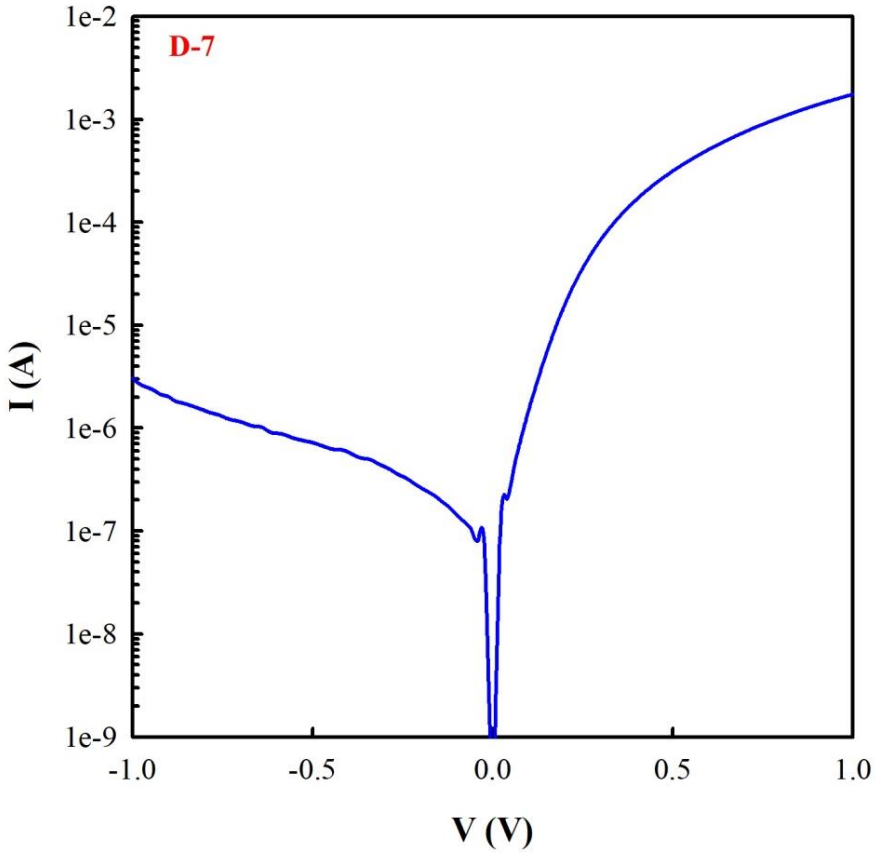
Şekil 4.12. D-4 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



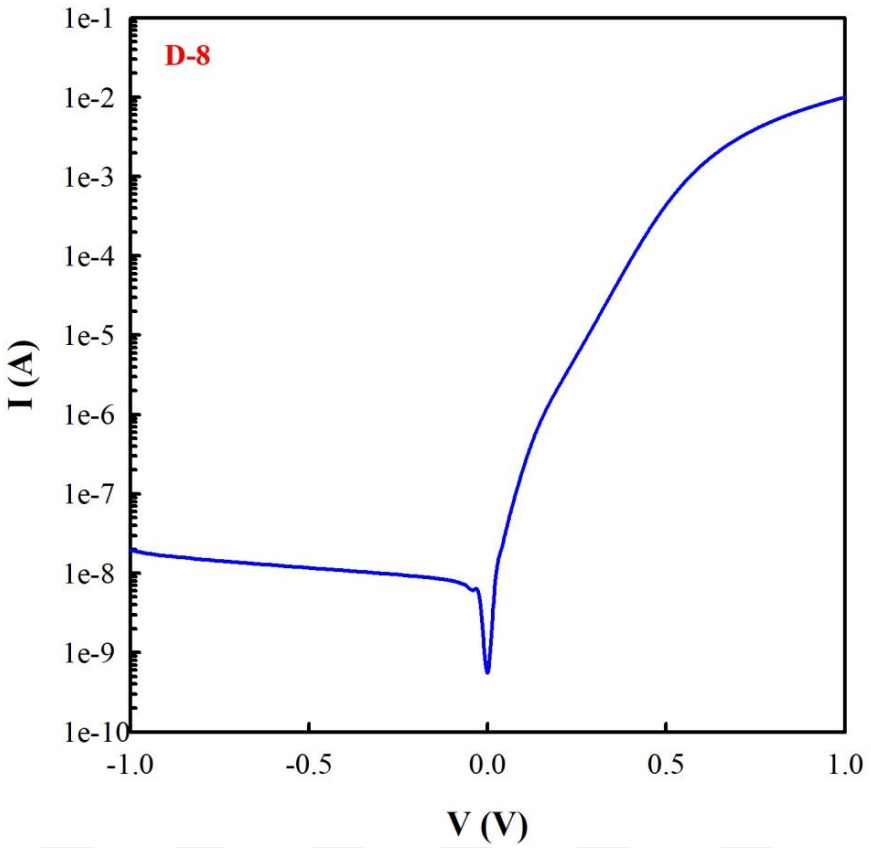
Şekil 4.13. D-5 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



Şekil 4.14. D-6 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



Şekil 4.15. D-7 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği



Şekil 4.16. D-8 kodlu numunenin yarı logaritmik I-V grafiği

Hazırlana diyotların oda sıcaklığında ölçülen I-V karakteristikleri yardımıyla diyotlar için oldukça önemli olan iki parametre, idealite faktörü (n) ve engel (bariyer) yüksekliği (Φ_{B0}) hesaplanabilir. Bu iki parametreden idealite faktörü, diyotun ideal özelliklerden sapmalarını ifade eden boyutsuz bir parametredir. İdeal durumdan sapmalar Schottky diyotlara uygulanan gerilimin tamamı boşalma bölgesine düşmediği zaman gerçekleşir (Çetinkaya, 2019).

İdeal bir diyot için idealite faktörü yaklaşık 1'e eşit olmalıdır. Bir diyodun idealite faktörü, denklem 4.2 ifadesinden faydalanarak, hazırlanan her bir numune için yarı logaritmik akım-gerilim (*ln(*I-V)) eğrisinin lineer bölgesinin eğiminden,

$$n = \frac{q}{kT}\left(\frac{dV}{dlnI}\right) \tag{4.3}$$

şeklinde hesaplanabilir. İki farklı organik yarıiletken kullanılarak hazırlanan Schottky diyotlarının oda sıcaklığındaki idealite faktörü değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bununla birlikte, hazırlanan her bir yapının engel yüksekliği ise, lnI-V grafiklerinin lineer

kısmının sıfır besleme extrapole edilmesiyle bulunan doyma akımları (Φ_{B0}) ve diyot alanları kullanılarak 4.2 denklemi yardımıyla hesaplanır. Hazırlanan her bir yapı için bulunan engel yüksekliği değerleri Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Çizelgede de görüldüğü üzere n değerleri, ideal bir diyot için olması gereken 1 değerinden büyüktür. Özellikle D-3 ve D-7 numunelerinde bu değer daha da büyüktür. Bunun sebebi genellikle, Schottky engel yüksekliğinin ön gerilime bağlılığına atfedilir. Ayrıca, arayüzey durumlarının yoğunlukları, organik film kalınlığındaki homojensizlikler, seri direnç etkisi, üretim-yeniden birleşme süreçleri ve hayali kuvvet azalması gibi faktörler idealite faktörünün 1'den büyük olmasını açıklayan sebeplerdendir (Crowell ve Sze, 1966; Tung ve ark., 1991; Güllü ve ark., 2010).

Hazırladığımız yapıların ideal diyot yapısından uzak olup daha çok metal/yalıtkan/yarıiletken yapıya benzediğini söyleyebiliriz. İdealite faktörü 1.10'dan küçük olduğu zaman diyodun akım iletiminde termoiyonik emisyon teorisi geçerlidir. İdealite faktörünün 1.10'dan daha büyük olduğu diyotlarda ise akım iletim mekanizmasında termoiyonik emisyon teorisi tek başına geçerli değildir (Varlıbaş, 2006).

SAM molekülü ile modifiye edilmiş yapılar modifiyesiz olanlara kıyasla, idealite faktöründe hafif bir azalma gözlenirken, bariyer yüksekliğinde hafif bir artış gözlenmiştir. Özellikle n-tipi silisyum alt tabakalı diyotlarda bu değişimler daha azken, p-tipi silisyumdan yapılmış diyotlarda değişimlikler daha belirgindir.

4.2. Cheung-Cheung Modeli Yardımıyla I-V Karakteristikleri

Yüksek gerilim bölgesinde seri direncin büyük olması halinde diyot üzerine uygulanan gerilimin çoğu R_s üzerinden geçeceğinden I-V grafiğinde gözlenen lineerlik bozulur ve termoiyonik emisyon modeli yetersiz kalır. Bu durumda, diyot parametrelerinin hesaplanmasında R_s'nin de içine katıldığı yeni bir modele ihtiyaç vardır. Cheung-Cheung (Cheung ve Cheung, 1986) tarafından önerilen modelde R_s katkısı dahil edilerek akım ifadesi

$$I = \left[AA^*T^2 exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right)\right]\left[exp\left(\frac{q(V-IR_S)}{nkT}\right)\right] \quad (4.4)$$

şeklinde yazılır. İfadenin her iki tarafının *ln*'i alınarak, ifadeden dV/dln(I) ifadesi çekilirse

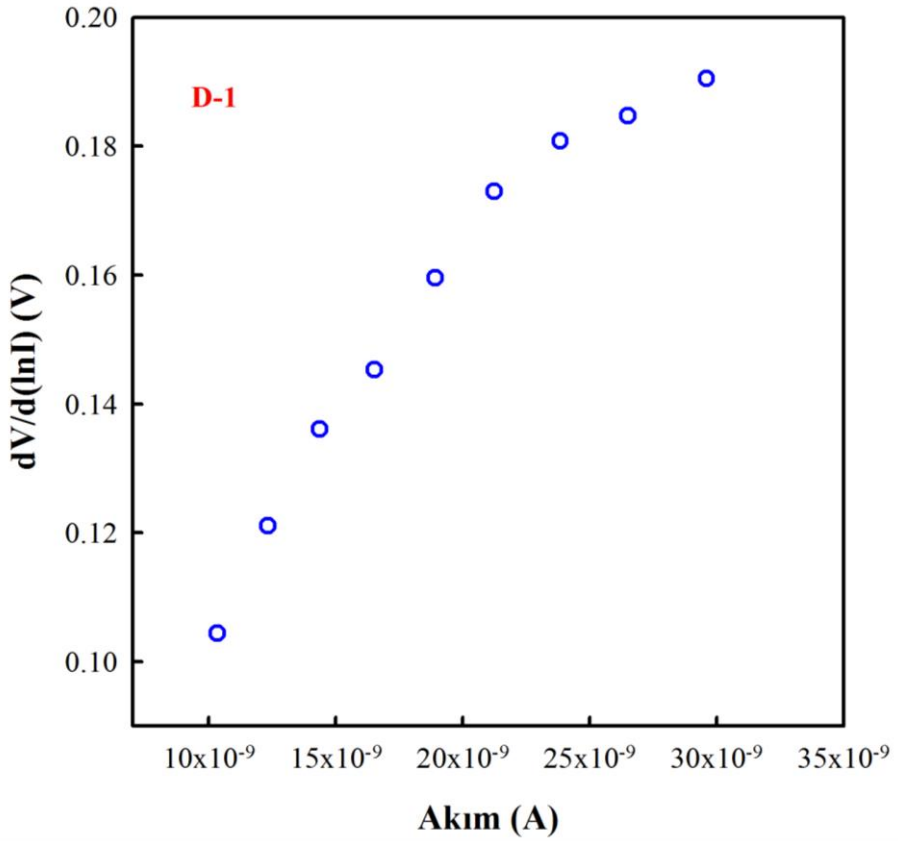
$$\frac{dV}{d(lnI)} = \frac{nkT}{q} + IR_S \tag{4.5}$$

ifadesi elde edilir. Denklem 4.4'ün tekrar *ln*'i alınıp gerekli düzeltmeler yapıldığında,

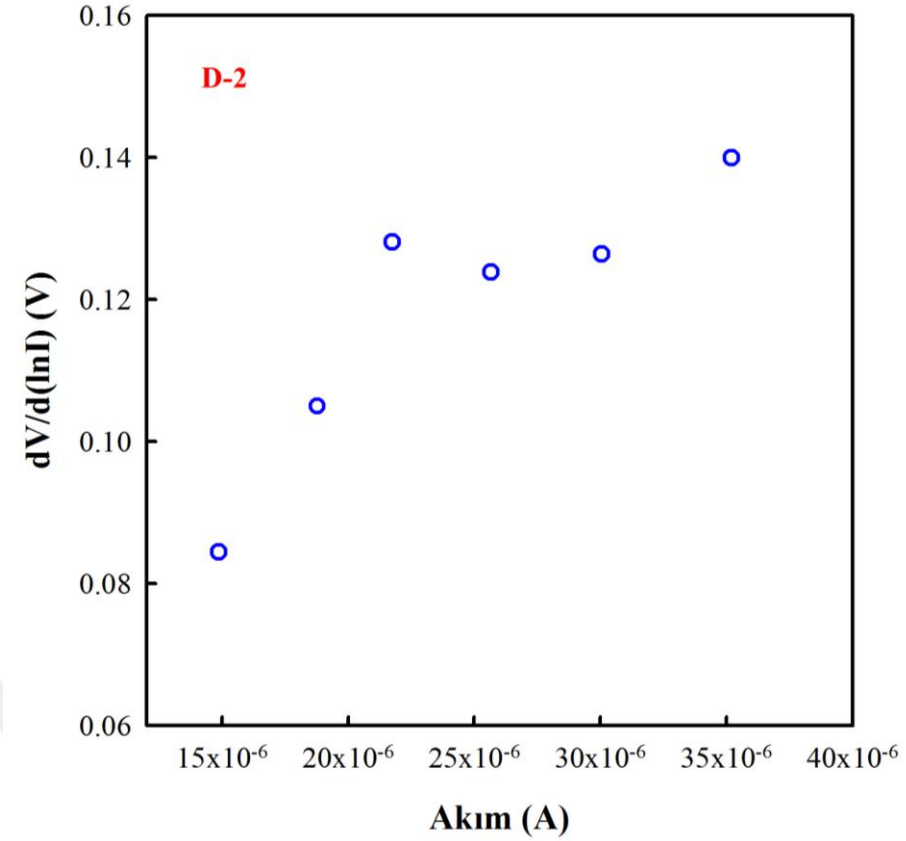
$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) = n\Phi_B + IR_S \tag{4.6}$$

sonucu elde edilir. Denklem 4.5'e göre *dV/dln(I)-I* grafiği çizilip, grafiğin düşey eksenin kesim noktasında idealite faktörü ve grafiğin lineer bölgesinin eğiminden ise diyodun R_s'si kolaylıkla hesaplanır. Benzer şekilde denklem 4.6'nin akıma göre (*H*(*I*) - *I*) grafiği çizildiğinde, grafiğin eğiminden R_s ve eğrinin düşey eksenini kestiği noktada Φ_B elde edilir.

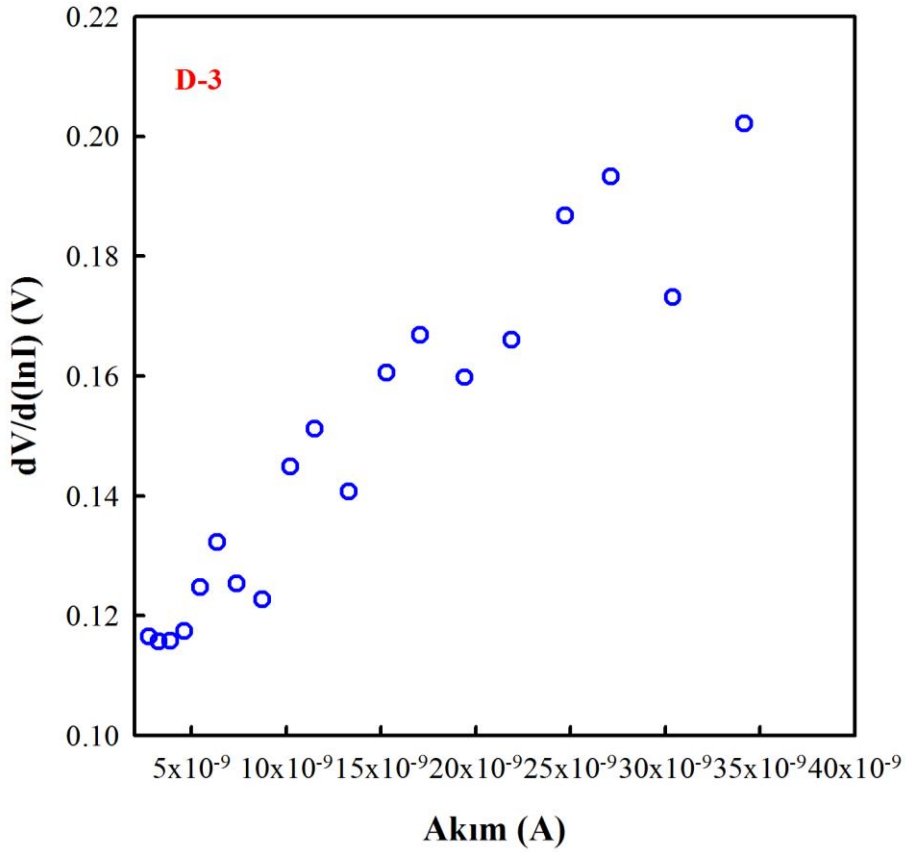
Şekil 4.17-24'de farklı yapılarda hazırlanan diyotları *dV/dln(I)-I* grafikleri verilmiştir. Grafiklerden elde edilen idealite faktörü değerleri akım termoiyonik emisyon teorisinde elde edilen değerlerle oldukça uyumludur.



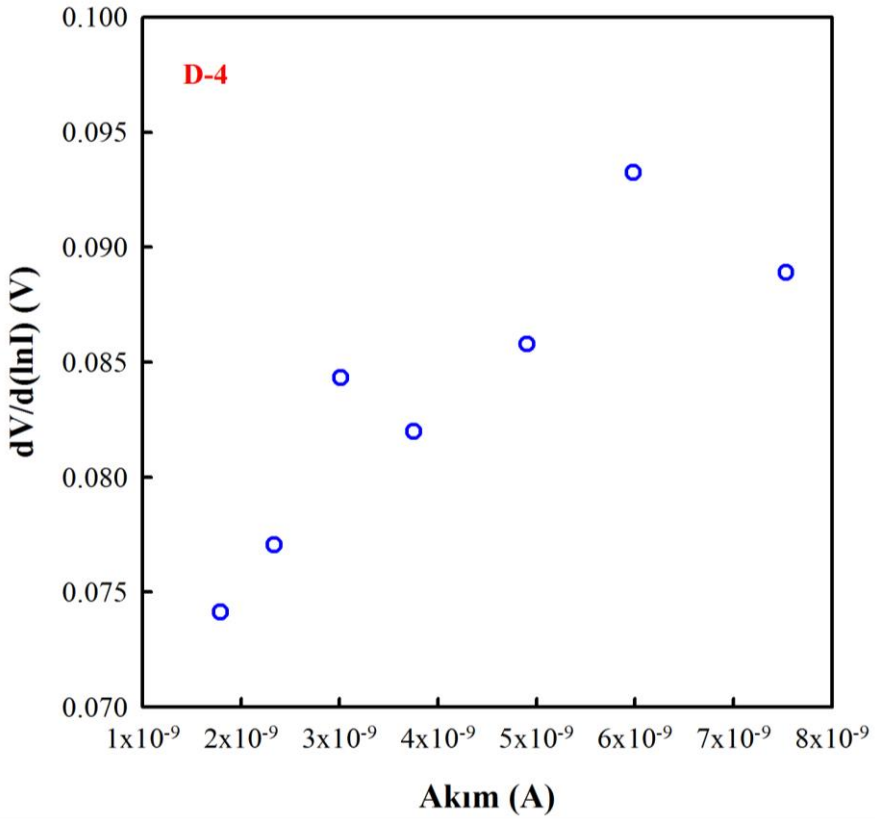
Şekil 4.17. D-1 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği



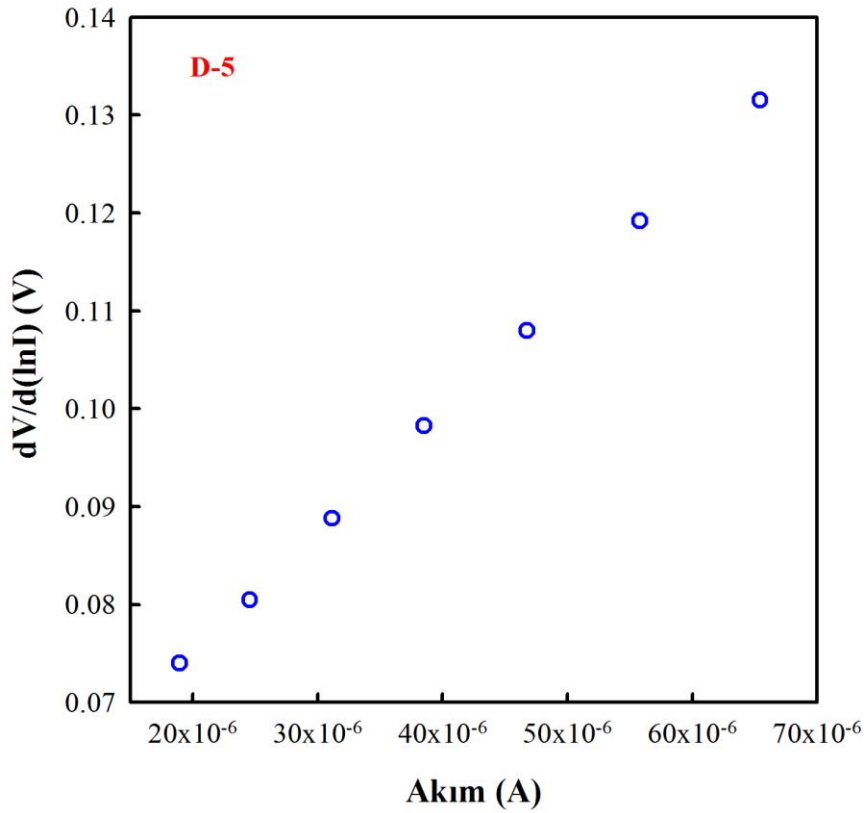
Şekil 4.18. D-2 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği



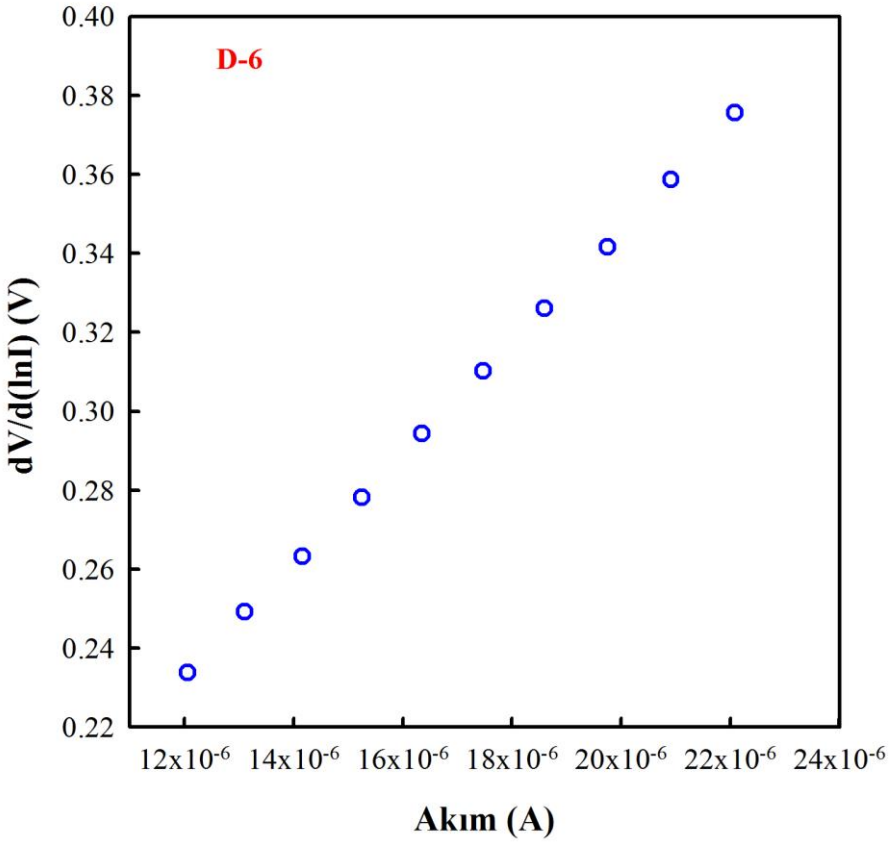
Şekil 4.19. D-3 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği



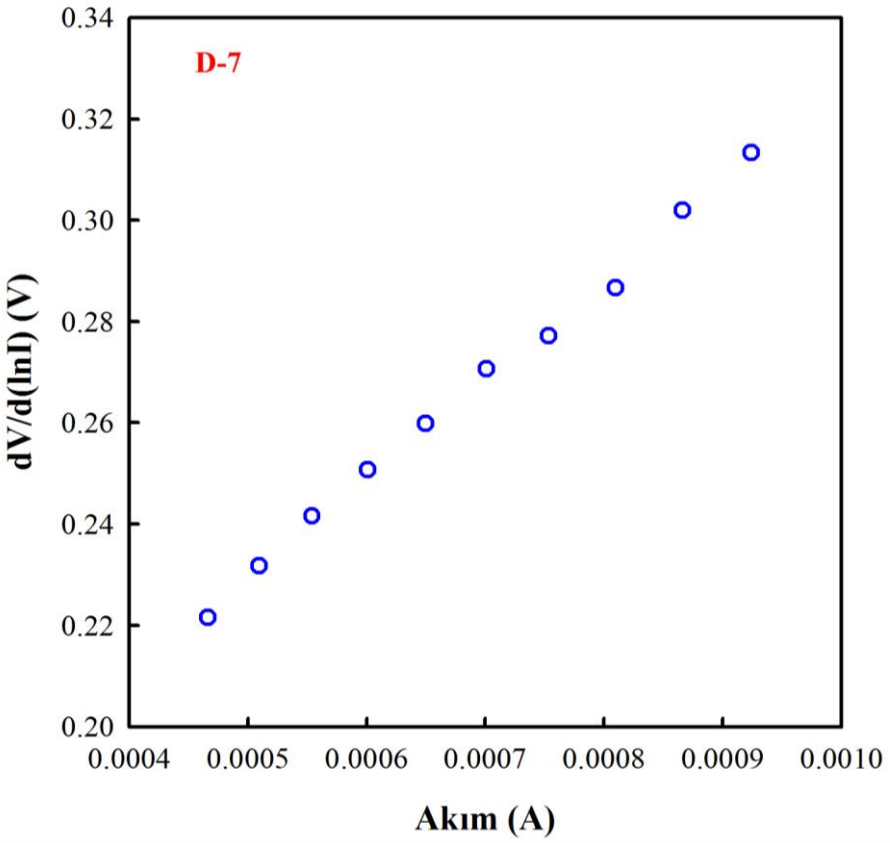
Şekil 4.20. D-4 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği



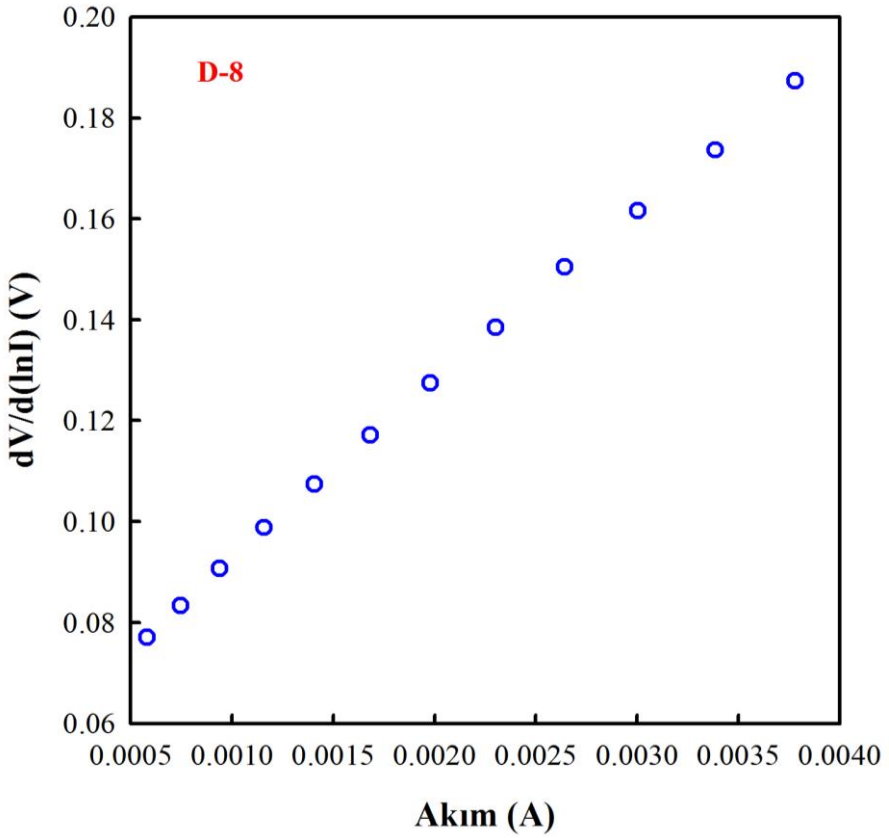
Şekil 4.21. D-5 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği



Şekil 4.22. D-6 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği

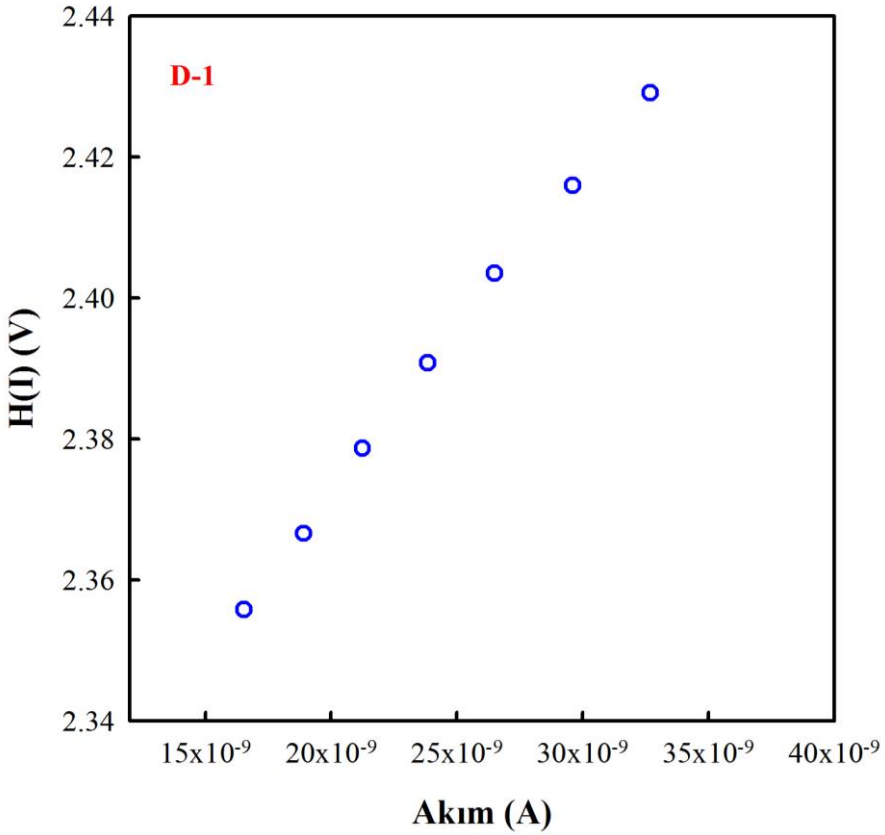


Şekil 4.23. D-7 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği

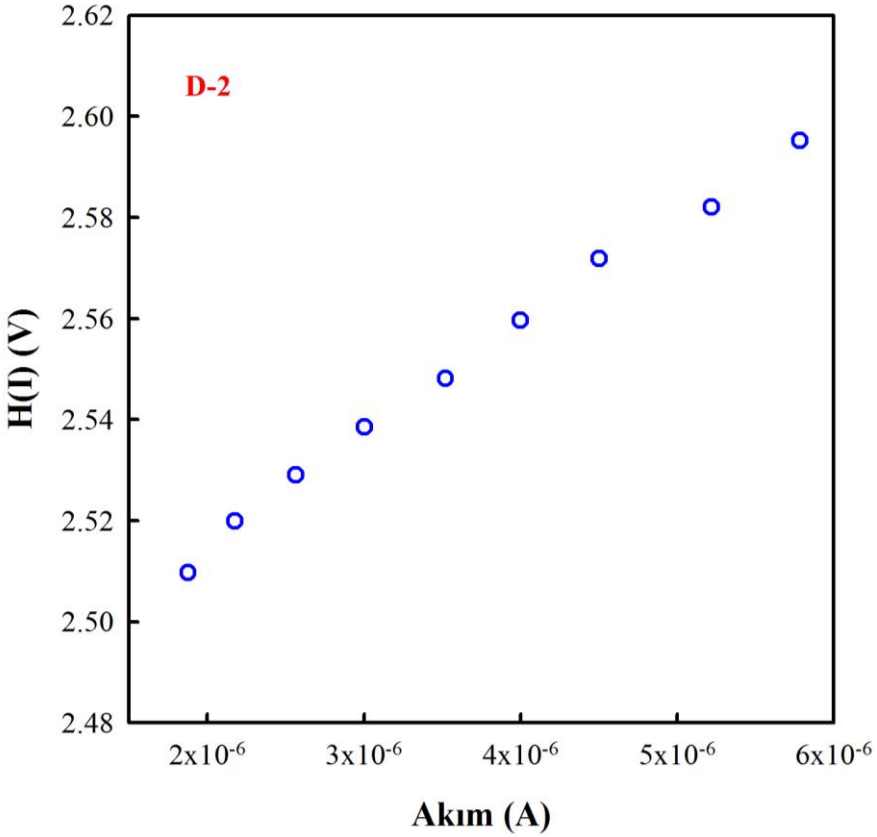


Şekil 4.24. D-8 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *dV/dln(I)-I* grafiği

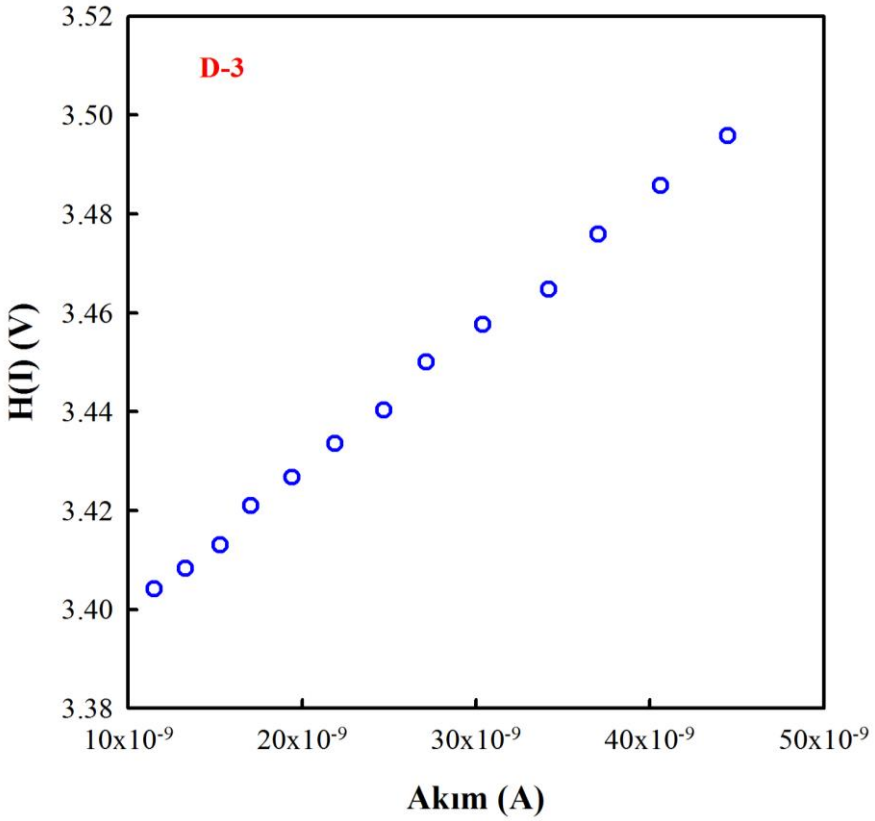
Şekil 4.25 – 4.32'de hazırlanan Schottky diyotların (*H*(*I*) - *I*) grafikleri görülmektedir. Grafiklerden elde edilen bariyer yüksekliği değerleri termoiyonik emisyon modeli ile elde edilen değerlerle paraleldir.



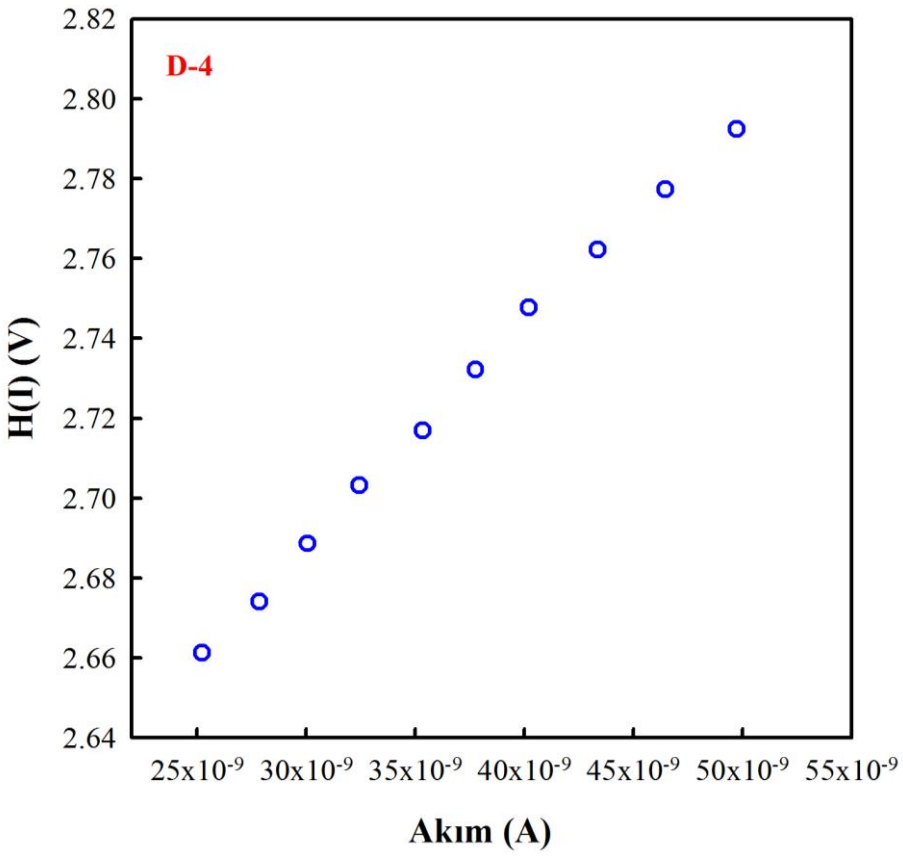
Şekil 4.25. D-1 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



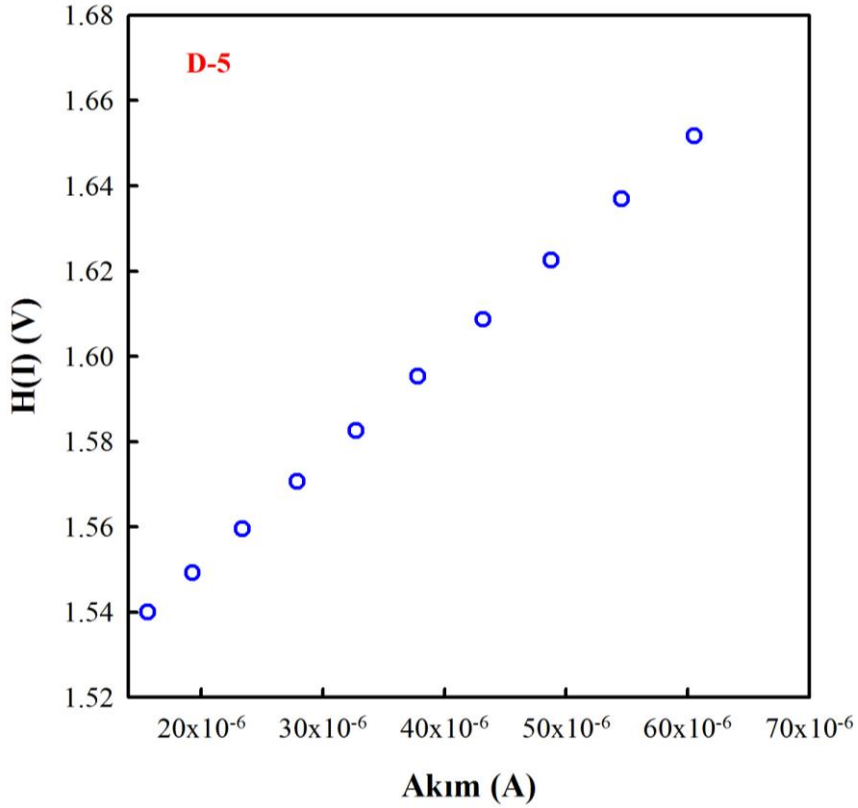
Şekil 4.26. D-2 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



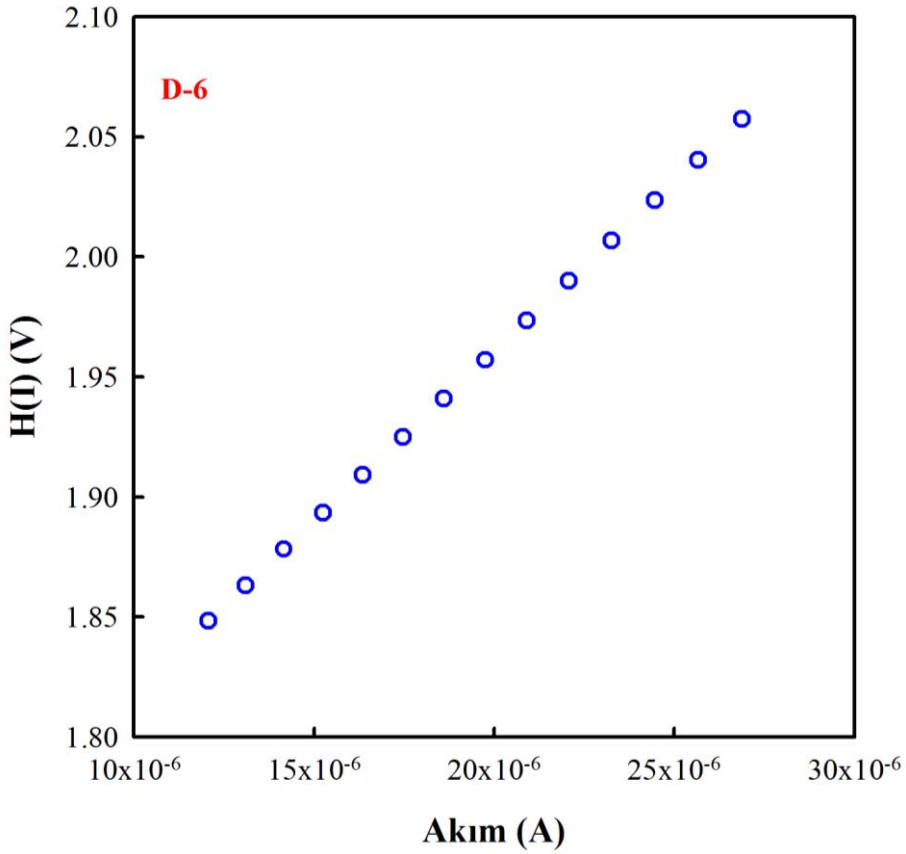
Şekil 4.27. D-3 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



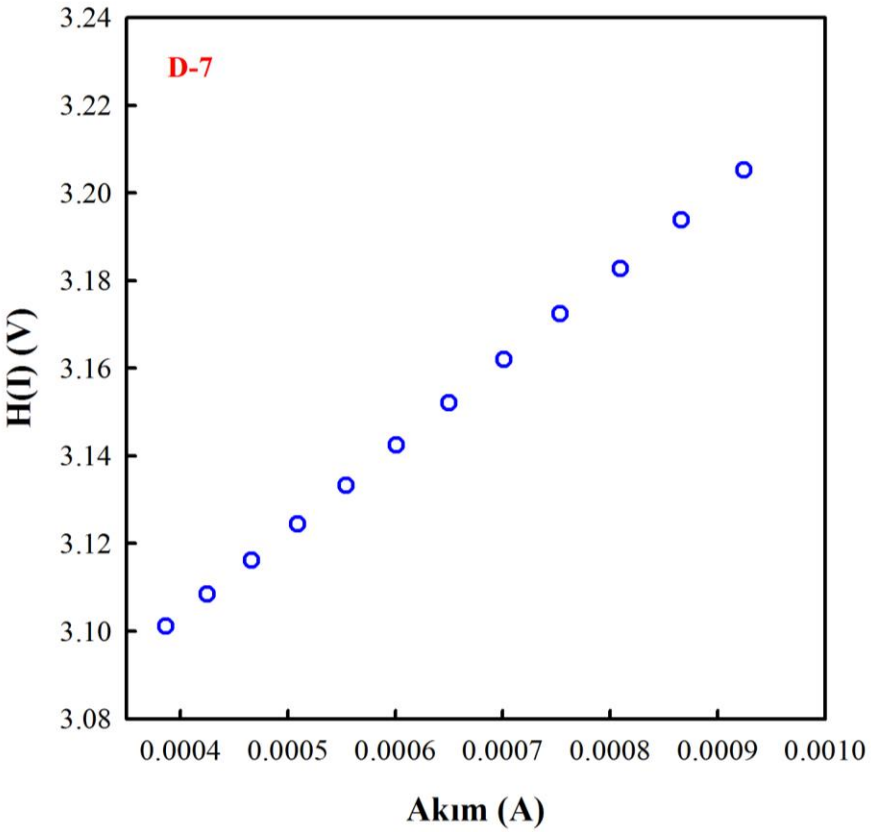
Şekil 4.28. D-4 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



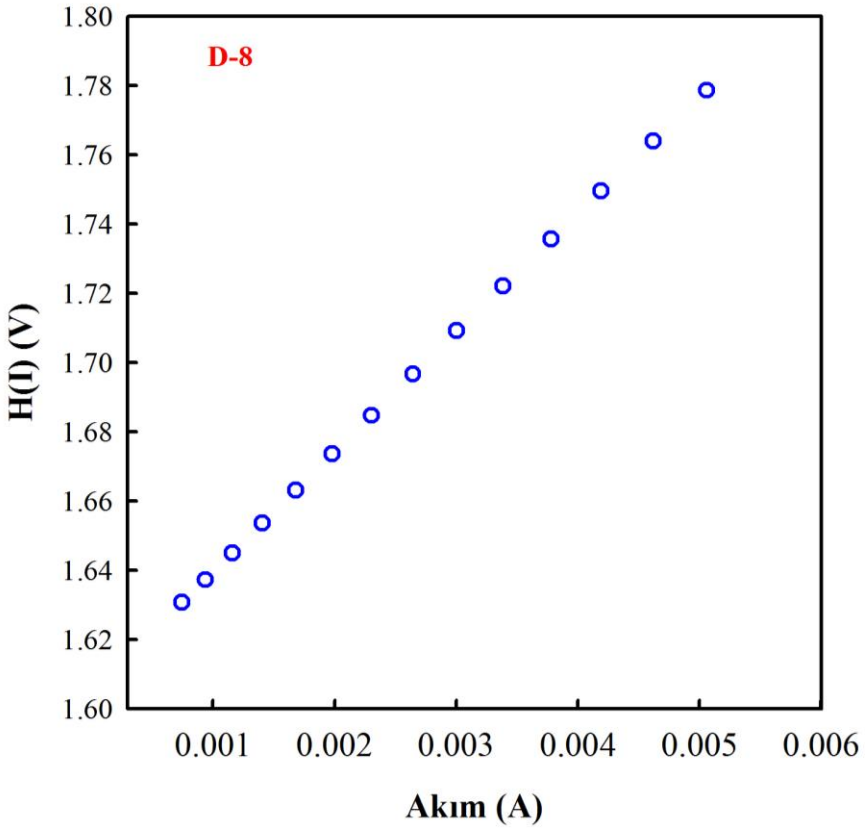
Şekil 4.29. D-5 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



Şekil 4.30. D-6 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



Şekil 4.31. D-7 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği



Şekil 4.32. D-8 kodlu numunenin oda sıcaklığındaki *H(I)-I* grafiği

Termoiyonik emisyon teorisi ile elde edilen diyot parametreleri, alternatif bir yöntem sunan Cheung-Cheung modeli ile hesaplanan parametrelerle birlikte Çizelge 4.1'de liste halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Schottky diyotların hesaplanan elektriksel özellik değerleri

Numune No	$I-V$		$dV/d(\ln I)-I$		$H(I)-I$	
	n	ϕ_{B0} (eV)	n	R_S (kΩ)	ϕ_B (eV)	R_S (kΩ)
D-1	2.55	0.948	2.64	4485844	0.861	4561506
D-2	2.52	0.986	2.55	21236.57	0.967	21275.58
D-3	4.37	0.796	4.23	273845.5	0.795	278980.9
D-4	3.22	0.883	2.78	5556238	0.907	5441379
D-5	2.09	0.766	1.94	1240.389	0.771	1249.521
D-6	2.02	0.769	2.46	14103.54	0.681	14103.34
D-7	5.16	0.598	5.13	194.0694	0.589	194.3354
D-8	2.14	0.724	2.26	34.31617	0.708	34.39023

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında n-tipi ve p-tipi tek kristalli silisyum alt tabaka üzerine P3HT ve PCBM organik yarıiletken malzemeler hem SAM modifiyeli hem de SAM'siz spin kaplama yöntemi ile kaplanarak Al/P3HT/n-Si, Al/P3HT/SAM/n-Si, Al/P3HT/p-Si, Al/P3HT/SAM/p-Si, Al/PCBM/n-Si, Al/PCBM/SAM/n-Si, Al/PCBM/p-Si Al/PCBM/SAM/p-Si şeklinde 8 farklı Schottky diyotları hazırlanmıştır. Schottky diyotların elektriksel özellikleri günümüz yarıiletken teknolojisinde önemli olmasından dolayı arayüzey olarak kullanılan organik yarıiletkenlerin oda sıcaklığında Schottky diyotun elektriksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Hazırlanan bu yapıların oda sıcaklığındaki (300 K) I-V ölçümleri gerçekleştirilmiştir ve bu ölçümler kullanılarak hem standart termoiyonik emisyon teorisi hem de Cheung-Cheung modeli yardımıyla diyotların I-V karakteristikleri analiz edilmiştir. Her iki modelden bulunan elektriksel parametreler birbiriyle oldukça uyum içerisindedirler. Özellikle yapıya SAM modifikasyonu yapıldığında elektriksel parametrelerin değerlerinde iyileşmeler gözlendi. Bu da SAM moleküllerinin uygulandığı film yüzeyinde SAM malzemesinin elektronik yapısına göre yüzey potansiyelinde istenilen değişiklikleri sağladığını göstermektedir.

Metal/yarıiletken yapıların ideallikten sapmalarını belirlemek amacıyla hazırlanan diyotların hesaplanan idealite faktörü değerleri 1'den biraz büyük çıkmıştır. Bu durum metal ile yarıiletken arasındaki organik arayüzey tabakasının homojen olmayan engel yüksekliği, arayüzey durumlarının yoğunluğu ve yapının seri direncinden kaynaklanmaktadır. En düşük idealite faktörü değeri Al/PCBM/SAM/n-Si (D-6) yapısında gözlenirken, en yüksek idealite faktörü Al/PCBM/p-Si (D-7) yapısında elde edilmiştir. Bu sonuçlar da SAM modifiyesinin arayüzey üzerindeki etkisini göstermektedir.

Cheung-Cheung modeli ile hesaplanan seri dirençler incelendiğinde, seri direnç üzerinde PCBM organik molekülünün P3HT organik molekülünden daha etkili olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, bilgimiz dahilinde farklı arayüzeyler kullanılarak hazırlanan Schottky diyotların elektriksel parametreleri hakkında literatürde yeterli bilgi olmamasından dolayı, sunulan bu tez çalışması, bu malzemelerle çalışan araştırmacılara değerli katkılar sağlayacaktır.

5.2 Öneriler

Bu deneysel tez çalışmasının ölçümleri sadece oda sıcaklığında (T = 300 K) karanlık ortamda gerçekleştirilmiş olup farklı organik arayüzeylerin elektriksel özelliklere etkisi incelenmiştir. İnce film aygıtların sıcaklığa ve ışığa duyarlı olmaları elektriksel özelliklerini oldukça değiştirmektedir. Farklı sıcaklık değerlerinde, özellikle çok düşük sıcaklıklarda ve farklı güçteki ışık kaynaklarına maruz bırakılarak yapıların karakteristik özelliklerinin incelenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca hazırlanan bu yapıların Schottky diyotlarının dışında farklı aygıtlar üzerinde denenmesi faydalı olacaktır.

Taban malzemesi olarak kullanılan yarıiletken özellikteki Si metali yerine farklı yarıiletkenler malzemeler de denenip elektriksel özellikleri üzerindeki değişimleri değerlendirilebilir.

Hazırlanan n-Si diyot numunelerinde omik kontak olarak In, p-Si diyot numunelerinde Al metali kullanılmıştır. Farklı metaller omik kontak için kaplama yapılıp değişiklikleri ölçümlerle incelenebilir.

Deneysel çalışmalarda doğrultucu kontak olarak Al metali kullanılmıştır. Al yerine Ag, Au vb. metaller de kullanılıp ölçümlere etkisi hesaplanabilir.

İnce film aygıtlarda film kalınlıklarının özellikle organik yarıiletkenler kullanıldığında iletim mekanizmalarına ciddi etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle film kalınlığına bağlı elektriksel karakterizasyonlarının yapılması da bir öneri olarak sunulabilir.

KAYNAKLAR

Akbaba, C. E., 2017a, Analog Elektronik Ders 4: Diyot Karakteristiği, https://www.youtube.com/watch?v=UjyeA6qLHgg&index=4&list=PLdcoZed79ZufOnAnhgcR4RJpbV9t-9_EF *[Ziyaret Tarihi: 29 Haziran 2020]*.

.

Akbaba, C. E., 2017b, Analog Elektronik Ders 3: Diyotlara Giriş, https://www.youtube.com/watch?v=D-BbEV-DDLM *[Ziyaret Tarihi: 29 Haziran 2020]*.

.

Akbaba, C. E., 2017c, Analog Elektronik Ders 2: İletkenler Yalıtkanlar ve Yarı İletkenler, https://www.youtube.com/watch?v=M6Jt-zT8NCs *[Ziyaret Tarihi: 29 Haziran 2020]*.

.

Aslan, F., Güllü, Ö., Ocak, Y., Rüzgar, Ş., Tombak, A., Özaydın, C., Pakma, O. ve Arsel, İ., 2015, Organik Arayüzey Tabakalı Al/CuPc/p-InP Kontakların Fabrikasyonu Ve Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 263-275.

Aydin, Z., 2007, İletken poli (etilen teraftalat)/polipirol kompozit liflerinin kimyasal polimerizasyonla hazırlanması ve karakterizasyonu.

Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Türüt, A. ve Onganer, Y., 2005, The effects of the temperature on current–voltage characteristics of Sn/polypyrrole/n-Si structures, *Synthetic metals*, 150 (1), 15-20.

Aytaç, A., İlivan, M. ve Gül, F., 2016, The effect of TiN and CrN coating on the abrasive wear behavior of cold-work tool steels, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 3254-3269.

Bayram, B. A., 2014, P-Si Yarı İletkeni ile Hazırlanan Schottky Eklemlerin Elektriksel Parametrelerinin Hesaplanması, *Yüksek Lisans, Giresun Üniversitesi, Giresun*.

Boy, F., 2013, Organik arayüzeyli GaAs Schottky diyodların elektriksel karakterizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Bozkurt, G., 2017, Döndürmeli Kaplama Cihazı: Spin Coater, http://www.kimyasalgelismeler.com/bilgi-ve-yonetim-sistemleri/laboratuvar-ekipmanlari-ve-guvenligi/dondurmeli-kaplama-cihazi-spin-coater.html *[Ziyaret Tarihi: 22 Haziran 2020]*.

.

Cakar, M. ve Türüt, A., 2003, The conductance and capacitance–frequency characteristics of the organic compound (pyronine-B)/p-Si structures, *Synthetic metals*, 138 (3), 549-554.

Calam, T. T., 2016, Kendİlİğİnden Düzenlenen Tek Tabakalar (SAMs) Yöntemİyle Kati Elektrot Yüzey ModİfİkasyonU Yapilmasi, YüzeyİN KarakterİzasyonU Ve ModİfİYe Elektrodun KantİtatİF Uygulamalari *Doktora Tezi, Gazİ Ünİversİtesİ, Fen Bİlİmlerİ EnstİtüsÜ, Ankara.* .

Celal, A., 2016, YARI İLETKENLER VE DİYOT, http://diyot.net/yari-iletkenler-ve-diyot/ *[Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020]*.

.

Cheung, S. ve Cheung, N., 1986, Extraction of Schottky diode parameters from forward current- voltage characteristics, *Applied Physics Letters*, 49 (2), 85-87.

Crowell, C. ve Sze, S., 1966, Current transport in metal-semiconductor barriers, *Solid-state electronics*, 9 (11-12), 1035-1048.

Çaldıran, Z., Deniz, A., Aydoğan, Ş., Yesildag, A. ve Ekinci, D., 2013, The barrier height enhancement of the Au/n-Si/Al Schottky barrier diode by electrochemically formed an organic Anthracene layer on n-Si, *Superlattices and Microstructures*, 56, 45-54.

Çetin, A., 2013a, p tipi yarı iletkenler, https://www.youtube.com/watch?v=JcBAJwFNTUI *[Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

.

Çetin, A., 2013b, Yarı iletkenler, *https://www.youtube.com/watch?v=OBQw6mxnKA0 [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

.

Çetin, A., 2013c, Enerji bant yapıları, *https://www.youtube.com/watch?v=7rsaeHYS6FQ [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

Çetin, A., 2013d, n tipi yarı iletkenler, *https://www.youtube.com/watch?v=VvjHz407UoE [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

.

Çetinkaya, S., 2019, Study of electrical effect of transition-metal dichalcogenide-MoS2 layer on the performance characteristic of Cu2ZnSnS4 based solar cells using wxAMPS, *Optik*, 181, 627-638.

Dağ, O. K., 2013, Diyotlarla İlgili İpuçları, *https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/diyotlarla-ilgili-ipuclari/8538#ad-image-0 [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020]*.

.

Demirel, G., 2009, Kendiliğinden düzenlenen tek tabaka yöntemi ile ışık kontrollü dna çip tasarımı, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi,Ankara.*

Farag, A., El-Shazly, E., Rafea, M. A. ve Ibrahim, A., 2009, Optical, electrical and photovoltaic characteristics of organic semiconductor based on oxazine/n-Si heterojunction, *Solar energy materials and solar cells*, 93 (10), 1853-1859.

Güllü, Ö. ve Türüt, A., 2008, Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells, *Solar energy materials and solar cells*, 92 (10), 1205-1210.

Güllü, Ö., Asubay, S., Aydoğan, Ş. ve Türüt, A., 2010, Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 42 (5), 1411-1416.

Güllü, Ö., 2018, Al/Nigrosin/p-Si Yapıların Fabrikasyonu ve Temel Diyot Parametrelerinin Hesaplanması, *https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/38874/458257 [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

Hamidi, Ş., 2011, Organik yarıiletken/İnorganik yarıiletken heteroeklem diyodunun elektriksel özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Dicle Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır*.

Huang, J.-H., Hsu, C.-Y., Chen, S.-S. ve Yu, G.-P., 2003, Effect of substrate bias on the structure and properties of ion-plated ZrN on Si and stainless steel substrates, *Materials chemistry and physics*, 77 (1), 14-21.

İkram, O., Turut, A. ve Toprak, M., 2015, The comparison of electrical characterizations and photovoltaic performance of Al/p-Si and Al/azure c/p-Si junctions devices, *Synthetic metals*, 200, 66-73.

Kampen, T., Schüller, A., Zahn, D., Biel, B., Ortega, J., Pérez, R. ve Flores, F., 2004, Schottky contacts on passivated GaAs (1 0 0) surfaces: barrier height and reactivity, *Applied surface science*, 234 (1-4), 341-348.

Kılıçoğlu, T., 2008, Effect of an organic compound (Methyl Red) interfacial layer on the calculation of characteristic parameters of an Al/Methyl Red/p-Si sandwich Schottky barrier diode, *Thin Solid Films*, 516 (6), 967-970.

Kirbiyik, C., 2017, TiO2 TABANLI PEROVSKİTE GÜNEŞ PİLLERİNDE TEKRARLANABİLİR ÜRETİM KOŞULLARININ BELİRLENMESİ, *Doktora, Selçuk Üniversitesi, Konya*.

Kuralay, F., Bolat, G., Eroğlu, G. ve Abacı, S., Kendiliğinden Düzenlenen Tek Tabakalar (SAM) Üzerine Pirol Elektropolimerizasyonunun İncelenmesi.

Kuralay, F., Bolat, G., Eroğlu, G. ve Abacı, S., 2010, Kendiliğinden Düzenlenen Tek Tabakalar (SAM) Üzerine Pirol Elektropolimerizasyonunun İncelenmesi.

Kus, M., Alic, T. Y., Kirbiyik, C., Baslak, C., Kara, K. ve Kara, D. A., 2018, Synthesis of nanoparticles, In: Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications, Eds: Elsevier, p. 392-429.

Ocak, Y., Kulakci, M., Kılıçoğlu, T., Turan, R. ve Akkılıç, K., 2009, Current–voltage and capacitance–voltage characteristics of a Sn/Methylene Blue/p-Si Schottky diode, *Synthetic metals*, 159 (15-16), 1603-1607.

Ocak, Y., Ebeoğlu, M., Topal, G. ve Kılıçog, T., 2010, Temperature dependent electrical characteristics of an organic–inorganic heterojunction obtained from a novel organometal Mn complex, *Physica B: Condensed Matter*, 405 (9), 2329-2333.

Orak, I., Toprak, M. ve Turut, A., 2014, Illumination impact on the electrical characterizations of an Al/Azure A/p-Si heterojunction, *Physica Scripta*, 89 (11), 115810.

Orak, I., Ejderha, K. ve Turut, A., 2015, The electrical characterizations and illumination response of Co/N-type GaP junction device, *Current Applied Physics*, 15 (9), 1054-1061.

Oyama, N., Takanashi, Y., Kaneko, S., Momiyama, K., Suzuki, K. ve Hirose, F., 2011, Pentacene/n−-Si heterojunction diodes and photovoltaic devices investigated by I–V and C–V measurements, *Microelectronic engineering*, 88 (9), 2959-2963.

Önal, S., 2007, Mn/n-GaAs schottky diyotunun hidrostatik basınç altında elektriksel karakterizasyonu, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Pakdemir, S., 2014, Kendiliğinden Organize Olabilen İnce Organik Kaplamaların Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Metodu ile Malzeme Yüzey Mühendisliğinde Uygulanması *Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*

Seçen, H. İ., 2015, Schottky Diyot Nedir ?, *https://www.elektrikport.com/universite/schottky-diyot-nedir/10059#ad-image-0 [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020]*.

Tatar, B., Demiroğlu, D. ve Urgen, M., 2013, Structure and photovoltaic properties of Ag/p-CuPc/a-Si/c-Si/Ag organic–inorganic hybrid heterojunction fabricated by chemical spray pyrolysis technique, *Microelectronic engineering*, 108, 150-157.

Tatara, G., 2019, Effective gauge field theory of spintronics, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 106, 208-238.

Tung, R., Levi, A., Sullivan, J. ve Schrey, F., 1991, Schottky-barrier inhomogeneity at epitaxial NiSi 2 interfaces on Si (100), *Physical review letters*, 66 (1), 72.

Tyona, M., 2013, A theoritical study on spin coating technique, *Advances in materials Research*, 2 (4), 195.

Varlıbaş, B., 2006, Metal/n-Si/Au-Sb schottky diyod yapılarında I-V karakteristiklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay*.

Vearey-Roberts, A. ve Evans, D., 2005, Modification of GaAs Schottky diodes by thin organic interlayers, *Applied Physics Letters*, 86 (7), 072105.

Yağlıoğlu, E. ve Özmen, Ö. T., 2014, Au/P3HT: PCBM/n-Si (MPY) Schottky Bariyer Diyotun Bazı Elektriksel Parametrelerinin Frekansa Bağlı Kapasitans-Voltaj (CV) Karakteristikleri ile İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (1), 227-234.

Yakuphanoglu, F., Ocak, Y., Kılıçoğlu, T. ve Farooq, W., 2011, Interface control and photovoltaic properties of n-type silicon/metal junction by organic dye, *Microelectronic engineering*, 88 (9), 2951-2954.

Yıldırım, N. ve Durumlu, E., 2017, Ag/Azure A /n-Si Schottky Diyodun elektriksel ve fotovoltaik
özelliklerinin araştırılması, *https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/347359 [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020]*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Başak Aslıhan Bağcı
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi :
Telefon :
Faks :
e-mail :

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Atatürk Anadolu Lisesi, Antalya**	**2010**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi, Konya**	**2014**
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2014-2018	**Etap Kozmetik Kimya A.Ş.**	**Üretim ve Planlama Müdürü**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER
İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR*

1- B. A. Bağcı, A. Erdoğan, M. Kuş, Ö. F. Yüksel, M. Yıldırım, "*Temperature Dependence of Current-Voltage Characteristics of Au/Fluorene-Carbazol (FC)/n-Si Schottky Diodes",*E-MRS Spring Conference, 11-15 May 2015, Lille, France.

2- B. A. Bağcı, M. Kuş, N. Tuğluoğlu, Ö. F. Yüksel, "*Characterization of Surface Modified Si Schottky Diodes by SAM Molecules",*International Congress on Semiconductor Materials and Devices, 17-19 August 2017 Konya. (Yüksek lisans tezinden üretilmiştir.)