



**FARKLI FONKSİYONEL GRUP BULUNDURAN NAFTALİMİT BİLEŞİĞİ
İLE SCHOTTKY DİYOT YAPIMI VE DİYOTUN ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Emine KARAGÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2018

Emine KARAGÖZ tarafından hazırlanan “ FARKLI FONKSİYONEL GRUP BULUNDURAN NAFTALİMİT BİLEŞİĞİ İLE SCHOTTKY DİYOT YAPIMI VE DİYOTUN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Prof. Dr. Ziya MERDAN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

İkinci Danışman: Doç. Dr. Songül FİAT VAROL

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Giresun Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Adem TATAROĞLU

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Sefer Bora LİŞESİVDİN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN

Fizik Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 12/10/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emine KARAGÖZ

12/10/2018

FARKLI FONKSİYONEL GRUP BULUNDURAN NAFTALİMİT BİLEŞİĞİ İLE
SCHOTTKY DİYOT YAPIMI VE DİYOTUN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Emine KARAGÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2018

ÖZET

Bu tez çalışmasında p-tipi Si yarıiletkeni üzerine N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2) ve N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3) organik bileşikleri ile oluşturulmuş 2 Schottky diyot ve 1 adet MS Schottky diyot üretildi. Organik arayüzeyle Schottky diyodun üretiminde <100> doğrultusunda, 0,5 mm kalınlığında ve 1 Ω -cm öz dirence sahip p-Si kullanıldı. Üç diyotun yüzey ve yapısal özelliklerini incelemek için, SEM, Stereo mikroskop, FTIR ve XRD ölçümleri alındı. Akım-gerilim (I-V) ve kapasite-gerilim (C-V) ölçümleri kullanılarak diyodun karakteristik parametreleri elde edildi. Bütün ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al yapılarının idealite faktörü ve engel yükseklik değerleri I-V karakteristiğinden sırasıyla 1,279; 1,003; 1,055 ve 0,665 eV; 0,705 eV ve 0,646 eV olarak elde edildi. Oda sıcaklığında metal-organik-yarıiletken Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al organik bazlı Schottky diyotlarının idealite faktörü ve engel yüksekliği değeri geleneksel Al/p-Si Schottky diyoduna önemli ölçüde yakın bulundu. Seri direnç (R_s) Cheung fonksiyonları ve Norde fonksiyonları yardımıyla bulundu. Cheung fonksiyonlarından elde edilen kontak parametreleri ile Norde fonksiyonundan elde edilen kontak parametreleri karşılaştırıldı. Diyotların ters beslem C^{-2} -V karakteristiğinden elde edilen taşıyıcı konsantrasyonları ve engel yükseklikleri sırasıyla Al/p-Si/Al için; $3,254 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$; Al/N-F Nft/p-Si/Al için $6,336 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ve Al/N-T Nft/p-Si/Al için $2,450 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ olarak ve de 0,70 eV; 0,99 eV ve 1,30 eV olarak elde edildi. C-V ölçümlerinden bulunan engel yüksekliği değeri, I-V ölçümlerinden bulunan engel yüksekliği değerinden daha büyüktür. Bu iki değer arasındaki uyumsuzluk artık kapasite veya engel homojensizliğinin varlığından kaynaklanmaktadır. Al/Naftalimit/p-Si/Al diyotlarının bulunan bütün karakteristik özelliklerine göre Schottky davranışı sergilediği söylenebilir.

Bilim Kodu : 20226
Anahtar Kelimeler : Organik Schottky diyot, naftalimit, elektriksel karakterizasyon
Sayfa Adedi : 102
Danışman : Prof. Dr. Ziya MERDAN
İkinci Danışman : Doç. Dr. Songül FİAT VAROL

FABRICATION OF SCHOTTKY DIODE WITH NAPHTHALIMIDE HAVING
DIFFERENT FUNCTIONAL GROUPS AND INVESTIGATION OF
ITS ELECTRICAL PROPERTIES

(M.Sc. Thesis)

Emine KARAGÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2018

ABSTRACT

In this thesis, 2 Schottky diodes and 1 MS Schottky diode produced with N-[1-(Furan-2-yl) methyl]-1,8-naphthalimide (2) and N-[1-(Thiophene-2-yl) methyl]-1,8-naphthalimide (3) organic compounds have been fabricated over p-type Si semiconductor. In this study, to fabricate a Schottky diode with organic interface, p-type silicon wafer with <100> orientation, 0.5 mm thickness and 1 Ω -cm resistivity were used. SEM, Stereo Microscop, FTIR and XRD measurements have been taken to analyze the surface and structural properties of these 3 diodes. The characteristic parameters of the diode have been obtained by using the current-voltage (I-V) and the capacitance-voltage (C-V) measurements. All the measurements were performed at room temperature. The ideality factor and barrier height of Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al and Al/N-T Nft/p-Si/Al structures were determined from current-voltage characteristics and were found to be 1.279; 1.003; 1.055 and 0.665 eV; 0.705 eV and 0.646 eV respectively. The ideality factor and barrier height values for the Al/N-F Nft/p-Si/Al and Al/N-T Nft/p-Si/Al junctions at the room temperature are significantly close to the conventional Al/p-Si Schottky diode. Series resistance (R_s) of the diode were calculated from Cheung functions and Norde's function. The contact parameters obtained from Norde's function were compared with those from Cheung functions. The carrier concentration and barrier height values for diode were extracted from its reverse bias C^{-2} -V characteristics. The carrier concentration and barrier height values obtained from the reverse bias C^{-2} -V characteristics have been found as $3.254 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$; $6.336 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ and $2.450 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ and also 0.70 eV; 0.99 eV and 1.30 eV for Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al and Al/N-T Nft/p-Si/Al diodes. The barrier height value obtained from C-V measurement is higher than that of the barrier height value obtained from I-V measurement. The discrepancy between these values is probably due to existence of excess capacitance at the structure or presence of barrier inhomogeneities. According to presented characteristic properties of Al/Naphthalimide/p-Si/Al diodes, it can be said that the diodes obey the Schottky structure behavior.

Science Code : 20226

Key Words : Organic Schottky diode, naphthalimide, electrical characterization

Page Number : 102

Supervisor : Prof. Dr. Ziya MERDAN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Songül FİAT VAROL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca değerli katkılarıyla beni yönlendiren, tezin her aşamasında bana daima yol gösteren, her türlü desteğini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi ve Bölüm Başkanı saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ziya MERDAN'a sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Tez çalışması boyunca, değerli bilgi birikimlerinden yararlandığım, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi değerli hocam Doç. Dr. Songül FİAT VAROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmadaki numunelerde kullanılan organik malzemeyi hazırlayan Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde organik Kimya hocası Doç. Dr. Serkan SAYIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerin hazırlanmasında ve ölçümünde katkısı olan Gazi Üniversitesi Fotonik Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK'e, Fotonik araştırmacılarından Doç. Dr. Tarık ASAR'a ve Fotonik çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Grup toplantılarında düzenli makale okumamı ve sunmamı sağlayan Prof. Dr. Sefer Bora LİŞESİVDİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Bigilerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Mustafa Kemal ÖZTÜRK, Prof. Dr. Adem TATAROĞLU hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca desteğini gördüğüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde desteğini hissettiğim değerli arkadaşım Kamile TEKFİDAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Yönetim Birimi Başkanlığı tarafından 05/2017-02 nolu proje ile desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİ.....	11
2.1. Temel Diyot Kavramları.....	11
2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar.....	12
2.3. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Schottky-Mott Teorisi.....	13
2.3.1. Metal/n-yarıiletken doğrultucu kontaklar ($\Phi_m > \Phi_s$).....	14
2.3.2. Metal/n-yarıiletken omik kontaklar ($\Phi_m < \Phi_s$).....	15
2.3.3. Metal/p-yarıiletken doğrultucu kontaklar ($\Phi_m < \Phi_s$).....	16
2.3.4. Metal/p-yarıiletken omik kontaklar ($\Phi_m > \Phi_s$).....	17
2.4. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Başlıca Akım İletim Mekanizmaları.....	17
2.4.1. Termiyonik emisyon (TE) teorisi.....	19
2.4.2. Difüzyon teorisi.....	21
2.4.3. Engel boyunca tünelleme.....	22
2.5. Schottky Diyotun Akım-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi.....	23
2.5.1. Cheung yöntemi	23
2.5.2. Norde yöntemi	24

	Sayfa
2.6. Schottky Diyotun Kapasitans-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi	27
2.6.1. Hill Coleman yöntemi	28
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	29
3.1. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky Diyotların Hazırlanması	29
3.1.1. Organik malzemelerin hazırlanması	29
3.1.2. Kimyasal temizleme	38
3.1.3. Omik kontakın oluşturulması	39
3.1.4. Organik malzemenin kaplanması	41
3.1.5. Doğrultucu kontakın oluşturulması	43
3.2. Deneysel Ölçüm Sistemleri	44
3.2.1. Taramalı elektron mikroskop (SEM-Scanning Electron Microscope) sistemi	44
3.2.2. Stereo (üç boyutlu) mikroskop sistemi	45
3.2.3. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR-Foruier Transform İnfrared Spektroskopisi) sistemi	46
3.2.4. X-ışınları kırınımı (XRD-X-ray diffraction).....	46
3.2.5. Akım-gerilim ölçüm sistemi	47
3.2.6. Kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim ölçüm sistemi.....	48
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Yapısal Karakterizasyon	51
4.1.1. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi	51
4.1.2. Stereo mikroskop analizi	56
4.1.3. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR-Foruier Transform İnfrared Spektroskopisi) analizi	60
4.1.4. X-ışınları kırınımı (XRD-X-ray diffraction) analizi.....	62
4.2. Schottky Diyotun Akım-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi.....	65
4.2.1. Termiyonik emisyon yöntemiyle diyot özelliklerin belirlenmesi	66

	Sayfa
4.2.2. Cheung yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi	69
4.2.3. Norde yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi	72
4.2.4. Arayüzey durumunun incelenmesi	74
4.3. Schotkky Diyotun Kapasitans-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi	77
4.3.1. Hill Coleman yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi	78
4.4. Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schotkky iyotların geniş bir frekans aralığında kapasitans ve iletkenlik ölçümleri.....	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları durumuna göre kontak türleri.....	14
Çizelge 4.1. Schottky diyotların Termiyonik emisiyondan bulunan diyot parametreleri.....	69
Çizelge 4.2. Schottky diyotların Cheung yönteminden bulunan diyot parametreleri....	71
Çizelge 4.3. Schottky diyotların Norde yönteminden bulunan diyot parametreleri.....	74
Çizelge 4.4. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların ve literatürdeki Al/organik/p-Si/Al Schottky diyotların Termiyonik, Cheung ve Norde yönteminden bulunan değerleri.....	76
Çizelge 4.5. Schottky diyotların C-V verilerinden hesaplanan diyot parametreleri.....	80
Çizelge 4.6. Schottky diyotların Hill Coleman yöntemiyle hesaplanan diyot parametreleri.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Akım-gerilim karakteristiğinde seri direncin etkisi.....	12
Şekil 2.2. Bir Schottky kontağın şematik gösterimi	13
Şekil 2.3. Omik ve Schottky kontakların akım-gerilim grafikleri.....	13
Şekil 2.4. İş fonksiyonu daha büyük bir metalle bir n-yarıiletkenin oluşturduğu doğrultucu kontak a) metal-yarıiletken kontak edilmeden önceki enerji bant diyagramları b) kontakta sonra denge durumu	15
Şekil 2.5. İş fonksiyonu daha küçük bir metalle bir p-yarıiletkenin oluşturduğu doğrultucu kontak a) metal-yarıiletken kontak edilmeden önceki enerji bant diyagramları b) kontakta sonra denge durumu.....	16
Şekil 2.6. Doğru beslem altında metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için beş temel akım iletim mekanizması: 1) Termiyonik emisyon, 2) Tünelleme 3) Rekombinasyon (yeniden birleşme), 4) Elektronların difüzyonu (nüfuz etmesi), 5) Deşiklerin difüzyonu	18
Şekil 3.1. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit 2 ve N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit 3'ün sentezi	31
Şekil 3.2. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit 2'ün sentezi	32
Şekil 3.3. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit 3'ün sentezi	33
Şekil 3.4. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2)'in ¹³ C-NMR spektrumu	34
Şekil 3.5. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2)'in ¹ H-NMR spektrumu.	35
Şekil 3.6. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in ¹³ C-NMR spektrumu.....	36
Şekil 3.7. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in ¹ H-NMR spektrumu.....	37
Şekil 3.8. Al/p-Si/Al ve Al/Nft/p-Si/Al Schottky diyotların şematik gösterimleri.....	44
Şekil 4.1. Taramalı elektron mikroskopunun çalışma prensibi.....	51
Şekil 4.2. Al/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi.....	52
Şekil 4.3. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi..	53
Şekil 4.4. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi..	54
Şekil 4.5. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 50 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 150 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi.....	55
Şekil 4.7. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 60 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi.....	56
Şekil 4.8. Al/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü.....	57
Şekil 4.9. Al/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü.....	57
Şekil 4.10. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü .	58
Şekil 4.11. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü.....	58
Şekil 4.12. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü .	59
Şekil 4.13. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü.....	59
Şekil 4.14. Al/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu.....	60
Şekil 4.15. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu.....	61
Şekil 4.16. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu.....	61
Şekil 4.17. Schottky diyotların FTIR (ATR) spektrumları.....	62
Şekil 4.18. Al/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni.....	63
Şekil 4.19. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni.....	63
Şekil 4.20. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni.....	64
Şekil 4.21. Schottky diyotların XRD desenleri.....	64
Şekil 4.22. Schottky diyotların, oda sıcaklığında yarı logaritmik I-V grafikleri.....	65
Şekil 4.23. Al/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği.....	68
Şekil 4.24. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği.....	68
Şekil 4.25. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği.....	69
Şekil 4.26. Schottky diyotların, oda sıcaklığında $dV/d\ln(I)$ -I grafikleri.....	70
Şekil 4.27. Schottky diyotların, oda sıcaklığında H(I)-I grafikleri.....	71

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. Schottky diyotların, oda sıcaklığında $F(V)$ - V grafikleri.....	73
Şekil 4.29. Schottky diyotların, oda sıcaklığında I - V ölçümlerinden elde edilen arayüzey durumlarının enerji dağılımları.....	75
Şekil 4.30. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde C - V grafikleri.....	77
Şekil 4.31. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde G/ω - V grafikleri.....	78
Şekil 4.32. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde $C^{-2} - V$ grafikleri.....	79
Şekil 4.33. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı C - V grafikleri.....	82
Şekil 4.34. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı C - V grafikleri	82
Şekil 4.35. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı G/ω - V grafikleri.....	83
Şekil 4.36. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı G/ω - V grafikleri.....	83
Şekil 4.37. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (1 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri.....	85
Şekil 4.38. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (50 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri.....	85
Şekil 4.39. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (1 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri.....	86
Şekil 4.40. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (10 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri.....	86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Reaksiyon karışımının geri soğutucu altında kaynatılması.....	29
Resim 3.2. Refluks'un başladığı an	29
Resim 3.3. Uçucu organik bileşiklerin üründen uzaklaştırılma işlemi.....	30
Resim 3.4. İnce tabaka kromatografisi (İTK). Reaksiyonun tamamlandığını anlamak için izleme yöntemi.....	30
Resim 3.5. a) Süzme işlemi b) Kurutma işlemi.....	30
Resim 3.6. Kristal temizlemede kullanılan a) Deiyonize su üretici ve ultrasonik banyo b) Isıtıcı düzeneği	38
Resim 3.7. BESTEC Püskürtme sistemi (Magnetron Sputtering System).....	39
Resim 3.8. Hızlı Tavlama Sistemi (RTA: Rapid Thermal Annealing System).....	40
Resim 3.9. Al/p-Si numunenin elmasla kesilmesi.....	41
Resim 3.10. Dönel Kaplama Sistemi (Spin Coating System)	42
Resim 3.11. Çözelti hazırlanmasında kullanılan kloroform, N-Furan Naftalimit çözeltisi, N-Tiyofen Naftalimit çözeltisi ve kaplanacak Al/p-Si numuneler.....	42
Resim 3.12. Isıtıcı tabla	43
Resim 3.13. Numunenin üzerine maske konularak numune tutucuya yerleştirilmesi....	44
Resim 3.14. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	45
Resim 3.15. Stereo mikroskop sistemi	45
Resim 3.16. FTIR ölçüm sistemi	46
Resim 3.17. XRD cihazı.....	46
Resim 3.18. Akım-gerilim ölçüm sistemi.....	47
Resim 3.19. Ölçüm istasyonu (Probe Station).....	47
Resim 3.20. Kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim ölçüm sistemi	48
Resim 3.21. HP 4192 LF empedans analizörü	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan
A*	Etkin Richardson sabiti
AC	Alternatif akım
Ag	Gümüş
Al	Alimünyum
Au	Altın
Bi	Bizmut
C	Kapasitans
C_{0x}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
Cd	Kadmiyum
CH₃OH	Metanol
C₃H₆O	Aseton
C_m	Ölçülen kapasitans değeri
Cr	Krom
Co	Kobalt
DI	Deiyonize
D_n	Elektron difüzyonu
e	Elektron volt
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_C	İletken bant kenarı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_{Fm}	Metalin Fermi seviyesi
E_{Fs}	Yarıiletkenin Fermi seviyesi
E₀	Tünelleme etkin katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

E_{00}	Tünelleme enerji
E_{ss}	Yüzey durumların enerjisi
Fe	Demir
FF	Fill faktör
G_{max}	En büyük (iletkenlik) kondüktans değeri
h	Planck sabiti
HCl	Hidrojen klorür
HF	Hidroflorik asit
H_2O	Su
H_2O_2	Hidrojen peroksit
Hz	Frekans birimi(Hertz)
I_0	Doyum akımı
In	İndiyum
J	Akım yoğunluğu
J_{ms}	Metalden yarıiletkene doğru akım yoğunluğu
J_{sm}	Yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu
J_{TE}	Termiyonik emisyon akım yoğunluğu
k	Boltzman sabiti
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
m^*	Etkin kütle
n	İdealite faktörü
N_2	Azot gazı
N_A	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
N_C	İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
NH_3	Amonyak
Ni	Nikel
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu

Simgeler**Açıklamalar**

N_V	Değerlik bandındaki durumların yoğunluğu
Pb	Kurşun
Pt	Platin
q	Elektrik yükü
R	Direnç
R_S	Seri direnç
R_{SH}	Kısa devre direnci
Sn	Kalay
T	Mutlak sıcaklık
Ti	Titanyum
V	Gerilim
V_0	Sıfır öngerilimde kesme voltajı
V_{ox}	x-doğrultusunda engeli aşmak için minimum hızı
V_{bi}	Yapısal gerilim
V_D	Difüzyon potansiyeli
V_R	Ters ön-gerilim
w	Frekans
W_D	Tüketim tabakasının genişliği
γ	İdealite faktöründen büyük tamsayı
δ	Arayüzey tabaka kalınlığı
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_i	Arayüzey tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_S	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
η	Verim
μ	Taşıyıcı mobilitesi
σ_{so}	Standart sapma
Φ_B	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{B0}	Sıfır beslem engel yüksekliği

Simgeler**Açıklamalar**

Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
λ	Yarıiletkenin elektron yakınlığı
π	Pi sayısı
Ω	Ohm
AE	Alan emisyon
C-V	Kapasitans-gerilim
G/ ω -V	Kondüktans-gerilim

Kısaltmalar**Açıklamalar**

DCM	Diklorometan (metilen klorür)
FTIR	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
I-V	Akım-gerilim
İTK	İnce tabaka kromatografisi
MOSFET	Metal oksit yarıiletkenli alan etkili transistör
MPS	Metal-polimer-yarıiletken
MS	Metal-yarıiletken
NFT	Naftalimit
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
OFET	Organik alan etkili transistör
OLED	Organik ışık yayan diyot
RCA	Standart altaş temizleme
RTA	Hızlı tavlama sistemi
SCLC	Uzay yük sınırlı alanı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TE	Termiyonik emisyon
TFE	Termiyonik alan emisyon
THF	Tetrahidrofur
TLC	İnce tabaka kromatografisi
XRD	X-ışınları kırınımı

1. GİRİŞ

Metal ve yarıiletken kontak edildiği zaman doğrultucu özellik göstermesi Schottky diyot ya da Schottky kontak olarak bilinir. On dokuzuncu yüzyılda çalışılmaya başlanan metal-yarıiletken diyotlar yaklaşık bir buçuk asırdır deneysel ve teorik olarak çalışılmaktadır. Metal-yarıiletken yapıların geçmişten günümüze tarihsel gelişim süreci şu şekilde verilebilir:

- 1874 yılında metal-yarıiletken kontaklarda ilk sistematik araştırma yapan bilim insanı Braun'dur. Braun doğal yolla oluşan kurşun sülfür kristali (kükürtlü kurşun), bakır, demir metalleri üzerine farklı iş fonksiyonlarına sahip metaller kullanarak kontak almış ve doğrultma özellik gösterdiğini tespit etmiştir.
- 1904 yılının başında çeşitli şekillerdeki nokta-kontak doğrultucuların pratik uygulamaları bulunmuştur. Nokta kontak bir metalin bir yarıiletken üzerine tutturulmasıyla yapılmıştır.
- 1906 yılında Pickard tarafından nokta-kontak dedektör yapılmıştır. Pickard bu dedektörde silisyum kullanmış ve aynı yıl dedektörün patentini almıştır.
- 1907'de Pierce, üzerine metal püskürtülen yarıiletken diyotların doğrultma özelliği gösterdiğini keşfetmiştir.
- 1920 yılının başlarında vakum diyotları geliştirilmiştir.
- İkinci dünya savaşı yıllarında nokta kontaklar tekrar ilgi görmüş, frekans dönüştürücü ve düşük seviyeli mikrodalga dedektörü diyot olarak kullanımı nedeniyle önem kazanmıştır.
- 1931 yılında Wilson katıların bant teorisi temelinde yarıiletkenlerin akım iletim teorisini formalize etmiştir. Wilson'un geliştirmiş olduğu bant teorisi ilerleyen zamanlarda MS kontaklara uygulanmıştır.
- 1938 yılında Schottky potansiyel engelini açıklamak üzere bir model öne sürmüştür. Potansiyel engelin, yalnızca yarıiletkendeki uzay yükü olduğunu, kimyasal katman olmadığını belirtmiştir. Schottky'nin ortaya koymuş olduğu bu model Schottky engel olarak bilinir.
- 1938 yılında Mott tarafından metal-yarıiletken kontaklar için teorik bir model geliştirilmiştir. Bu model Mott engeli olarak bilinmektedir.

- 1942 yılında Bethe bu modelleri geliştirerek Termiyonik emisyon modelini ileri sürmüştür. Termiyonik emisyon modeli engel üzerinden gerçekleşen akım iletimidir ve diyotun bazı temel özellikleri hesaplanabilmektedir.
- 1947 yılında John Bardeen ve Walter Brattian Bell laboratuvarında yarıiletken araştırmaları yürütmüşlerdir. Germanyum kullanarak ilk nokta kontak tipi transistörü yapmışlar ve aynı yıl sonuçlarını yayınlamışlardır.
- 1948 yılında Shockley ve Pearson alan etkili deney yapmışlar ve serbest yarıiletken yüzey üzerinde kuantum durumların varlığını göstermişlerdir.
- 1949 yılının aralık ayında Shockley bipolar transistörü keşfetmiştir.
- 1956 yılında William Shockley, John Bardeen, Walter Brattain transistörü keşiflerinden dolayı Nobel Fizik Ödülüne layık görülmüşlerdir.
- 1957 yılında Henisch metal-yarıiletken kontaklar üzerine kapsamlı çalışma yapmıştır.
- 1960 yıllarda Schottky engel diyotlar araştırılması ve geliştirmesinde büyük hareketlilik görülmüştür. Yarıiletken teknolojideki canlanmanın ilham kaynağı metal kontaklardır.
- 1965 yılında Sze ve Crowell metal-yarıiletken (n-tipi) kontaklarda engel yüksekliğini incelemişlerdir. Bu incelemeyi metal-yarıiletken arasındaki arayüzey durumlarını ve iş fonksiyonlarını göz önünde bulundurarak yapmışlardır.
- 1966 yılında Sze ve Crowell, Bethe'nin önerdiği Termiyonik emisyon teorisi ve Schottky'nin önerdiği Difüzyon teorisini geliştirmişler ve Termiyonik emisyon difüzyon (TED) teorisini öne sürmüşlerdir.
- 1970 yıllarında yarıiletken teknolojinde elde edilen araştırmalar ve gelişmeler endüstriyel üretimde kullanılmış, metal-yarıiletken arayüzeyinin çalışma mekanizmasını anlama çalışmaları devam etmiştir.
- 1971 yılında Card ve Rhoderick, doğru beslemede akım-gerilim grafiklerini incelemişlerdir. I-V grafiklerin eğiminden bulunan ve temel diyot parametresi olan idealite faktörünün değerini dikkate alarak, arayüzey durumlarına bakmışlardır. Arayüzey durumlarıyla ilgili teorik ve deneysel açıklamalar yapmışlardır.
- 1979 yılında Norde, Schottky diyotun akım-gerilim ölçümlerinden faydalanarak engel yüksekliği, seri direnç gibi diyotun bazı temel parametrelerinin hesaplanabileceği fonksiyonlar önermiştir.
- 1986 yılında Cheung ve Cheung, I-V ölçümlerinden Schottky diyotun bazı temel parametrelerinden; idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnci hesaplanabileceği fonksiyonlar geliştirmişlerdir [1-10].

Yirmici yüzyılın sonundan günümüze kadar çeşitli metal (Ag, Al, Au, Bi, Cd, Cr, Co, Fe, In, Ni, Sn, Ti, Pb, Pd, Pt...), yarıiletken (n-tipi ve p-tipi) ve metal yarıiletken arasına malzeme olmadan MS [11-17] veya çeşitli organik, inorganik malzemeler kullanılarak sayısız Schottky kontaklar yapılmıştır. Schottky diyotların arayüzeyine, TPFe [18], SiO₂ [19], ZnO [20], CuInSe₂ [21], praseodymium (Pr)-doped-samarium (Sm)-doped furazano (3,4-b) piperazine (FP) [22] gibi malzemeler kullanılmıştır. Üretilen diyotların elektriksel özellikleri sıcaklığa bağlılık [15, 19, 23-26], frekansa bağlılık [23, 27], aydınlık-karanlık ortama bağlılık [28, 29, 30], zamana bağlılık (yaşlanma) [31], farklı radyasyon zamanına bağlılık [32], farklı basınç değerlerine bağlılık [33, 34] gibi farklı boyutlardan bakılarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm sonuçları Termiyonik [13, 14, 23], Cheung [17, 21, 35, 36], Norde [14, 21, 36, 37] ve başka diğer metotlar kullanılarak idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç, dielektrik sabiti, arayüzey durumları gibi diyot parametreleri belirlenmiştir.

Son zamanlarda, organik yarıiletken malzemeler elektronik ve optoelektronik teknolojilerinde, OLED (Organik Işık Yayan Diyotlar), OFET (Organik Alan Etkili Transistörler), MOSFET (Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör), güneş pili gibi aygıtlarda kullanılmaktadır. Organik yarıiletken malzemeler, hafif, esnek, ucuz, biyolojik sisteme uyumluluk, gelen ışığı en çok emmek için sadece birkaç yüz nanometreye ihtiyaç duyan yüksek emilim katsayılarına sahip olmasından dolayı, inorganik yarıiletken malzemelere göre çeşitli avantajlar sunmakta ve tercih edilmektedir. Bu sebeple organik elektroniğin geliştirilmesine yönelik önemli çalışmalar vardır [4, 38, 39].

Metal ile yarıiletkenin kontak edilmesiyle oluşan, Schottky diyotlarda elektriksel özelliklerini artırmak için; Perilen (C₂₀H₁₂) [24], Polyprrole (PPy) [27], POLİ (3-Sübsitüetiyofen) (P3DMTFT) [36], metil mavisi/metil yeşili [37], metil kırmızı [40, 41, 42, 43], P3DMTPT [33], 1,4-m-diamin [29], polyaniline [31, 44, 45], Metil Moru [46], PAN pellet, PAN/PC [47], β-karoten [48], antrakinin [49], CR (Congo Red) [50], P2ClAn (C₂H₅COOH) [51], PS-ZnPc (polystyrene-zincphthalocyanine) [52], DCF (2'-7'-dichlorofluorescein=C₂₀H₁₀Cl₂O₅) [53], tetraamide-I [54], phenolsulfonphthalein (PSP) [55], NF (new fuchsin) [56], CuS-PVA [57], bromothymol blue (BTB) (C₂₇H₂₈Br₂O₅S) [58], metil yeşili (MG) (C₂₆H₃₃N₃Cl₂) [59], Azur A [60], Chitosan [61], NPB [62], PANI-

PVC [63], Rubrene [64], Anthracene [65, 66], Coronene [67], PVA [68-70], Safranin T [71], Politiyofen (P3DMTPT) [72], P3HT, MEH-PPV, MDMO-PPV [73], Ru-N-heterocyclic carbene complexes [74], PEDOT [75], FePc (phthalocyanine) [76], Kinolin sarısı ($C_{18}H_{11}NO_2$) [77], CuPc [78], AmBuPc (Amino-tri-tert-butyl-phthalocyanine) [79], Quinoline (C_9H_7N) [80] gibi çok sayıda organik malzeme kullanılmıştır. Yirmi birinci yüzyılın başından günümüze kadar organik malzeme kullanılarak yapılan Schottky diyot araştırmaları şu şekilde verilebilir:

- 2000 yılında Abthagır ve Saraswathi, Au/polypyrrole/Al ve Au/polypyrrole/In organik Schottky diyotların, doğrultma özelliklerini incelemek için, oda sıcaklığında akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümler almışlardır. Termiyonik emisyonundan Au/PPy/Al ve Au/PPy/In log(J)-V eğiminden idealite faktörünü $n=1,2$ ve $n=2,1$ engel yüksekliğini $\Phi_B = 0,97$ eV ve $\Phi_B = 0,89$ eV bulmuşlardır. Au/PPy/Al Schottky diyotun idealite faktör değerini, Au/PPy/In idealite faktörü değerinden daha iyi bulmuşlardır [81].
- 2003 yılında Bolognesi, Carlo, Lugli, Kampen ve Zahn Hybrid, inorganik GaAs üzerine organik PTCDA büyütürük, Ag/PTCDA/GaAs organik Schottky diyot üretmişlerdir. Elektrik özelliklerini, organik tabaka kalınlığının engel yüksekliğine etkilerini analiz etmişlerdir. Engel yüksekliğini $\Phi_B = 0,65 - 0,81$ eV aralığında değiştiğini belirtmişlerdir. Burada engel yüksekliğindeki azalmanın sebebini, arayüzeyde bulunan organik PTCDA'ya bağlı olarak görüntü kuvvet alçalmasındaki (Schottky alçalması) bir artışla açıklamışlardır [82].
- 2005 yılında Gupta ve Singh, omik kontak platinyum, Schottky kontak indiyum olarak, In/PANI (polyaniline)-PVC (polyvinyl chloride)/Pt organik Schottky diyotu üretmişlerdir. Sıcaklığa bağlı ölçümler alıp, hesaplamalar yapmışlardır. Termiyonik emisyon teorisinden 303 K'de, idealite faktörü $n=2,60$, doyma akımı $J_0 = 3,12 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$, engel yüksekliğini, $\Phi_B = 0,885$ eV, 323 K'de idealite faktörü $n=2,55$, doyma akımı $J_0 = 4,23 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, engel yüksekliğini $\Phi_B = 0,882$ eV, 343 K'de idealite faktörü $n=2,47$, doyma akımı $J_0 = 3,29 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, engel yüksekliğini $\Phi_B = 0,878$ eV olarak bulmuşlardır. Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri kullanılarak yapılan hesaplamalarda ise 303 K'de taşıyıcı konsantrasyonu $N_d = 3,11 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, yapısal gerilimi $V_{bi} = 0,72$ V, taşıyıcı mobilitesi $\mu = 3,02 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / V_s$, 323 K'de

taşıyıcı konsantrasyonu $N_d = 4,18 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, yapısal gerilimi $V_{bi} = 0,75 \text{ V}$, taşıyıcı mobilitesi $\mu = 1,21 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / V_s$, 343 K'de taşıyıcı konsantrasyonu $N_d = 5,32 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, yapısal gerilimi $V_{bi} = 0,77 \text{ V}$, taşıyıcı mobilitesi $\mu = 4,23 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / V_s$ değerlerini elde etmişlerdir. Sıcaklık artışıyla birlikte idealite faktörünün düştüğünü gözlemişlerdir. Üretilen Schottky diyotun idealite faktörü 2,60, yaygın olarak kullanılan silikon inorganik cihaza yakın değer olarak tespit etmişlerdir [63].

- 2007 yılında Akkılıç, Uzun ve Kılıçoğlu, Ag/chitosan/n-Si organik Schottky diyotun, Termiyonik emisyon teorisinden ortalama engel yüksekliği $\Phi_B = 0,94 \text{ eV}$, ortalama idealite faktörü $n=1,81$ bulunmuşlardır. Cheung fonksiyonu kullanarak, $dV/d(\ln I)$ -I eğiminden seri direnç $R_s = 15,147 \text{ k}\Omega$, idealite faktörü $n=1,89$, $H(I)$ -I eğiminden seri direnç $R_s = 15,847 \text{ k}\Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B = 0,95 \text{ eV}$ bulmuşlardır. Ag/chitosan/n-Si organik Schottky diyotun arayüzey durumu N_{ss} , $5,39 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1} (E_c - 0,785)$ mertebesinde, $1,52 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1} (E_c - 0,522)$ mertebesine değiştiğini saptamışlardır [61].
- 2008 yılında Güllü, Aydoğan ve Türüt, Al/Orange G/n-Si/AuSb organik Schottky diyotun, oda sıcaklığında, akım-gerilim, kapasitans-gerilim, kapasitans-frekans özelliklerini incelemişlerdir. Termiyonik emisyon teorisinden doğru beslemde, I-V eğrisinden idealite faktörü $n=4,35$, engel yüksekliği $\Phi_B = 0,86 \text{ eV}$ bulmuşlardır. Cheung Modeli kullanarak, $dV/d(\ln I)$ -I eğiminden idealite faktörü $n=4,19$, seri direnç $R_s = 398,8 \text{ k}\Omega$ (oda sıcaklığında), $H(I)$ -I eğiminden $\Phi_B = 0,84 \text{ eV}$, $R_s = 306,8 \text{ k}\Omega$ bulmuşlardır. Norde metodundan, $\Phi_B = 1,02 \text{ eV}$, $R_s = 154,3 \text{ k}\Omega$ bulmuşlardır. C-V ölçümlerini, oda sıcaklığında 10-500 kHz aralığında yapmışlardır. C-V ölçümleri verilerinden yararlanarak difüzyon potansiyeli $V_d = 0,76 \text{ V}$, engel yüksekliği $\Phi_B = 0,85 \text{ eV}$ elde etmişlerdir. Yüksek direnç değerlerini sonucu olarak, yüksek idealite faktörü değeri elde etmişlerdir. Ayrıca, düşük frekanslarda en yüksek kapasitans değerleri belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak, n-Si ile dengede olan arayüz durumları alternatif akım sinyalinin takip edebileceğinden, kapasitans değerini çok arttırdığı yorumunu yapmışlardır [83].

- 2009 yılında Ocak, Kulakci, Kılıçoğlu, Turan ve Akkılıç, Sn/Metil Mavisi (MB)/p-Si organik Schottky diyotun, oda sıcaklığında akım-gerilim ve kapasitans-gerilim karakteristiklerini incelemişlerdir. I-V grafiğın eğiminden faydalanarak, engel yüksekliği $\Phi_B=0,81$ eV ve idealite faktörünü $n=3,15$ olarak tespit etmişlerdir. Cheung Metodundan yararlanarak, $dV/d(\ln I)$ -I eğiminden idealite faktörü $n=3,14$, seri direnç $R_s=990$ Ω , $H(I)$ -I eğiminden $\Phi_B=0,80$ eV, $R_s=908$ Ω bulmuşlardır. Norde metodundan $\Phi_B=0,93$ eV, $R_s=732$ Ω değerleri hesaplamışlardır. Çeşitli frekanslarda (1, 10, 100 ve 500 kHz) C-V ölçümleri almışlar ve difüzyon potansiyel 0,86 V, doping konsantrasyonu $1,62 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ engel yüksekliği 1,09 eV olarak bulmuşlardır. Arayüzey durum yoğunluğu N_{ss} enerji dağılım eğrisi elde etmişlerdir. Bu eğride Sn/MB/p-Si Schottky diyotu N_{ss} dağılımı $2,04 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2} (0,74 - E_v)$ 'den $4,72 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2} (0,44 - E_v)$ 'e eksponansiyel olarak değiştiiğini göstermişlerdir [84].
- 2010 yılında Aydoğan, İncekara ve Abdülmecit, Schottky diyot yapımında arayüzey olarak Carmine ($\text{C}_{22}\text{H}_{20}\text{O}_{13}$) organik malzemesini kullanmışlardır. Ürettikleri Au/Carmine/n-Si numunenin akım-gerilim verilerini analiz etmişlerdir. Termiyonik emisyonundan, engel yüksekliği $\Phi_B=0,69$ eV ve idealite faktörü $n=2,89$ hesaplamışlardır. Cheung fonksiyonunun $dV/d(\ln I)$ -I eğiminden idealite faktörü $n=2,89$, seri direnç $R_s=7,1$ k Ω , $H(I)$ -I eğiminden $\Phi_B=0,65$ eV, $R_s=5,9$ k Ω olarak bildirmişlerdir. Norde metodundan, $\Phi_B=0,73$ eV, $R_s=7,4$ k Ω olarak tespit etmişlerdir [85].
- 2011 yılında Huang ve Chen, Al/NPB/p-Si Schottky diyotların akım-gerilim-sıcaklık (I-V-T) özelliklerini tartışmışlardır. I-V özelliklerini 213 K'den 353 K'e incelemişlerdir. Termiyonik emisyon teorisinden oda sıcaklığında engel yüksekliği $\Phi_B=0,65$ eV, idealite faktörü $n=1,33$ bulmuşlardır. Cheung fonksiyonunun $dV/d(\ln I)$ -I eğiminden $n=1,83-1,23$ (213-353 K), $R_s=57-137$ Ω (213-353 K), $H(I)$ -I eğiminden $\Phi_B=0,50-0,67$ eV (213-353 K), $R_s=53-101$ Ω (213-353 K) değerlerine ulaşmışlardır. Ölçülen sıcaklığın azalmasıyla beraber, Schottky bariyer yüksekliğinde anormal bir azalma, idealite faktöründe artma ve seri dirençde ise artma gözlemlenmişlerdir. Engel yüksekliğinin Gausyon Dağılımıyla Termiyonik emisyon teorisinden $\Phi_B=0,96$ eV (standart sapma $\sigma_{so}=0,13$ V), Richardson sabitini bilinen değerinden

($A^* = 32 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$) daha düşük $1,47 \times 10^{-2} \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ olarak bulmuşlardır. Richardson sabitini farklı bulma sebebini düşük ve yüksek bariyer alanlarından oluşan kontak yüzeyinde potansiyel dalgalanmalarına ve bariyer yüksekliğinin homojensizliğine bağlamışlardır. Modifiye edilmiş Richardson eğrisinden ise $A^* = 30,1 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$, y1 bulmuşlardır [62].

- 2012 yılında Singh ve Prakash, indiyum kalay oksit üzerine, PCz-clay nanokompozit kilini, elektrokimyasal olarak kaplayarak Schottky diyot oluşturmuşlardır. Al/PCz-clay/ITO cihazın elektronik ve optik özelliklerini incelemiştir. Emisyon-difüzyon teorisinden J-V ölçümlerinin incelenmesi sonucunda idealite faktörü $n=1,83$, $\Phi_B = 0,85 \text{ eV}$, $J_0 = 5,34 \times 10^{-10} \text{ Acm}^{-2}$ bulmuşlardır. Oda sıcaklığında ve 100 kHz frekansında yapılan, C-V ölçümlerinin hesaplanmasıyla, $N_A = 1,76 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $V_{bi} = 0,78 \text{ V}$, $W_d(0V) = 87,6 \text{ nm}$, $W_d(-3V) = 193 \text{ nm}$ sonuçlarına ulaşmışlardır [86].
- 2013 yılında Boy, yüksek lisans tez çalışması kapsamında ara yüzeyli Ag/PDI/n-GaAs organik Schottky diyot üretmiştir. Arayüzeyi perylenediimide (PDI) organik malzemesiyle kaplamıştır. Elektriksel özelliklerini 75-350 K sıcaklık aralığında incelemiş, sonuçlarını analiz etmiştir. Termiyonik emisyon teorisini kullanarak 75 K sıcaklığında idealite faktörü $n=7,17$ ve engel yüksekliği $\Phi_B = 0,190 \text{ eV}$, 350 K sıcaklığında $n=2,89$ ve engel yüksekliği $\Phi_B = 0,797 \text{ eV}$ bulmuştur. Cheung modelinin $dV/d(\ln I)$ -I eğimini kullanarak, 75 K'de idealite faktörü $n=7,18$ ve seri direnç $R_s = 35,270 \text{ k}\Omega$, 350 K'de idealite faktörü $n=2,90$ ve seri direnç $R_s = 2,145 \text{ k}\Omega$ hesaplamıştır. Cheung modelinin $H(I)$ -I eğiminden yararlanarak, 75 K'de $\Phi_B = 0,189 \text{ eV}$, $R_s = 35,122 \text{ k}\Omega$, 350 K'de $\Phi_B = 0,796 \text{ eV}$, $R_s = 2,161 \text{ k}\Omega$ olarak belirlenmiştir. Ag/PDI/n-GaAs Schottky diyotunun C-V verilerini oda sıcaklığında ve 1 MHz frekansta almıştır. C-V verilerinin analiziyle $V_{bi} = 1,405 \text{ eV}$, $N_d = 4,282 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, $\Delta\Phi_B = 6,866 \times 10^{-3} \text{ eV}$, $E_{max} = 4,072 \times 10^3 \text{ V/cm}$, $E_f = 0,272 \text{ V/cm}$, $\Phi_B = 1,69 \text{ eV}$, $W_d = 6,9 \times 10^{-4} \text{ cm}$ sonuçlarını elde etmiştir [39].
- 2014 yılında Reddy, ara tabaka olmaksızın Au/n-InP ve nickel phthalocyanine (NiPc) organik ara tabaka kullanarak Au/NiPc/n-InP Schottky engel diyotlarını üretmiştir. Schottky diyotların akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümlerini incelemiştir. I-V

ölçümlerini kullanarak, Au/n-InP için idealite faktörü $n=1,32-1,41$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,58-0,61$ eV, Au/NiPc/n-InP için idealite faktörü $n=1,73-1,81$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,80-0,84$ eV değerlerini bulmuştur. Cheung modelinin $dV/d(\ln I)-I$ eğiminden, Au/n-InP diyotu için idealite faktörü $n=1,42-1,51$ ve seri direnç $R_s=1,33-1,43$ k Ω , Au/NiPc/n-InP diyotu için idealite faktörü $n=1,80-1,88$ ve seri direnç $R_s=81,22-81,34$ k Ω bulmuştur. Aynı modelin $H(I)-I$ eğiminden Au/n-InP diyotu için engel yüksekliği $\Phi_B=0,60-0,63$ eV ve seri direnç $R_s=1,36-1,46$ k Ω , Au/NiPc/n-InP diyotu için engel yüksekliği $\Phi_B=0,82-0,86$ eV ve seri direnç $R_s=82,17-82,27$ k Ω değerlerini hesaplamıştır. Norde yönteminden Au/n-InP Schottky diyotu için engel yüksekliği $\Phi_B=0,61-0,65$ eV ve seri direnç $R_s=1,40-1,51$ k Ω , Au/NiPc/n-InP Schottky diyotu için engel yüksekliği $\Phi_B=0,81-0,85$ eV ve seri direnç $R_s=82,01-82,21$ k Ω sonuçlarına ulaşmıştır [87].

- 2015 yılında Aslan ve diğerleri, π -bağları açısından zengin ve güneş ışığına karşı duyarlı olan bakır fitalosiyanın (CuPc) organik bileşimini Schottky ara tabaka olarak kullanmışlardır. Yapmış oldukları Al/CuPc/p-InP/AuZn Schottky diyotun akım-gerilim ölçümlerini aydınlık ve karanlıkta ortamda alıp, verileri incelemiştir. Aydınlık ortamda I-V ölçümleri, güneş simülatörü altında -0,5 V'da, 100 mW/cm² ışık şiddeti altında yapmışlardır. Ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda diyotun fotodiyot özellik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotunun açık devre gerilimi $V_{oc}=0,37$ V, kısa devre akımı $I_{sc}=0,018$ μ A, engel yüksekliği $\Phi_B=1,03$ eV, idealite faktörü $n=1,52$ olarak rapor etmişlerdir. Norde metodunun kullanılmasıyla seri direnç $R_s=321$ Ω , engel yüksekliği ifadesi $\Phi_B=1,26$ eV, Cheung fonksiyonları yardımıyla ise numunenin idealite faktörü $n=2,28$ ve seri direnç değeri $R_s=115$ Ω olarak bulmuşlardır [88].
- 2016 yılında Chen ve diğerleri, rubren uygulamaları üzerine çalışmalar yapmışlar ve Al/rubrene/ITO Schottky diyotu imal etmişlerdir. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) yardımıyla organik rubren yapının yüzey özellikleri araştırmışlardır. Klasik-Osilatör modeli kullanılarak büyüme ve optik özelliklerini anlamak için rubren ince filmin elipsometrik çalışmalarını sunmuşlardır. Emilim katsayısı olan α 'nın analizini yapmışlardır. Yapmış oldukları Schottky diyotun akım-gerilim ölçümleri alıp verileri

analiz etmişlerdir. I-V verilerin değerlendirilmesiyle doğrultma oranını $1,5 \times 10^3$ (2V'da), idealite faktörü $n=3,45$ ve engel yüksekliği $\Phi_B=0,96$ eV olarak ortaya koymuşlardır. Log(I)-Log(V) incelenmesiyle omik iletimi, TCL iletimi ve SCLC (uzay yük sınırlı akım) iletim mekanizmaları olmak üzere üç bölge olduğunu göstermişlerdir. Omik iletimin düşük gerilim bölgesinde ve SCLC iletimin ise büyük gerilimlerde etkili olduğunun sonucuna ulaşmışlardır [64].

- 2017 yılında Yıldırım ve Durumlu, arayüzeyinde Azur A organik boyar madde kullanarak metal/arayüzey/yarıiletken/metal yapısını üretmişlerdir. Elde edilen Ag/Azure A/n-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, karanlıkta ve ışık altında ölçümler almışlardır. Karanlıkta akım-gerilim verilerinden idealite faktörü $n=1,79$ ve engel yüksekliği $\Phi_B=0,79$ eV olarak belirlemişlerdir. 100 mW/cm^2 ışık altında I-V verilerinin kullanılmasıyla $I_{sc} = 1,47 \times 10^{-6} \mu\text{A}$, $V_{oc}=162 \text{ mV}$, verim (η) % 4,09 ve dolun faktörü (FF) % 30 sonucuna ulaşmışlardır. Oluşturulan diyotun iyi bir doğrultma ve fotovoltajik özellik gösterdiği fakat veriminin düşük çıktığını tespit etmişlerdir [60].
- 2018 yılında Yaşar ve diğerleri, Ru-N-hererocyclic carben kompleks (2, 3, 4, 5) organik bileşiklerini kullanarak 4 farklı organik-inorganik çokluyapı üretmişlerdir. Yapıların elektriksel özelliklerini araştırma amaçlı karanlık ve aydınlıkta akım-gerilim ölçümlerini almışlardır. I-V verilerin kullanımıyla çizilen grafiğin eğiminden Au/2/n-Si diyotun idealite faktörü $n=2,18$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,86$ eV, Au/3/n-Si diyotun idealite faktörü $n=1,96$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,72$ eV, Au/4/n-Si diyotun idealite faktörü $n=3,0$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,90$ eV, Au/5/n-Si diyotun idealite faktörü $n=4,01$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,79$ eV olarak belirlemişlerdir. Norde metodundan faydalanarak Au/2/n-Si diyotun seri direnci $R_s=4920 \Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,95$ eV, Au/3/n-Si diyotun seri direnci $R_s=30 \Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,84$ eV, Au/4/n-Si diyotun seri direnci $R_s=1550 \Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B=1,00$ eV, Au/5/n-Si diyotun seri direnci $R_s=213 \Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,95$ eV olarak hesaplamışlardır. Ulaştıkları sonuçlardan yola çıkarak, Ru-NHC kompleksleriyle yapılmış elektronik araçların birçok alanda başarıyla kullanabileceğini rapor etmişlerdir [74].

Bu çalışma kapsamında, Schottky diyotun elektriksel özelliklerini geliştirmek için, yeni geliştirilen metotlara göre ilk kez sentezlenen 2 farklı naftalimit birleşimi (N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit 2 ve N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit 3) sentezlendi. Organik bileşikler dönel kaplama yoluyla kaplanarak, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotlar üretildi. Organik malzeme kullanılması neyi değiştirdiğini açıkça ortaya koyabilmek amacıyla Al/p-Si/Al Schottky diyot (MS) yapıldı. Metal-yarıiletken ve metal-organik-yarıiletken yapıların oda sıcaklığında, 1 MHz'de, elektriksel ve kapasitans özellikleri incelendi. Akım-gerilim (I-V), kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/w-V) ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak üretilen diyotların idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B), seri direnci (R_s), arayüzey durum yoğunlukları (N_{ss}) gibi temel elektriksel özellikleri hesaplandı. Her bir yapı için Termiyonik emisyon teorisinden, idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_B) değerleri belirlendi. Cheung fonksiyonundan $dV/d\ln(I)$ -I eğiminden yararlanarak idealite faktörü (n) ve seri direnç (R_s), $H(I)$ -I eğiminden yararlanarak engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) değerleri bulundu. Norde fonksiyonu kullanılarak engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı. Hesaplamaların analiz edilmesi sonucunda arayüzeyde kullanılan naftalimit malzemenin, diyotun çalışma mekanizmasını iyileştirdiği ortaya konuldu.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Schottky kontakların tarihsel gelişim süreci, önemi, organik malzemenin kullanım alanları ve önemi, organik Schottky diyot araştırma-inceleme çalışmaları yer almaktadır. İkinci bölümde teorik bilgi, üçüncü bölümde deneysel yöntem, dördüncü bölümde deneysel bulgular ve tartışma, son olarak beşinci bölümde ise araştırmanın sonuçları ve öneriler yer almaktadır.

2. TEORİK BİLGİ

2.1. Temel Diyot Kavramları

Arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}): Birim enerji başına düşen birim arayüzey durum yükü şeklinde tanımlanır. Teorik ve deneysel araştırmalar farklı arayüzey durumlarının, Schottky diyot parametrelerinin beklenenden farklı çıktığını ortaya koymuştur [89].

Elektron ilgisi: Bir elektronu iletkenlik bandından vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerjiye elektron ilgisi denir [4].

Elektron yakınlığı (χ): İletkenlik bandı kenarı ile vakum seviyesi arasında bulunan bir elektronun enerji farkına elektron yakınlığı denir [90].

Engel yüksekliği (Φ_B): Metal-yarıiletken kontak edildiği zaman arayüzeyde oluşan büyük dirençli bölgeye engel yüksekliği denir. Kapasitans özelliği gösterebilen bu bölge akım iletim mekanizmasının kontrol edilmesinde önemli yere sahiptir [1].

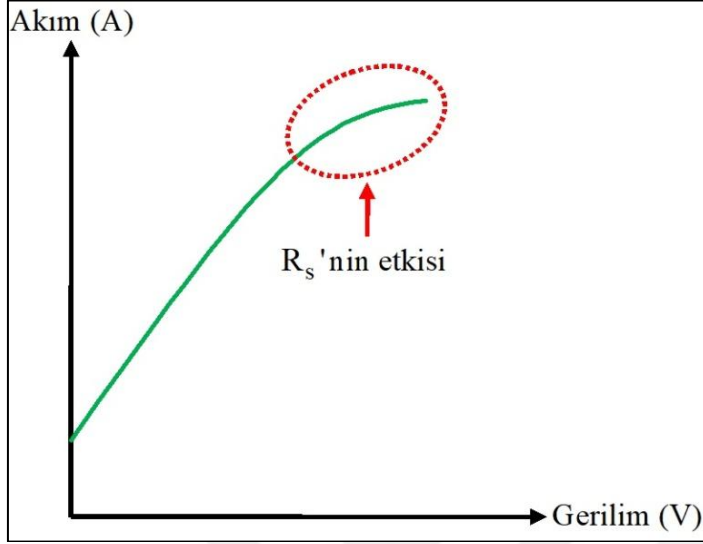
Fermi enerjisi (E_F): Mutlak sıfır sıcaklığında elektronun sahip olduğu maksimum enerjiye denir. Valans bandının tamamen dolu, iletim bandının tamamen boş olduğu durumdaki enerjisi seviyesi olarak da tanımlanabilir [4, 5].

İdealite faktörü (n): İdeal bir diyot için değeri 1'e (n=1) eşit olan ve n ile gösterilen bir diyot parametresidir [4].

İş fonksiyonu (Φ): E_{Fm} enerjisine sahip bir metalden veya E_{Fsc} enerjisine sahip yarıiletken bir elektronu uzaklaştırmak, vakum seviyesine çıkarmak için verilmesi gereken enerjiye iş fonksiyonu denir. Fermi seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki potansiyel fark olarak da tanımlanabilir. Metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olarak gösterilir [4, 91].

Seri Direnç (R_s): Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda, tüketim bölgesi dışında nötral bir bölge mevcuttur. Yarıiletken tarafında oluşan bu bölge diyot akımına karşı direnç gösterir. Bu direnç, seri direnç veya gövde direnç olarak bilinir. Seri direnç yüksek gerilim değerlerinde etkisini gösterir ve akım-gerilim grafiğinde bükülmeye neden olur. Büyük

gerilimlerde, diyot akımında oluşan azalma ve seri direnç etkisi Şekil 2.1'de görülmektedir [92].



Şekil 2.1. Akım-gerilim karakteristiğinde seri direncin etkisi

Vakum seviyesi: Metalden veya yarıiletken yüzeyden bir elektronu uzaklaştırıp, serbest hale getirebilmek için verilmesi gereken en küçük enerji değeridir [93].

2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar

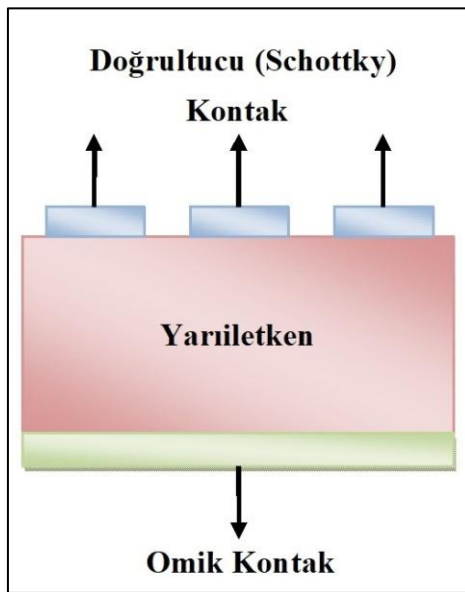
Metal ve yarıiletken kontak edildiği zaman iki çeşit kontak meydana gelir.

1) Omik Kontak: Akım-gerilim grafiği doğrusaldır ve doğrultucu olmayan kontakır. Akım-gerilim karakteristiği Ohm yasasına ($V=I.R$) uyar. Metal-yarıiletken omik kontakta yükler metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale kolayca hareket edebilir [4].

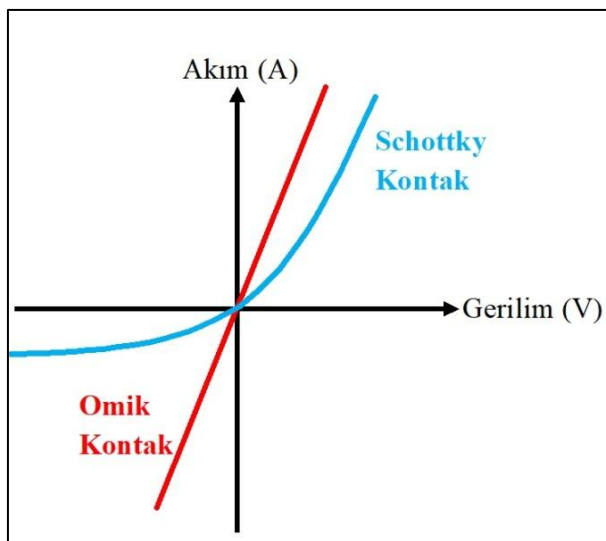
2) Schottky Kontak: Akım-gerilim grafiği doğrusal değildir ve doğrultucu kontakır. Doğrultucu niteliği p-n ekleme benzerdir. Bir yönde gerilim uygulandığı zaman büyük akım, ters yönde gerilim uygulandığı zaman küçük bir akım geçer [4, 92]. Metal-yarıiletken arasında hareketli yükün olmadığı yalıtkan tabaka vardır [94]. Schottky kontakın şematik gösterimi Şekil 2.2'de, omik ve Schottky kontakların akım-gerilim grafikleri Şekil 2.3'de verildi.

2.3. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Schottky-Mott Teorisi

Metal ve yarıiletken kontak edilmesi durumunda, arayüzeyde yükler ayrışır ve yüksek dirençli bir bölge, bir potansiyel engel oluşur. Schottky-Mott engel yüksekliğinin sebebini araştırmışlar ve bir teori ileri sürmüşlerdir. Schottky-Mott'a göre metal-yarıiletken arasında oluşan engel yüksekliğinin nedenini, metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan farklı olması olarak açıklamışlardır [2]. Engel yüksekliği kapasitans özelliği gösterir ve akım iletimin kontrol edilmesinde önemlidir [1].



Şekil 2.2. Bir Schottky kontakın şematik gösterimi



Şekil 2.3. Omik ve Schottky kontakların akım-gerilim grafikleri

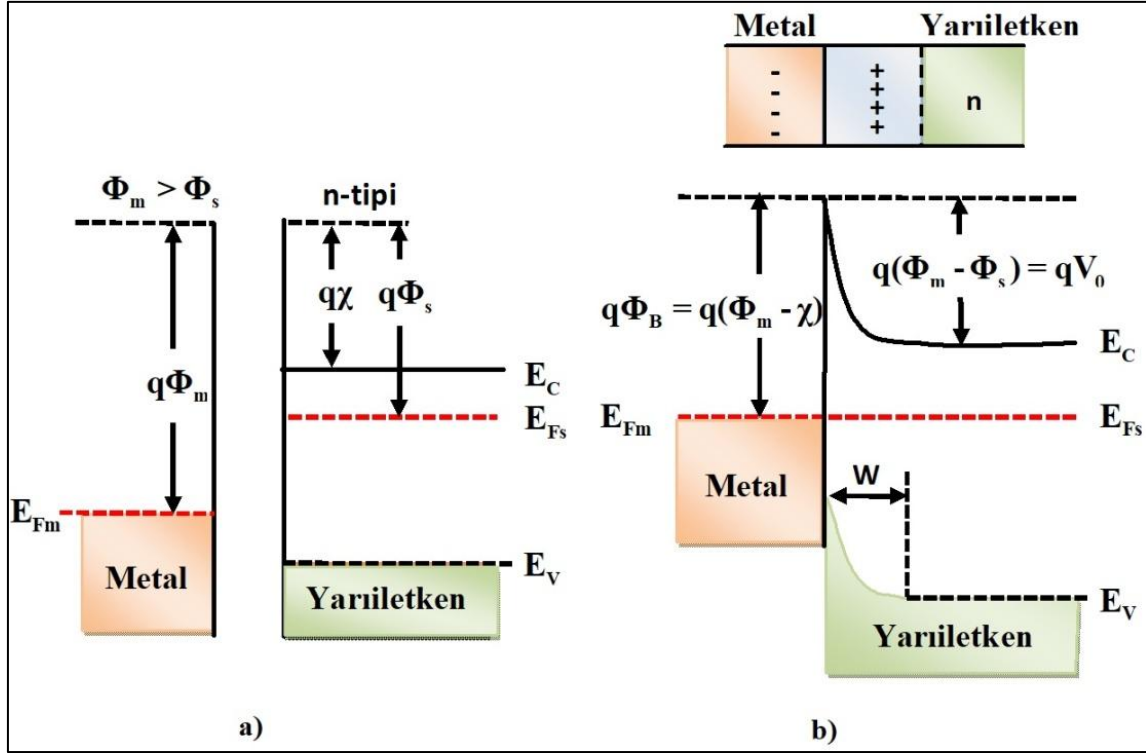
Schottky-Mott, bir metal ve yarıiletken kontak edildiği zaman, kontağın omik veya doğrultucu olmasını iş fonksiyonlarına bakarak belirlemişlerdir [93]. n-tipi bir yarıiletken için; kendisinden daha büyük iş fonksiyonuna sahip bir metalle $\Phi_m > \Phi_s$ kontak edildiği zaman doğrultucu kontak, kendisinden daha küçük iş fonksiyonuna sahip bir metalle $\Phi_m < \Phi_s$ kontak edildiği zaman ise omik kontak oluşur. p-tipi bir yarıiletken için; kendisinden daha büyük iş fonksiyonuna sahip bir metalle $\Phi_m > \Phi_s$ kontak edildiği zaman omik kontak, kendisinden daha büyük iş fonksiyonuna sahip bir metalle $\Phi_m < \Phi_s$ kontak edildiği zaman ise doğrultucu kontak oluşur.

Çizelge 2.1. Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları durumuna göre kontak türleri

Yarıiletken türü	İş fonksiyonlarının durumu	Kontak türü
n-tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	Doğrultucu
	$\Phi_m < \Phi_s$	Omik
p-tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	Omik
	$\Phi_m < \Phi_s$	Doğrultucu

2.3.1. Metal/n-yarıiletken doğrultucu kontaklar ($\Phi_m > \Phi_s$)

İş fonksiyonları birbirinden farklı bir metal ve bir yarıiletken kontak edildiği zaman Fermi seviyeleri dengeleninceye kadar metal ve yarıiletken arasında yük alışverişi meydana gelir. Şekil 2.4'de bir metal ile bir n tipi kontak edilmeden önce ve kontak edildikten sonraki durumları gösterilmektedir. Metal ve yarıiletken kontak edilmeden önce metalin iş fonksiyonu (Φ_m), n-yarıiletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) daha büyüktür. Yani metalin Fermi seviyesinin vakuma uzaklığı, yarıiletkenin Fermi seviyesinin vakuma uzaklığından daha fazladır. Kontak edilme durumunda iki Fermi seviyesi eşitlenir. Yarıiletkenin ilk durumda iş fonksiyonu küçük olduğundan dolayı kontakta sonra yarıiletkenin elektrostatik potansiyeli metale kıyasla artar. Fermi seviyeleri dengelenirken metalden yarıiletkene elektronlar geçer ve arkalarında pozitif yük bırakırlar. Yüklerin ayrışması sonucunda yarıiletken tarafında W tüketim tabakası oluşur. Kontak denge potansiyeli V_0 doğru ve ters beslem gerilim uygulanmasıyla artabilir ya da azalabilir [95].



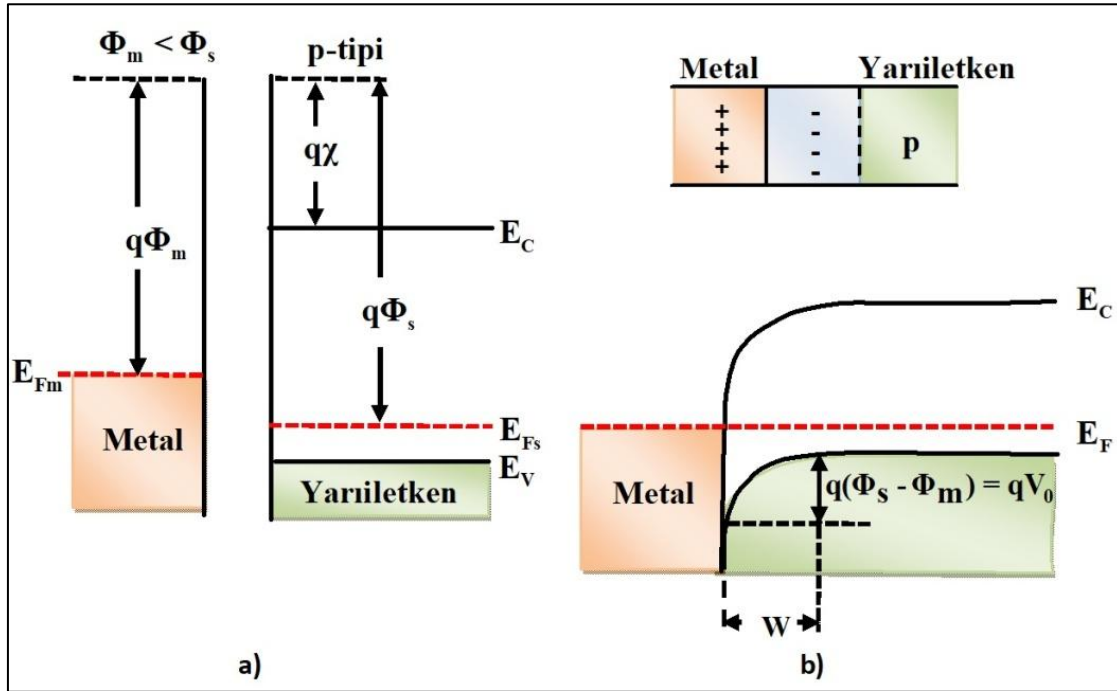
Şekil 2.4. İş fonksiyonu daha büyük bir metalle bir n-yarıiletkenin oluşturduğu doğrultucu kontak a) metal-yarıiletken kontak edilmeden önceki enerji bant diyagramları b) kontakta sonra denge durumu

2.3.2. Metal/n-yarıiletken omik kontaklar ($\Phi_m < \Phi_s$)

Omik kontak her iki yönde akım geçirmesi sebebiyle çoğu zaman istenen bir durumdur. Doğrultma sinyallerine duyarlı olmayan ve küçük dirence sahip omik kontak entegre devrede önemlidir [95].

Omik kontakta n tipi yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , metalin iş fonksiyonundan Φ_m daha büyüktür. Yarıiletkende Fermi seviyelerinin dengeye gelmesi yük çoğunluk taşıyıcılar tarafından sağlanır. Metalden yarıiletkene elektron geçişiyle seviyeler eşitlenir. Yarıiletken daha düşük elektrostatik potansiyele ve elektronlarla enerjisi artar. Bunun sonucunda metal ve yarıiletken arasında küçük engel vardır. Elektronlar küçük bir gerilimle engeli kolayca geçebilirler [95].

2.3.3. Metal/p-yarıiletken doğrultucu kontaklar ($\Phi_m < \Phi_s$)



Şekil 2.5. İş fonksiyonu daha küçük bir metalle bir p-yarıiletkenin oluşturduğu doğrultucu kontak a) metal-yarıiletken kontak edilmeden önceki enerji bant diyagramları b) kontakta denge durumu

Şekil 2.5.'de bir metal ve iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan daha büyük bir p-yarıiletken ile kontak yapılmadan önce ve kontak yapıldıktan sonra oluşan diyagramlar verilmiştir. Başlangıçta yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontak durumunda metalden yarıiletkene elektron geçişi olur. İki Fermi seviyesi eşit olana kadar bu durum devam eder. Denge durumunda yarıiletken tarafındaki deşikler, gelen bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletken içerisinde bu negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler W uzay yükü tabakası içerisinde dağılırlar. Yarıiletken tarafındaki enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden dolayı, yarıiletkendeki deşikler için yüzey engeli şu şekilde verilir;

$$eV_d = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.1)$$

Formüldeki V_d difüzyon potansiyel ifadesidir. Bu potansiyel yarıiletken içerisinde ve metalin yüzeyine göre alınır.

Metal tarafındaki deşikler için ise engel yüksekliği şu şekilde verilir;

$$e\Phi_B = E_s - e\Phi_m \quad (2.2)$$

Yarıiletkene V gerilimi uygulandığı zaman, metalden yarıiletkene deşik akımı değişmez, ama yarıiletkenden metale akan deşikler için engel yüksekliği eV kadar düşer. Sonuç olarak yarıiletkenden metale akan akım $e^{eV/kT}$ çarpanı kadar azalır ve akım karakteristiği,

$$I = I_0 \left[e^{\left(\frac{eV}{kT}\right)} - 1 \right] \quad (2.3)$$

denklemleri ile verilir [95, 96].

2.3.4. Metal/p-yarıiletken omik kontaklar ($\Phi_m > \Phi_s$)

Bu kontakta metalin iş fonksiyonu (Φ_m) p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) daha büyüktür. Metal ve p tipi yarıiletkenin kontak edilmesi durumunda yarıiletkendeki elektronlar metale geçerler. Yarıiletken tarafında elektronların bıraktığı bir pozitif yüzey yükü ve metal tarafında negatif bir yüzey yükü oluşur. Bu hareketin sonucu olarak yarıiletkenin Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar azalır. Yarıiletken yüzeyi deşik konsantrasyonu arttığı için daha fazla p-tipi olur [96]. Doğru beslem uygulandığında, metalden yarıiletkene, elektronlar kolayca hareket ederler. Ters beslem uygulandığında, ısı olarak, metalin iletkenlik bandında oluşun deşikler yarıiletken tarafına kolayca geçerler [96]. Omik kontak elde etmenin pratik bir yolu, yarıiletken kontak bölgesinde ağır olarak katkılamaktır [95]. Katkı konsantrasyonu (örnek: $N_d = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) çok yüksek olan bir Schottky kontak omik kontak olarak davranır [4].

2.4. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Başlıca Akım İletim Mekanizmaları

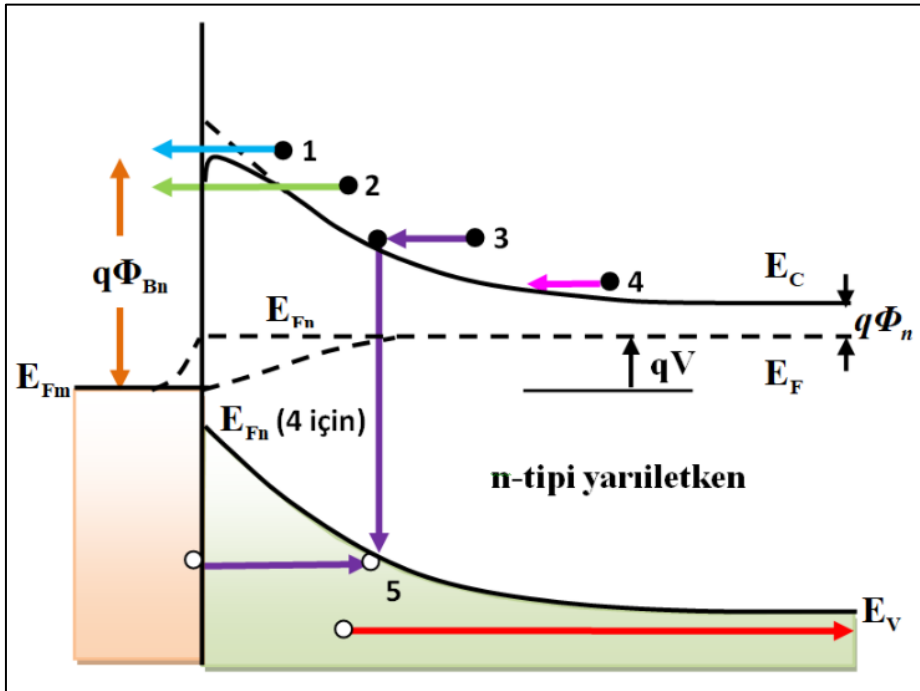
Metal-yarıiletken gerçekleşen akım iletim mekanizmaları genellikle çoğunluk yük taşıyıcıları sayesinde gerçekleşir. Metal-yarıiletkende akım iletim mekanizması karmaşıktır

ve iletim mekanizmasını etkileyen sıcaklık, seri direnç, katkı konsantrasyonu, arayüzey durumları gibi birçok faktör vardır [94].

Doğru beslem altında metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için beş temel akım iletim mekanizması Şekil 2.6'da verildi. MS yapılarda beş temel akım iletim mekanizması şu şekildedir;

- 1) Termiyonik emisyon (TE): Elektronlar engeli aşarak yarıiletkenden metale geçmesi
- 2) Tünelleme: Bariyer boyunca elektronların kuantum mekaniksel tünellemesi
- 3) Rekombinasyon: Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme
- 4) Elektronların Difüzyonu: Tüketim bölgesinde elektronların difüzyonu
- 5) Deşiklerin Difüzyonu: Rekombinasyon bölgesindeki rekombinasyona eşdeğer olan, metalden yarıiletkene geçiş yapan deşiklerin difüzyonu.

Ayrıca metal kontak sınırındaki yüksek elektrik alandan dolayı veya metal-yarıiletken arayüzeyindeki tuzaklardan dolayı arayüzey akımı oluşur. Bu akım, kıyıda sızıntı akımı oluşumuna sebep olabilir. Arayüzey kalitesini artırmak için çeşitli metotlar kullanılmış ve sızıntı akımını azaltmak veya yok etmek için birçok cihaz önerilmiştir [1].



Şekil 2.6. Doğru beslem altında metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için beş temel akım iletim mekanizması: 1) Termiyonik emisyon, 2) Tünelleme 3) Rekombinasyon (yeniden birleşme), 4) Elektronların difüzyonu (nüfuz etmesi), 5) Deşiklerin difüzyonu [1]

2.4.1. Termiyonik emisyon (TE) teorisi

Termiyonik emisyon (TE) yeterli enerjiye sahip olan elektron ya da deşiklerin sıcak bir yüzeyden salınması olayıdır. Schottky kontaklarda Termiyonik emisyon teorisi; yeterince ısı enerji kazanan taşıyıcıların engel yüksekliğini aşarak yarıiletken metale ya da metalden yarıiletkene geçmesidir. Termiyonik emisyon metal-yarıiletken kontaklarda çoğunluk taşıyıcılar tarafından belirlenir. Metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda deşikler, metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda elektronlar tarafından gerçekleşir [94].

Bethe tarafından önerilen Termiyonik emisyon için üç varsayımı vardır;

- 1) Engel yüksekliği $q\Phi_B$, kT değerinden çok büyüktür.
- 2) Isıl denge emisyonu tayin eden düzlemde oluşmuştur.
- 3) Net akımın oluşumu bu dengeyi etkilemez [1].

Yarıiletkenden metale akım yoğunluğu $J_{s \rightarrow m}$ olmak üzere, engeli aşacak yeterli enerjiye sahip ve x-doğrultusunda hareket eden elektron konsantrasyonu şu şekilde verilir;

$$J_{s \rightarrow m} = \int_{E_{Fn} + q\Phi_{Bn}}^{\infty} qv_x dn \quad (2.4)$$

Burada, v_x , x doğrultusundaki taşıyıcının hızı ve $E_{Fn} + q\Phi_{Bn}$ metalden Termiyonik emisyon için ihtiyaç olan minimum enerji miktarıdır. Bu denklemde gerekli işlemler yapıldığında;

$$J_{s \rightarrow m} = 2q \left(\frac{m^*}{h} \right)^3 e^{\left(-\frac{q\Phi_n}{kT} \right)} \int_{v_{0x}}^{\infty} v_x e^{\left(-\frac{m^*v_x^2}{2kT} \right)} dv_x$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{\left(-\frac{m^*v_y^2}{2kT} \right)} dv_y \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\left(-\frac{m^*v_z^2}{2kT} \right)} dv_z$$

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 e^{\left(-\frac{q\Phi_n}{kT} \right)} e^{\left(-\frac{m^*v_{0x}^2}{2kT} \right)} \quad (2.5)$$

ifadesi elde edilir. Burada h Planck sabiti, m^* etkin kütle, k Boltzman sabiti, v_{0x} x-doğrultusunda engeli aşmak için gerekli minimum hızdır. Kuantum mekaniksel yansıma ve optik-fonon saçılması ihmal edildiğinde, Termiyonik emisyon için Richardson sabiti;

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \quad (2.6)$$

ile verilir. Richardson sabiti n-tipi yarıiletken için $120 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ ve p-tipi yarıiletken için $32 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ 'dir. Metalden yarıiletkene doğru hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kalır. Bu sebeple metalden yarıiletkene doğru olan akım, uygulanan gerilimden etkilenmez. Akım, ısıl denge sağlandığı zaman ($V=0$) yarıiletkenden metale akan akıma eşit olmalıdır. Bu durumda, $J_{m \rightarrow s}$ metalden yarıiletkene akan akım,

$$J_{m \rightarrow s} = -A^* T^2 e^{\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right)} \quad (2.7)$$

şeklinde olur. Metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale geçen toplam akım yoğunluğu;

$$\begin{aligned} J_n &= \left[A^* T^2 e^{\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right)} \right] \left[e^{\left(\frac{qV}{kT}\right)} - 1 \right] \\ &= J_{TE} \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

olur. J_{TE} ifadesi ise

$$J_{TE} \equiv A^* T^2 e^{\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right)} \quad (2.9)$$

şeklindedir [1].

2.4.2. Difüzyon teorisi

Yoğunlukları farklı iki bölge arasında, yoğunluğu fazla olan bölgeden yoğunluğu az olan bölgeye doğru meydana gelen yük geçişlerine difüzyon akımı ya da difüzyon denir [94].

Schottky tarafından öne sürülen teorinin dört varsayımı vardır;

- 1) Engel yüksekliği kT 'den çok büyüktür.
- 2) Tüketim bölgesinde elektronların çarpışma etkisi dahil edilmiştir.
- 3) $x=0$ ve $x = W_D$ 'deki taşıyıcı konsantrasyonları akımdan etkilenmemiştir ve ısı denge değerine sahiptir.
- 4) Yarıiletkenin safsızlık konsantrasyonu dejenere değildir.

Tüketim bölgesindeki akım, bölgesel alan ve yoğunluk gradyentine bağlı olduğundan akım yoğunluğu eşitliği;

$$J_x = J_n = q \left(n \mu_n \mathcal{E} + D_n \frac{dn}{dx} \right)$$

$$J_x = q D_n \left(\frac{n}{kT} \frac{dE_C}{dx} + \frac{dn}{dx} \right) \quad (2.10)$$

şeklinde verilir. Burada μ elektron mobilitesi, D_n elektron difüzyon sabitidir. Schottky engeli için yukarıdaki denklem üzerinde gerekli işlemler yapıp, görüntü kuvvet etkisi ihmal edildiğinde;

$$J_n \approx \frac{q^2 D_n N_C}{kT} \sqrt{\frac{2q N_D (\psi_{bi} - V)}{\epsilon_s}} e^{\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT} \right)} \left[e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} - 1 \right]$$

$$\approx q \mu_n N_C \mathcal{E}_m e^{\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT} \right)} \left[e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} - 1 \right] = J_D \left[e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} - 1 \right] \quad (2.11)$$

ifadesi elde edilir. Burada V_d difüzyon potansiyeli, N_C iletkenlik bandındaki izinli enerji durumlarının yoğunluğu, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik geçirgenliği ve N_D verici katkı atomlarının yoğunluğudur [1, 94].

2.4.3. Engel boyunca tünelleme

Schottky engel diyotlarda, Termiyonik emisyon ve Difüzyon iletim mekanizması dışında, elektronlar kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla karşıya geçebilirler. Schottky engel eklemlerde tünelleme ters ve doğru beslem olmak üzere iki şekilde olabilir. Aşırı katkılama sebebiyle tüketim bölgesi çok incelir ve düşük sıcaklıklarda Fermi seviyesine yakın elektronlar yarıiletkenin metale tünelleleyebilir. Bu süreç alan emisyonu (AE) olarak bilinir. Elektronların önemli bir kısmı yüksek sıcaklıklarda Fermi seviyesinin üzerine çıkabilirler. Buradaki daha ince ve daha az bir engel elektronların tünelleme olasılığını artırır. Bu Termiyonik alan emisyon (TAE) olarak bilinir. Eğer sıcaklık artmaya devam ederse elektronlar engel üstünden aşabilirler. Yani Termiyonik emisyon (TE) gerçekleşir. Çok küçük doğru beslemeler hariç, alan emisyon (AE) yalnız dejenere yarıiletkenlerde ileri beslemde meydana gelir. Tünel varlığında I - V karakteristiği;

$$I = I_0 e^{\left(\frac{qV}{E_0}\right)} \quad (2.12)$$

Burada E_0 ,

$$E_0 = E_{00} \coth\left(\frac{E_{00}}{kT}\right) \quad (2.13)$$

ve E_{00}

$$E_{00} \equiv \frac{q\hbar}{4\pi} \sqrt{\frac{N}{m^* \epsilon_s}} \quad (2.14)$$

şeklindedir. Burada \hbar Planck sabiti ve m^* elektronun etkin kütesidir. E_{00} tünelleme enerjisidir ve tünellemede çok önemlidir. Termiyonik emisyon (TE) ve tünellemede kT/E_{00} oranı çok önemli bir ölçüdür. Düşük sıcaklıklarda alan emisyon (AE), yüksek sıcaklıklarda Termiyonik emisyon (TE) baskındır. Orta sıcaklık değerleri için $\ln I$ - V grafiğinin eğimi q/nkT olarak yazılabilir.

$$n = \frac{E_{00}}{kT} \coth\left(\frac{E_{00}}{kT}\right) \quad (2.15)$$

Termiyonik alan emisyonu (TAE) diyot akımına katkısı $E_0 \approx kT$ durumunda baskındır.

Termiyonik alan emisyonun (TAE) akıma katkısı en büyük olduğu durumda E_m ;

$$E_m = \frac{qV_d}{[\cosh(E_{00}/kT)]^2} \quad (2.16)$$

olarak yazılır. V_d toplam bant bükülme gerilimidir. E_m , tüketim tabakası kıyısında iletkenlik bandından itibaren ölçülür. Si ve GaAs Schottky engel diyotlarda, 300 K'de ve $N_d > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olduğunda TAE çok önemlidir. Ancak katkılama çok küçük olduğunda TAE ihmal edilebilir. Bu durumda TE baskındır [2].

2.5. Schottky Diyotun Akım-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi

2.5.1. Cheung yöntemi

Cheung ve Cheung 1986'da, I-V ölçümlerinden idealite faktörü n , engel yüksekliği Φ_B , seri direnç R_s gibi Schottky diyot parametrelerinin bulunabileceği bir model geliştirdiler.

$$V = IR_s + n\Phi_{B0} + \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (2.17)$$

Eşitliğinde $\ln I$ 'ya göre türev alındığı zaman

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (2.18)$$

eşitliği elde edilir. $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinin eğimi seri direnç R_s değerini ve $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinin y eksenini kestiği ($I_0 = 0$) noktadan idealite faktör n değeri bulunabilir.

Φ_{B0} değerini bulmak için $H(I)$ fonksiyonu tanımlanırsa:

$$H(I) = V - \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I}{AA * T^2} \right) \quad (2.19)$$

$$H(I) = IR_s + n\Phi_{B0} \quad (2.20)$$

denklemleri elde edilir. $H(I)$ 'nın akıma I karşı grafiği çizildiğinde doğrusal bir grafik bulunur. $H(I)$ -I grafiğinin eğimi seri direnç R_s 'yi, $I=0$ 'da kestiği nokta $n\Phi_{B0}$ ifadesini verir. $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I iki farklı eğim kullanılarak, üç önemli diyot parametresi (n , Φ_{B0} , R_s) belirlenebilir [10].

2.5.2. Norde yöntemi

1979'da Norde tarafından Schottky engel diyotun engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için bir fonksiyon önermiştir. Norde fonksiyonu şu şekildedir;

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA * T^2} \right). \quad (2.21)$$

Diyot için seri direnç R_s 'i içeren akım denklemi $n=1$ için,

$$I = I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q}{kT} (V_D - IR_s) \right\} - 1 \right], \quad (2.22)$$

Burada $I_0 = AA * T^2 e^{(-q\Phi_B/kT)}$ dir. $V_D > kT/q$ kabul edersek, Eşitlik 2.21 ve Eşitlik 2.22

$$F(V) = \Phi_B + IR_s - \frac{1}{2}V \quad (2.23)$$

denklemine dönüşür. İdeal durum için $R_s = 0$ 'dır. $F(V)$ doğrunun eğimi $-1/2$ olan, düz bir doğru verir. Düz doğrunun $F(V)$ eksenini kestiği nokta engel yüksekliğini Φ_B 'yi verir. Yalnızca seri direnç R_s olursa,

$$F(V) = F_R(V) \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{R_s A A^* T^2} \right) \quad (2.24)$$

olur. Denklem 2.24'ün eğimi büyük gerilim değerleri için eğim değeri $+1/2$ olan düz bir çizgiyi verir. Açıkça $F(V)$ küçük akım değerleri için ideal duruma yakın olurken, büyük akım değerleri için $F_R(V)$ 'ye yaklaşacaktır. Bu iki uç nokta arasında $F(V)$ minimum değere sahiptir.

Denklem 2.23'ün gerilime göre türevi alındığı zaman denklem

$$\frac{dF}{dV} = R_s \left(\frac{dI}{dV} \right) - \frac{1}{2} \quad (2.25)$$

olur.

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_D} \left[1 + R_s \left(\frac{dI}{dV_D} \right) \right]^{-1},$$

$$\frac{dI}{dV_D} = \frac{d}{dV_D} \left[I_0 e^{(qV/kT)} \right] = \frac{q}{kT} I,$$

şeklindedir. V_D diyot üzerine düşen gerilimdir. dI/dV_D gerilime göre türevi alınırsa

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\frac{qR_s I}{kT}}{1 + \frac{qR_s I}{kT}} - \frac{1}{2}$$

ifadesi elde edilir. $dF/dI=0$ yazarak F 'nin minimum olduğu noktadaki I_0 ,

$$I_0 = I_{F(V)_{\min}} = \frac{kT}{qR_s} \quad (2.26)$$

şeklinde bulunur. $V_{F(V)_{\min}}$ değeri;

$$V_{F(V)_{\min}} = I_0 R + V_D(I_0) = \frac{kT}{q} + \ln\left(\frac{I_{F(V)_{\min}}}{AA * T^2}\right) \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. V ve $F(V)$ 'nin minimum değeri şu şekilde verilir;

$$F(V) = F_R(V) \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{R_s AA * T^2}\right) \quad (2.28)$$

eşitliği ile elde edilir. $I_{F(V)_{\min}}$, $V_{F(V)_{\min}}$, $F(V)_{\min}$ ölçülen değerleri ve Eşitlik 2.26, Eşitlik 2.27 kullanılarak, seri direnç;

$$R_s = \frac{kT}{qI_0} \quad (2.29)$$

ve engel yüksekliği;

$$\Phi_B = F(V)_{\min} + \frac{V_{F(V)_{\min}}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (2.30)$$

parametreleri bulunur [3, 9].

2.6. Schottky Diyotun Kapasitans-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi

Metal-yarıiletken kontaklarda engel bölgesi veya tüketim bölgesi bir kondansatör gibi davranır. Diyota ters beslem gerilimi uygulanıp artırıldığı zaman tüketim tabakasının genişliği artar. Yarıiletkende, metale yakın kısımda çok miktardadeşik yoğunluğu varsa,deşiklerin Fermi seviyesi metaldeki Fermi seviyesiyle çakışmasıyladeşik yoğunluğu düşer. Bu yük değişiminden dolayı Schottky bölgesinin kapasitansı değişir. Schottky diyotların bu özelliğinden dolayı gerilim kontrolü değişken kapasitör olarak kullanılabilir [97].

Değişken kapasitör olarak ters beslenmiş diyotlar kullanılabilir. Ters beslem altında alınan kapasitans-gerilim ölçümleri engel parametreleri hakkında bilgi verebilir [92]. Tüketim bölgesine ters belsemde birkaç milivolt a.c gerilim uygulandığı zaman kapasitans;

$$C = A \left[\frac{\epsilon_s q N_d}{2(V_i + V_R - kT/q)} \right]^{1/2} \quad (2.31)$$

denklemleri ile verilir. Burada A diyotun kesit alanı, V_R ters beslem gerilimi, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, ve N_d verici atomların konsantrasyonudur. Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü üzere C^{-2} grafiğinin eğimi $2/A^2 \epsilon_s q N_d$ eğimli doğrusal bir çizgi verir. Doğrusal çizginin kesim noktası ise $V_0 (= V_i - kT/q)$ verir. Doğrusal çizginin eğimi N_d verici atomların konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılabilir. $qV_i = (\Phi_B - \Phi_n)$ olduğundan engel yüksekliği;

$$\Phi_B = (qV_0 + \Phi_n + kT) \quad (2.32)$$

olarak elde edilir. kT faktörü çoğunluk taşıyıcıların uzay yüküne katkısından dolayı gelmektedir. Eşitlik 2.32 denklemleri imaj kuvvet düşüşünü içermez. Goodman tarafından C-V ölçümlerinden engel yüksekliğinin elde edilişi detaylı olarak yapılmış ve aynı zamanda metodun sınırlarını da ortaya koymuştur [2].

2.6.1. Hill Coleman yöntemi

1980 yılında Hill ve Coleman arayüzey kalitesine ilişkin nicel kıstaslar sağlayan, bir yaklaşım metodu olarak basit frekans tekniği önermişlerdir. Hesaplamalar için gerekli olan, yüksek frekans kapasitans, gerilim ve iletkenlik ölçümleri olarak belirtmişlerdir.

Bu tekniğin geçerliliğini iletkenlik, frekans ve gerilim eğrilerinde üç boyutlu olarak en iyi şekilde göstermişlerdir. Ayrıca arayüz elektronik durumlarının zamansal ve termodinamik özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamayı sağlayacağını belirtmişlerdir. Hill Coleman tekniğinde arayüzey durum yoğunluğu;

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{G_{max} / \omega}{\left(\frac{G_{max}}{\omega C_{ox}} \right)^2 + \left(1 - \frac{C_m}{C_{ox}} \right)^2} \quad (2.33)$$

şeklinde verilir. Burada q yük, G_{max} iletkenliğin ölçülen en büyük değeri, A Schottky alanı, C_{ox} yalıtkan tabakanının kapasitansı ve ω frekanstır [98].

3. DENEYSEL YÖNTEM

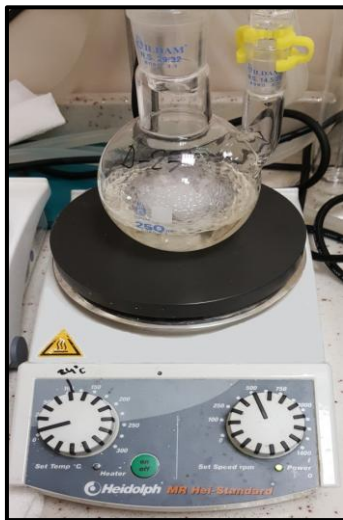
3.1. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky Diyotların Hazırlanması

3.1.1. Organik malzemelerin hazırlanması

Al/p-Si üzerine kaplanacak olan N-Furan Naftalimit ve N-Tiyofen Naftalimit organik malzemeleri Giresun Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında Organik Kimya hocası Doç. Dr. Serkan SAYIN tarafından ilk defa üretildi. Organik malzemenin üretim aşamaları Resim 3.1, Resim 3.2, Resim 3.3, Resim 3.4, Resim 3.5’de verildi.



Resim 3.1. Reaksiyon karışımının geri soğutucu altında kaynatılması



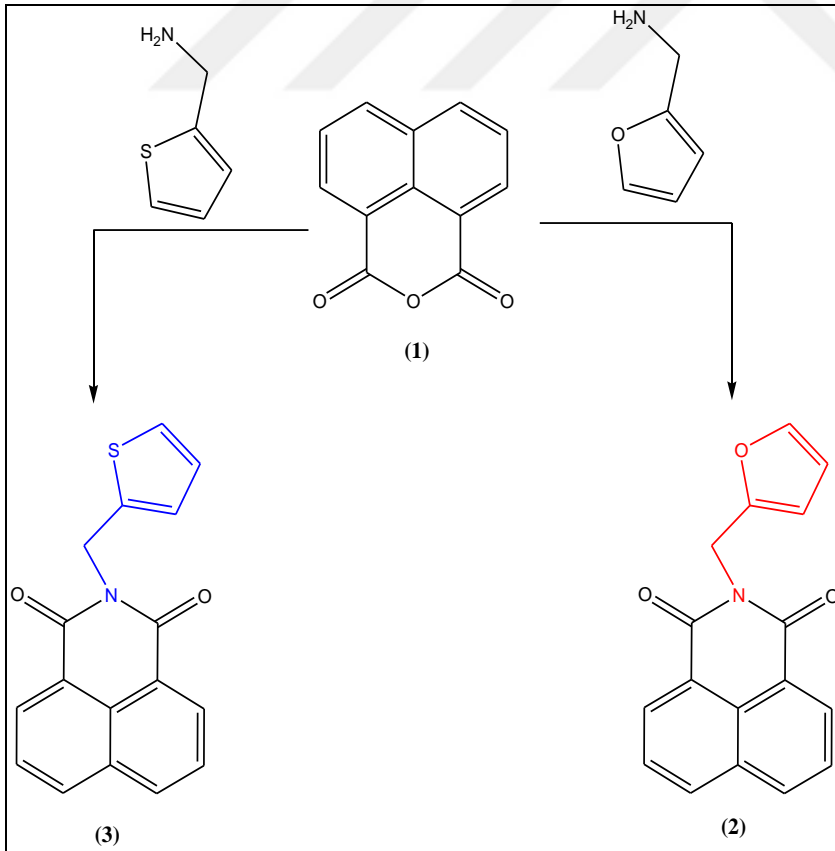
Resim 3.2. Refluks'un başladığı an

Enstrümental Teknikler

^1H NMR spektrumları CDCl_3 içinde Bruker 400 MHz spektrometre kullanıldı. NMR spektrumunda kimyasal kayma değerleri (δ) ppm cinsinden belirtildi. Analitik TLC'ler silika jel tabakasıyla (SiO_2 , Merck 60 F₂₅₄) kaplanmış alüminyum plakalar kullanarak yapıldı. Tetrahidrofuran sodyum/benzofenon üzerinden reflüks edilerek kurutulup daha sonra fraksiyonlu distilasyonla distillenip kullanıldı. CH_2Cl_2 , CaCl_2 'den ve MeOH, Mg üzerinden distillenip kullanıldı. Tüm sulu çözeltiler, Millipore Milli-Q Plus su arıtma cihazıyla saflaştırılan saf su ile hazırlandı.

Sentezler

Bu proje kapsamında sentezlenen bileşikler yeni geliştirilen metotlara göre ilk kez sentezlendi. 2 ve 3 nolu bileşiklerin genel sentetik prosedürlerinin şematik gösterimi Şekil 3.1.'de verildi.

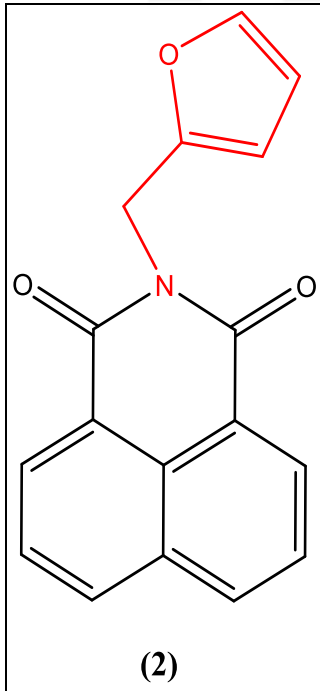


Şekil 3.1. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit 2 ve N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit 3'ün sentezi

Şekil 3.1’deki bileşiklerin sentez prosedürleri aşağıda verildi;

N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimidin (2) sentezi

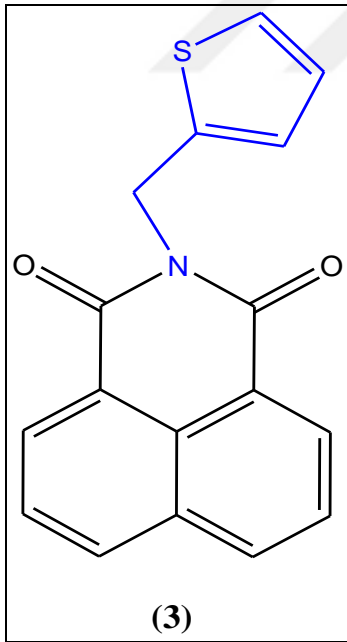
N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimidin (2) sentezi Şekil 3.2’de verildi. 4,587 mmol furfurilamin’in 80 ml THF içerisindeki çözeltisine 5,05 mmol 1,8-naftalik anhidrid ilave edildi. Reaksiyon karışımı bir geri soğutucu altında refluks edildi. Reaksiyonun ilerleyişi İTK (DCM/heksan, 2/1) ile izlenir. 43 saat sonra çözücü evaporatörde uzaklaştırıldı. Ham ürün saf su ile nötral pH a kadar yıkanır, süzülür ve etüvde kurutuldu. Sonra DCM’de çözülür ve MeOH ilavesi ile bileşik 2 çöktürülür, süzülür ve etüvde kurutuldu. Beyaz renkli toz % 84 verimle sentezlendi. ^1H NMR (400 MHz, CHCl_3): δ 5,43 (brs, 2H, N- CH_2 -), 6,33 (brs, 1H, ArH), 6,47 (brs, 1H, ArH), 7,36 (brs, 1H, ArH), 7,76 (td, 2H, J= 7,4; 3,2 Hz, ArH), 8,21 (dd, 2H, J= 8,0; 2,4 Hz, ArH), 8,64 (dd, 2H, J= 6,6, 2,4 Hz, ArH). ^{13}C NMR (100 MHz, CHCl_3): δ 36,35; 109,16; 110,39; 122,52; 126,95; 128,21; 131,51; 131,61; 134,13; 142,08; 150,50; 163,88. (Anal. Hesapl. $\text{C}_{17}\text{H}_{11}\text{NO}_3$ (%): C, 73,64; H, 4,00; N, 5,05. Bulunan: C, 73,28; H, 3,50; N, 4,88.



Şekil 3.2. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit 2’ün sentezi

N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimidin (3) sentezi

N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimidin (3) sentezi Şekil 3.3’de verildi. 4,587 mmol 2-aminometil Tiyofen’in 80 ml THF içerisindeki çözeltisine 5,05 mmol 1,8-naftalik anhidrid ilave edildi. Reaksiyon karışımı bir geri soğutucu altında refluks edildi. Reaksiyonun ilerleyişi İTK (DCM/heksan, 2/1) ile izlenir. 41 saat sonra çözücü evaporatörde uzaklaştırıldı. Ham ürün saf su ile nötral pH a kadar yıkandı, süzöldü ve etüvde kurutuldu. Sonra DCM de çözüldü ve MeOH ilavesi ile bileşik 3 çöktüröldü, süzöldü ve etüvde kurutuldu. Beyaz renkli kristal % 99,8 verimle sentezlendi. ^1H NMR (400 MHz, CHCl_3): δ 5,56 (s, 2H, N- CH_2 -), 6,96 (t, 1H, J= 4,4 Hz, ArH), 7,23 (d, 1H, J= 4,8 Hz, ArH), 7,32 (d, 1H, J= 3,2 Hz, ArH), 7,75 (t, 2H, J= 8,0 Hz, ArH), 8,20 (d, 2H, J= 8,4 Hz, ArH), 8,63 (d, 2H, J= 7,2 Hz, ArH). ^{13}C NMR (100 MHz, CHCl_3): δ 37,90; 122,53; 125,76; 126,49; 126,95; 128,17; 128,42; 131,47; 131,59; 134,14; 138,72; 163,82. (Anal. Hesapl. $\text{C}_{17}\text{H}_{11}\text{NO}_2\text{S}$ (%): C, 69,61; H, 3,78; N, 4,77; S, 10,93. Bulunan: C, 69,80; H, 3,54; N, 4,62; S, 10,99.



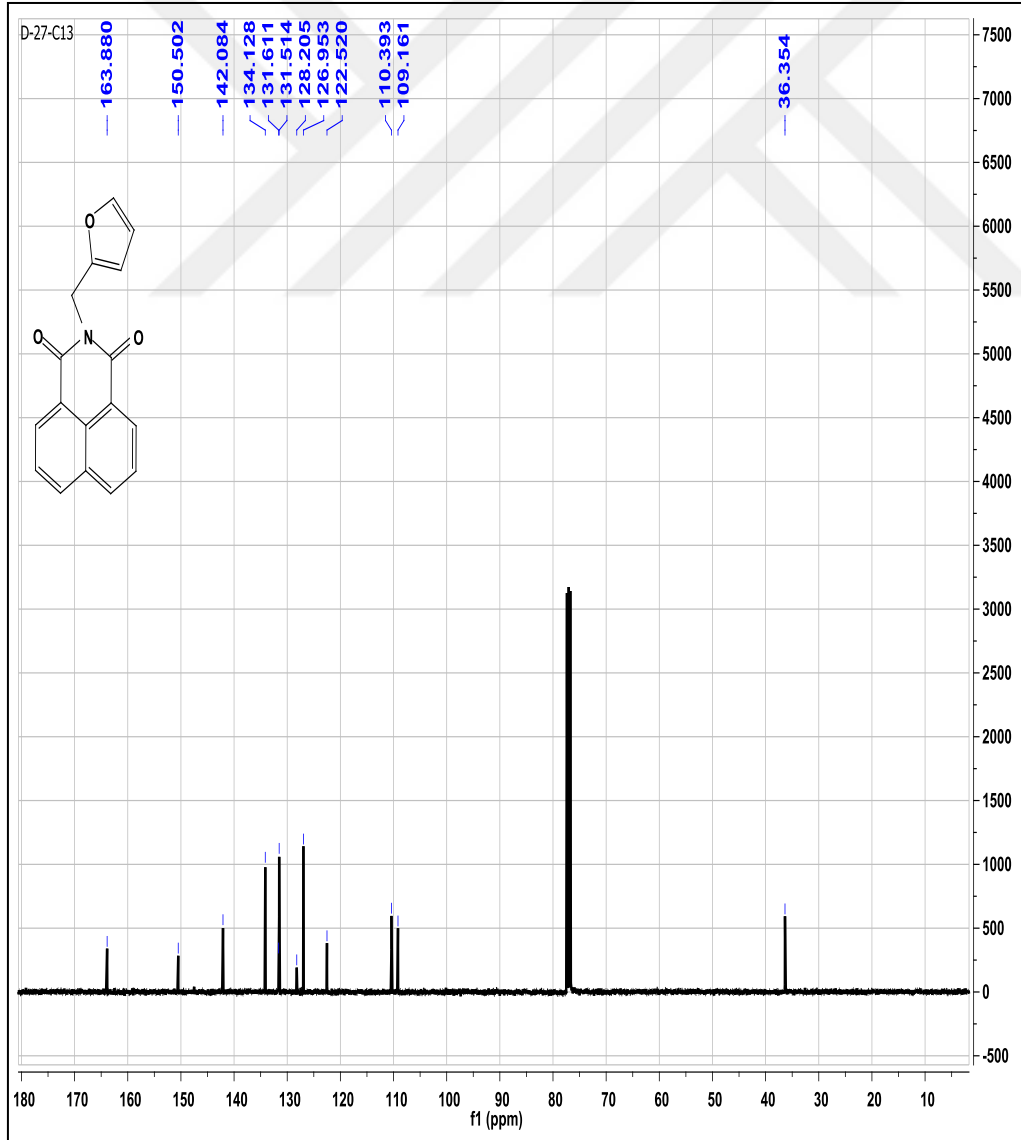
Şekil 3.3. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit 3’ün sentezi

Naftalimittürevlerinin sentez sonuçları

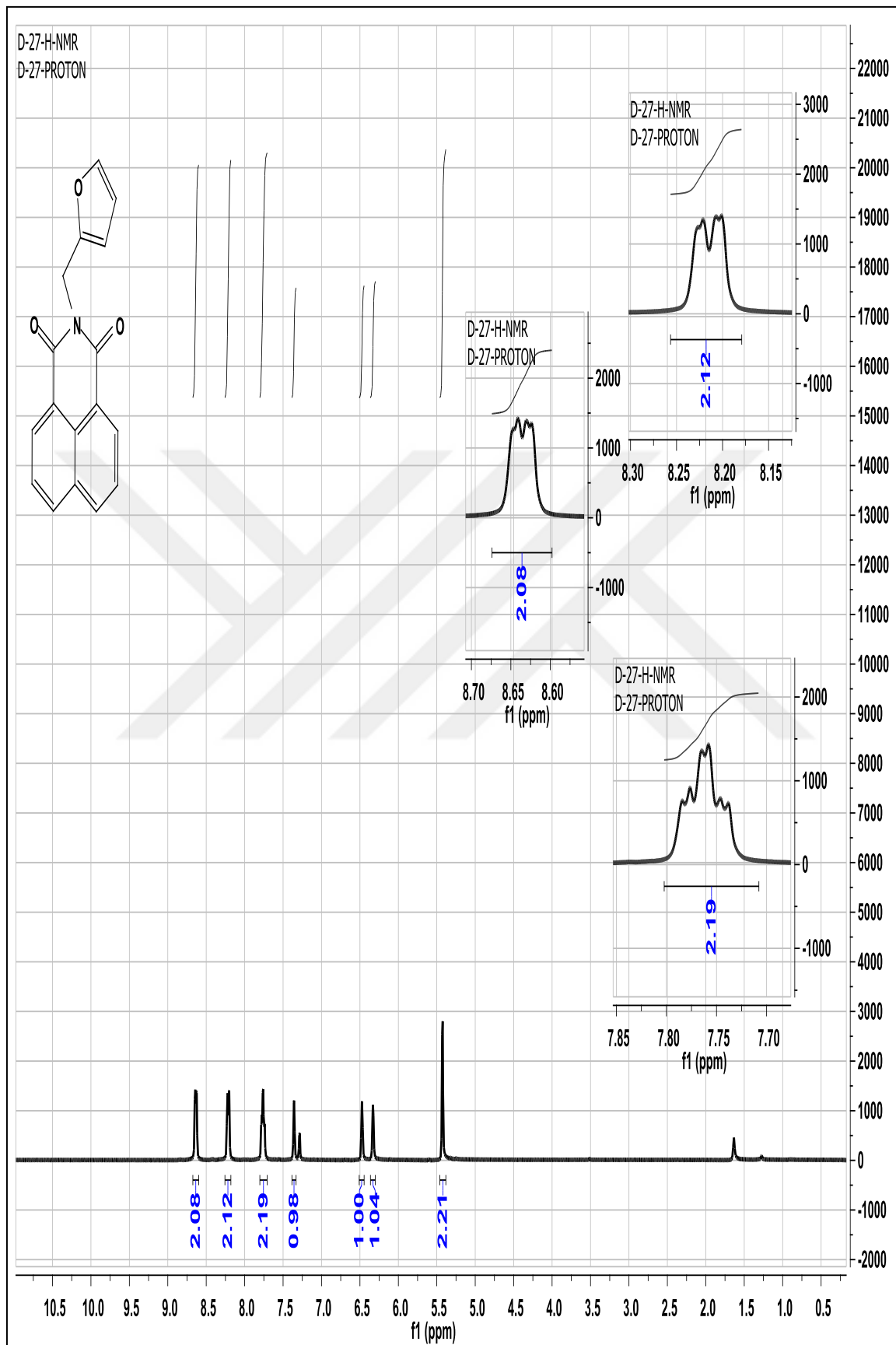
Üretilen naftalimit bileşiklerin ^{13}C -NMR ve ^1H -NMR spektrumları Giresun Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında NMR spektroskopisinde alındı.

Şekil 3.1’de verilen sentez şemasına göre çıkış bileşiği 1,8-naftalik anhidrid 2-aminometil furan ve 2-aminometil tiyofen ile THF ortamında reaksiyonu sonucu sırasıyla N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2) ve N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3) ilk kez bu çalışma ile sentezlendi ve yapıları NMR tekniği ile aydınlatıldı.

N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2)’in ^{13}C -NMR spektrumu Şekil 3.4’de ve ^1H -NMR spektrumu Şekil 3.5’de verilmiştir. N-[1-(Furan-2-il)metil]-1,8-naftalimit (2)’in ^1H ve ^{13}C -NMR sonuçlarına göre 1,8-naftalik anhidrid’e 2-aminometil furanın bağlandığı anlaşılmaktadır. Bu bileşiğe ait ^1H -NMR spektrumunda 5,43 ppm de N-CH₂ grubuna ait pikin yer almasının yanı sıra 6,33; 6,47 ve 7,36 ppm furan grubunun protonlarına ait piklerin yer alması bileşiğin yapısının doğru olduğunu göstermektedir.

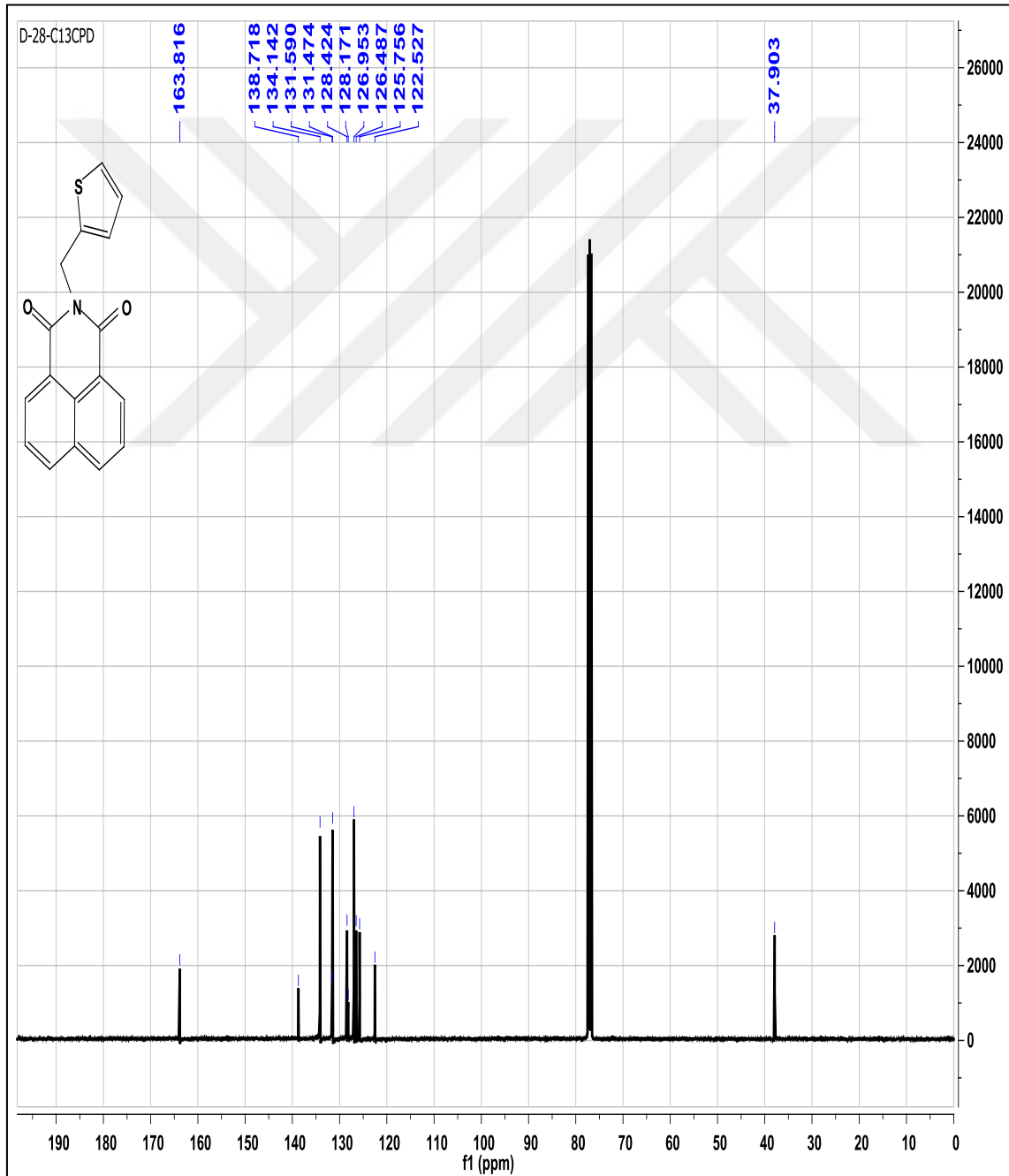


Şekil 3.4. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2)’in ^{13}C -NMR spektrumu

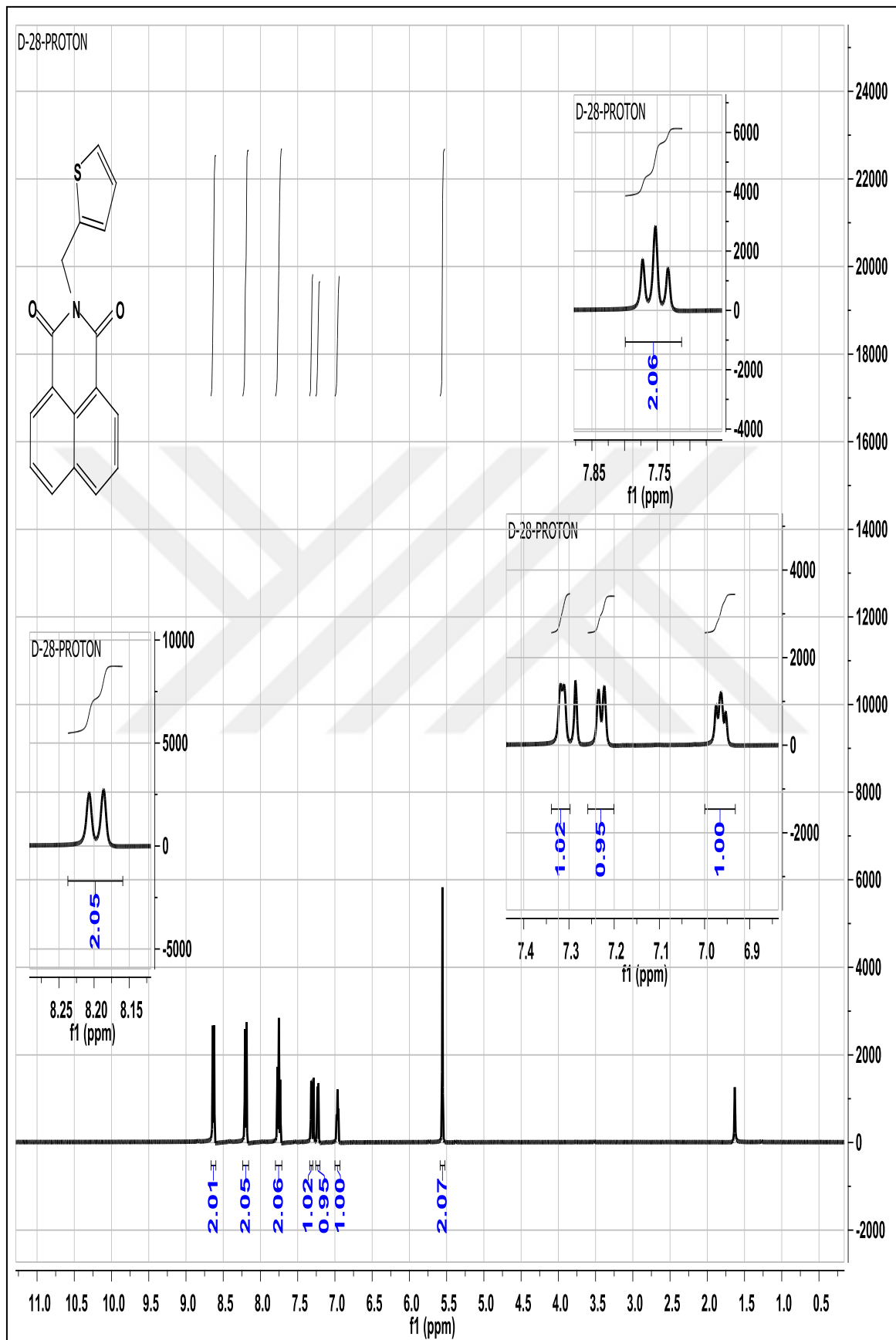


Şekil 3.5. N-[1-(Furan-2-il) metil]-1,8-naftalimit (2)'in ^1H -NMR spektrumu.

N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in ^{13}C -NMR spektrumu Şekil 3.6'da ve ^1H -NMR spektrumu Şekil 3.7'de verilmiştir. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in ^1H ve ^{13}C -NMR sonuçlarına göre 1,8-naftalik anhidrid'e 2-aminometil tiyofene bağlandığı anlaşılmaktadır. Bu bileşiğe ait ^1H -NMR spektrumunda 5,56 ppm de N-CH₂ grubuna ait pikin yer almasının yanı sıra 6,96; 7,23 ve 7,32 ppm tiyofen halkasındaki aromatik protonlara ait piklerin yer alması bileşiğin yapısının doğru olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.6. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in ^{13}C -NMR spektrumu.



Şekil 3.7. N-[1-(Tiyofen-2-il) metil]-1,8-naftalimit (3)'in $^1\text{H-NMR}$ spektrumu.

3.1.2. Kimyasal temizleme

Bu çalışmada kullanılan Al/p-Si/Al MS Schottky diyot, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotları, Gazi Üniversitesi Fizik Fakültesinde kurulan Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde hazırlandı. Schottky diyotların yapımında <100> yönelimine sahip, 0,5 mm kalınlıklı ve 5,08 cm (2 inç) çapında fabrikasyon olarak parlatılmış p-tipi tek kristal Si yaprak kullanıldı. Diyot üretirken sağlıklı sonuç alınabilmesi için alttaşın mekanik ve organik kirlere temizlenmesi gerekir. p-tipi Si yüzey parlatılması fabrikasyon olarak yapıldığı göz önüne alınarak, mekanik olarak parlatılma yapılmadı ve kimyasal temizliğe tabi tutuldu. Kimyasal temizlemede kullanılan cihazlar Resim 3.6'da verildi.



Resim 3.6. Kristal temizlemede kullanılan a) Deiyonize su üretici ve ultrasonik banyo b) Isıtıcı düzeneği

Kimyasal temizlikte aşağıdaki süreç takip edildi;

- 1) Si yaprak aseton (C_3H_6O) içerisine konulup, ultrasonik banyoda 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanol'da (CH_3OH) ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize (DI) su ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 temizliği için su oranı 6, hidrojen peroksit oranı 1 ve amonyak oranı 1 olan karışımda ($H_2O : H_2O_2 : NH_3 ; 6 : 1 : 1$) $60^\circ C$ 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 5) Su oranı 10 ve hidroklorik asit oranı 1 olan seyreltik HF karışımında ($H_2O : HF ; 10 : 1$) 30 saniye yıkandı.

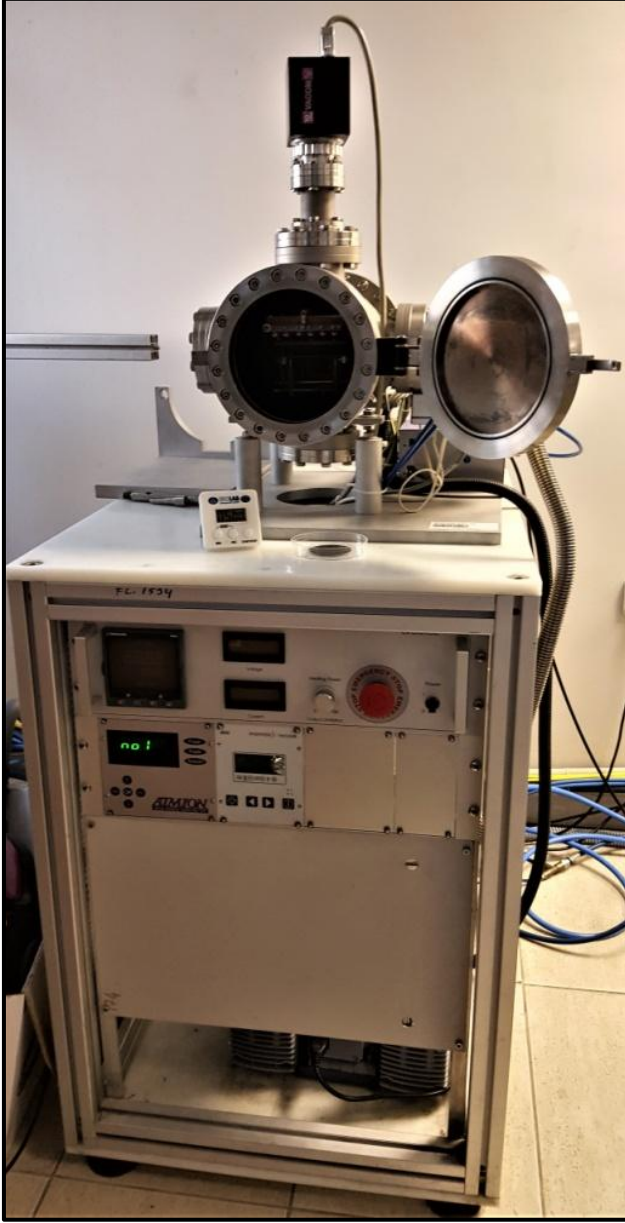
- 6) RCA2 temizliği için su oranı 6, hidrojen peroksit oranı 1 ve hidrojen klorür oranı 1 olan karışımında ($H_2O:H_2O_2:HCl;6:1:1$) $60^{\circ}C$ 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Deiyonize (DI) su ile iyice yıkandı.
- 8) Su oranı 10 ve hidroflorik asit oranı 1 olan seyreltik HF karışımı ($H_2O:HF;10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 15-20 dakika akan deiyonize (DI) su içerisinde yıkandı.
- 10) Azot gazı (N_2) ile hızlı kurutma sağlandı [17, 29, 43, 77].

3.1.3. Omik kontağın oluşturulması

RCA temizlik sürecinden geçirilen yarıiletkenin kontakları Püskürtme sistemi (Magnetron Sputtering Sistem-BESTEC) ve Hızlı Tavlama Sistemi (RTA) kullanılarak yapıldı. Püskürtme Sistemi ve Hızlı Tavlama Sistemi Resim 3.7. ve Resim 3.8.'de verildi.



Resim 3.7. BESTEC Püskürtme sistemi (Magnetron Sputtering System)



Resim 3.8. Hızlı Tavlama Sistemi (RTA: Rapid Thermal Annealing System)

p-Si mat tarafına buharlaştırılacak % 99,98 saflıkta Al metali daha önceden cihaza yerleştirildi. RCA temizlikten geçirilen p-tipi Si Püskürtme Sistemine yerleştirilip, 30 dakika vakum alındı. Vakum için basınç, $1,6 \times 10^{-7}$ mbardan $4,0 \times 10^{-3}$ mbara getirildi. Oda sıcaklığında, hedef-numune arasındaki mesafe 10 mm, 125 Watt güç uygulanarak ve Argon akışı 12 sscm verilerek p-tipi Si üzerine 125 nm kalınlığında Al kaplandı. Püskürtme Sisteminden Al/p-Si çıkarıldı. Al/p-Si üzerine numunenin arkası ve önü arasında iletim olmaması için maske yerleştirip, Hızlı Tavlama Sistemine yerleştirildi. 30 dakika vakum alındı. $3,1 \times 10^{-5}$ mbar basıncından $6,1 \times 10^{-5}$ mbar basıncına getirildi.

Sıcaklık 570°C getirilip 5 dakika tavlama yapıldı (570°C 'deki lambadaki gerilim $71,7\text{ V}$, $I=8,33\text{ A}$ 'dir). 5 dakika sonunda her şey sıfırlanıp, soğutulduktan sonra sıcaklık 200°C 'nin altına inince pompa kapatıldı. Al/p-Si numune elmas yardımıyla yaklaşık 1 cm^2 'lik karelere bölündü. Resim 3.9'da Al/p-Si numunenin kesilmiş hali verildi.



Resim 3.9. Al/p-Si numunenin elmasla kesilmesi

3.1.4. Organik malzemenin kaplanması

Al/p-Si numuneler üzerine N-Furan Naftalimit ve N-Tiyofen Naftalimit organik malzemelerin kaplanması Dönel Kaplama Sistemiyle (Spin Coating Sistem) yapıldı. Dönel kaplama, mikro elektronik endüstride, katı yüzeylere bileşiklerin kaplanmasında ve polimer kaplamada kullanılır. Sabit hızla dönen cihaz merkezci kuvvet etkisiyle çözeltinin yüzeye homojen dağılmasını sağlar. Kaplanmanın kalınlığı, çözeltinin damlatılma zamanına, numune konulan altlığın dönme hızına ve damlatılan çözeltinin miktarına bağlıdır [99]. Organik malzemenin kaplanmasında kullanılan cihaz Resim 3.10'da verildi.



Resim 3.10. Dönel Kaplama Sistemi (Spin Coating System)

Numunelerin üzerine organik malzeme kaplanması için toz halinde olan N-Furan Naftalimit ve N-Tiyofen Naftalimit çözelti haline getirildi. 5 mg N-Furan Naftalimit ve 5 mg N-Tiyofen Naftalimit ayrı ayrı 2 ml kloroform içinde 5 dakika çözdürüldü. Çözelti hazırlanmasında kullanılan kloroform, N-Furan Naftalimit çözeltisi, N-Tiyofen Naftalimit çözeltisi ve kaplanacak Al/p-Si numuneler Resim 3.11’de verildi.



Resim 3.11. Çözelti hazırlanmasında kullanılan kloroform, N-Furan Naftalimit çözeltisi, N-Tiyofen Naftalimit çözeltisi ve kaplanacak Al/p-Si numuneler

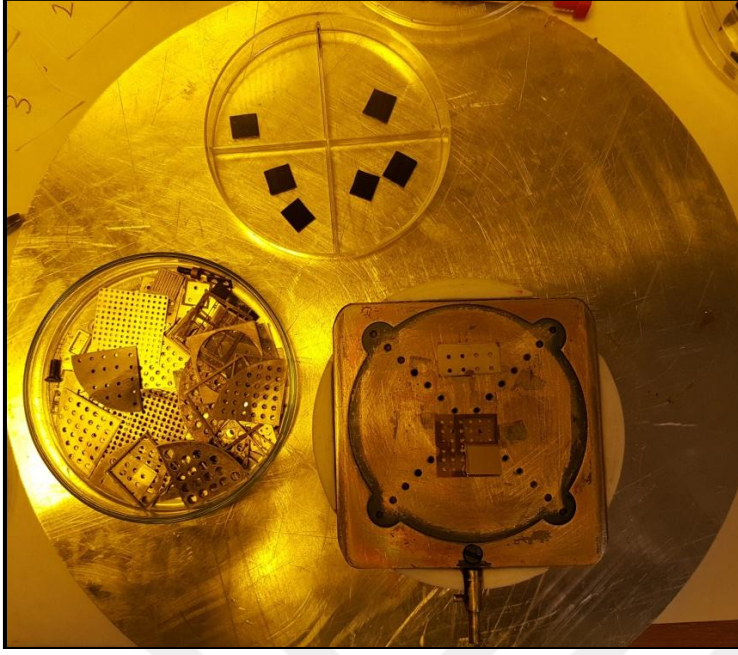
Dönel Kaplamaya yerleştirilen Al/p-Si numuneler vakum pompası sayesinde savrulmadan sabit kalmıştır. Cihazın kapağı kapatılarak, tozdan arındırılmış, yalıtık alanda kaplanması sağlandı. Cihazın devir sayısı 5000 ve dönme süresi 50 saniyeye ayarlandı. Hazırlanan N-Furan Naftalimit ve N-Tiyofen Naftalimit çözeltileri, cihaz çalışır durumdayken, numunenin merkezine üçer damla damlatıldı. Kaplanan numuneler 180°C'deki sıcak tablaya (Resim 3.12) alındı ve 1 dakika bekletilerek çözücünün numuneden uzaklaşması sağlandı.



Resim 3.12. Isıtıcı tabla

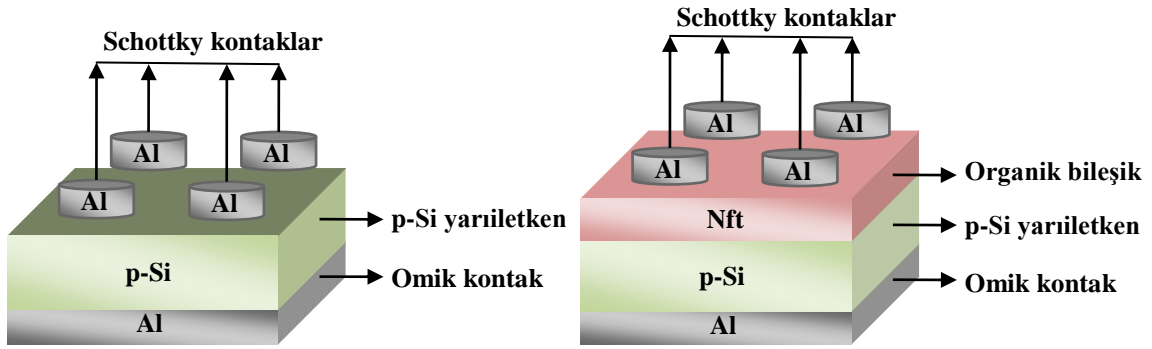
3.1.5. Doğrultucu kontağın oluşturulması

Organik malzeme kaplanmasıyla elde edilen Al/N-F Nft/p-Si, Al/N-T Nft/p-Si yapıları ve organik içermeyen Al/p-Si Schottky kontak için numune tutucuya yerleştirildi. Üzerine 1,2 mm çaplı delikleri olan paslanmaz çelik maske numunenin üzerine sabitlendi (Resim 3.13). Püskürtme sistemine yerleştirilen numuneler, vakum sisteminde, yaklaşık 10^{-5} torr basınç altında, % 99,99 saflıkta ve 125 nm kalınlığında Alüminyum metali buharlaştırdı. Her bir numunede 4 tane Schottky kontak elde edildi.



Resim 3.13. Numunenin üzerine maske konularak numune tutucuya yerleştirilmesi

Üretilen Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotlar ve Al/p-Si/Al MS Schottky diyot şematik gösterimi Şekil 3.8’de verildi.

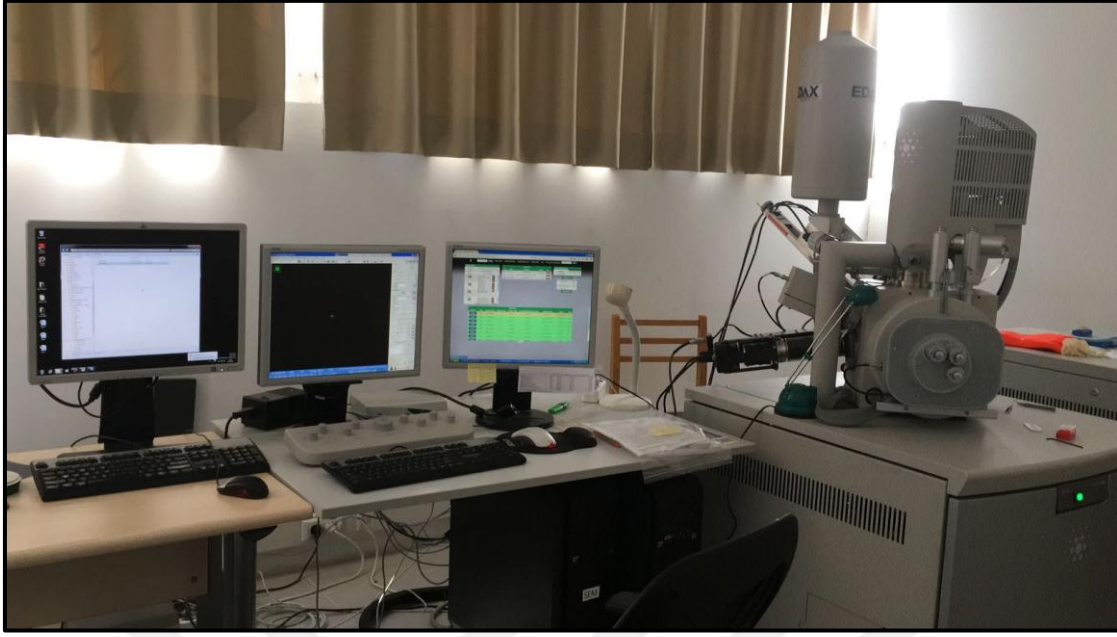


Şekil 3.8. Al/p-Si/Al ve Al/Nft/p-Si/Al Schottky diyotların şematik gösterimleri

3.2. Deneysel Ölçüm Sistemleri

3.2.1. Taramalı elektron mikroskop (SEM- Scanning Electron Microscope) sistemi

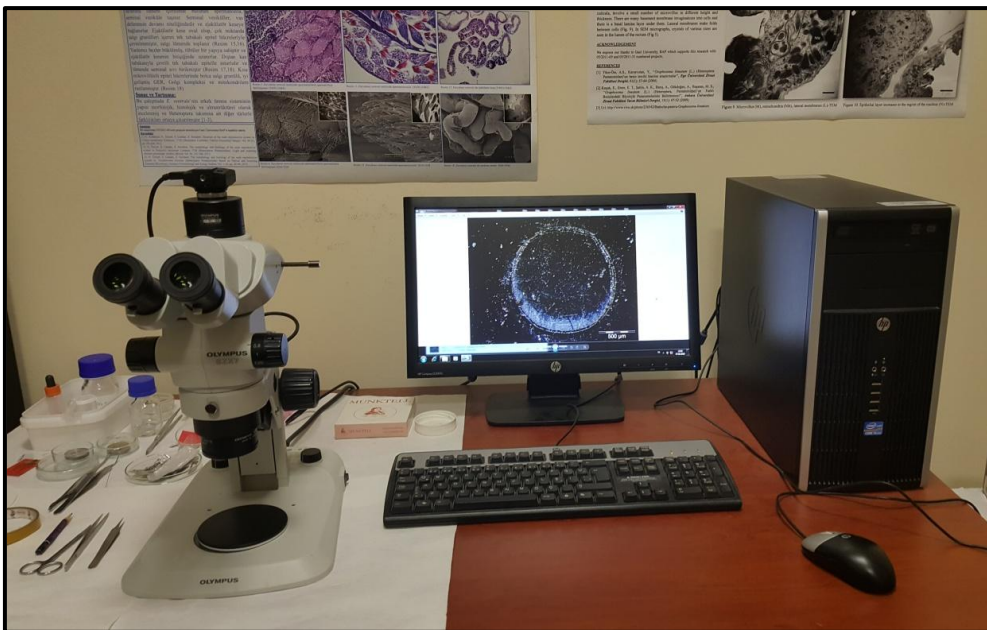
Numunelerin SEM görüntüleri ODTÜ Üniversitesi Merkez Laboratuvarında, Elektron Mikroskop Laboratuvarında (EML), yüksek çözünürlüklü (1,2 nm çözünürlükte) QUANTA 400F Field Emission SEM cihazında alındı. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Resim 3.14’de verildi.



Resim 3.14. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.2.2. Stereo (üç boyutlu) mikroskop sistemi

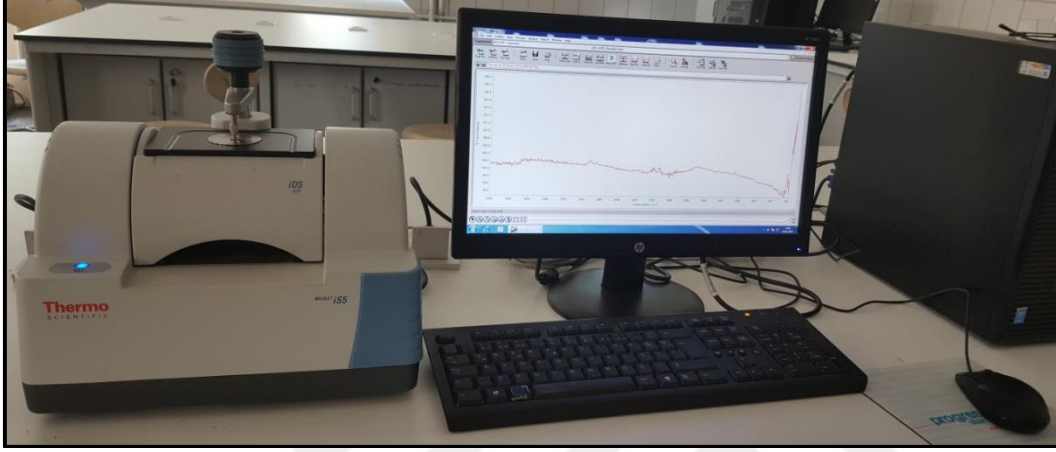
Numunelerin Stereo mikroskop görüntüleri Gazi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde bulunan, Elektron Mikroskobu Laboratuvarında, OLYMPUS SZX7 marka Stereo mikroskopu ile numunelerin üç boyutlu görüntüleri alındı. Stereo mikroskop Resim 3.15’de gösterildi.



Resim 3.15. Stereo mikroskop sistemi

3.2.3. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopi (FTIR-Foruier Transform İnfrared Spektroskopi) sistemi

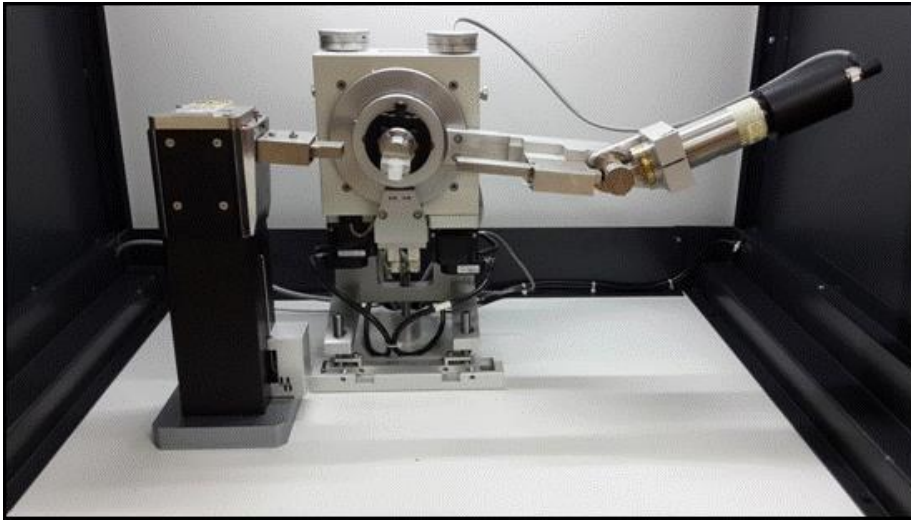
Numunelerin FTIR görüntüleri Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde bulunan Aletli Analiz Laboratuvarında, Thermo Scientific NİCOLET İS5 marka FTIR cihazında alındı. FTIR ölçüm sistemi Resim 3.16’da verildi.



Resim 3.16. FTIR ölçüm sistemi

3.2.4. X-ışınları kırınımı (XRD-X-ray diffraction)

Schottky diyotların X-ışını kırınım desenleri Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde GNR (APD 2000 PRO X-RAY DIFFRACTOMETER)’da ölçüm alındı. XRD cihazı Resim 3.17’de verildi.



Resim 3.17. XRD cihazı [100]

HP 4192 LF empedans analizörü

Resim 3.21’de HP 4192 LF empedans analizörünün fotoğrafı verildi. Empedans analizörünün osilatör genliği 5mV ile 1V aralığındadır. 5 Hz ve 13 MHz aralığında frekans ölçümü alınabilmektedir. -35 V’tan +35 V’a kadar ayarlanabilen cihaz ileri ve ters beslem özelliğine sahiptir. Aynı anda admitans, indüktans, empedans, kapasitans ölçümü yapabilmektedir. Ayrıca kalite faktörleri ve faz değerleri de ölçülebilmektedir. IEEE-488 arayüzey veri yoluna ve $\pm\%$ 0,15 ölçüm hassasiyetine sahiptir. Test point yazılımıyla bilgisayarla kontrol edilebilir [69].





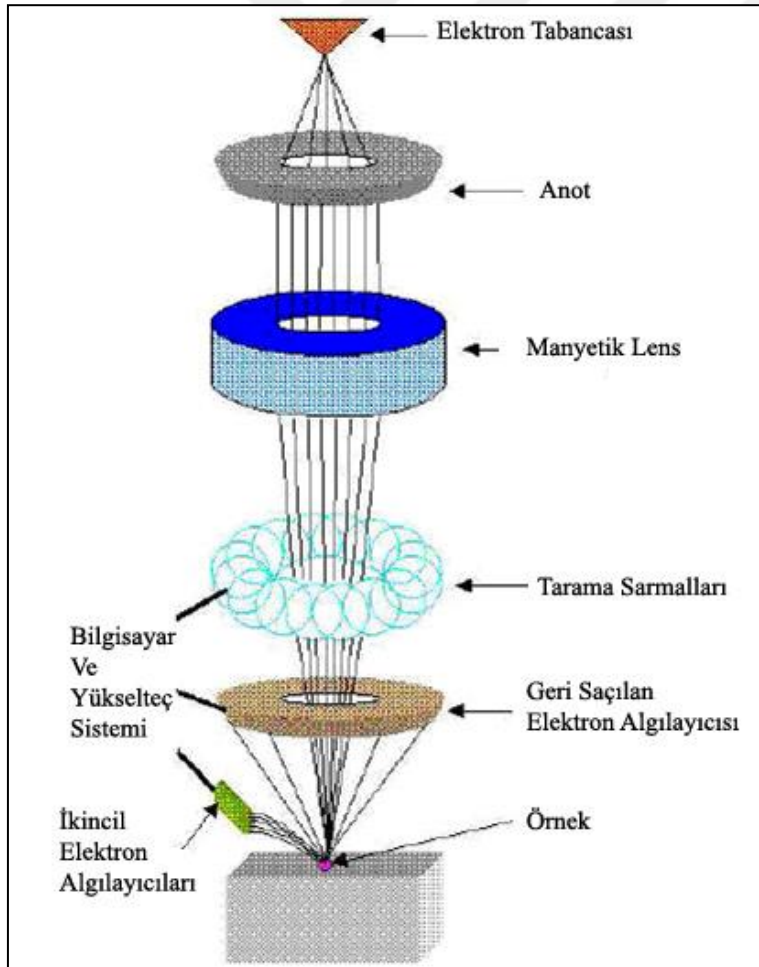
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yapısal Karakterizasyon

Hazırlanan numunelerin yapısal ve morfolojik özelliklerini incelemek amacıyla SEM, Stereo mikroskop, FTIR ve XRD cihazlarıyla ölçümler alındı.

4.1.1. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

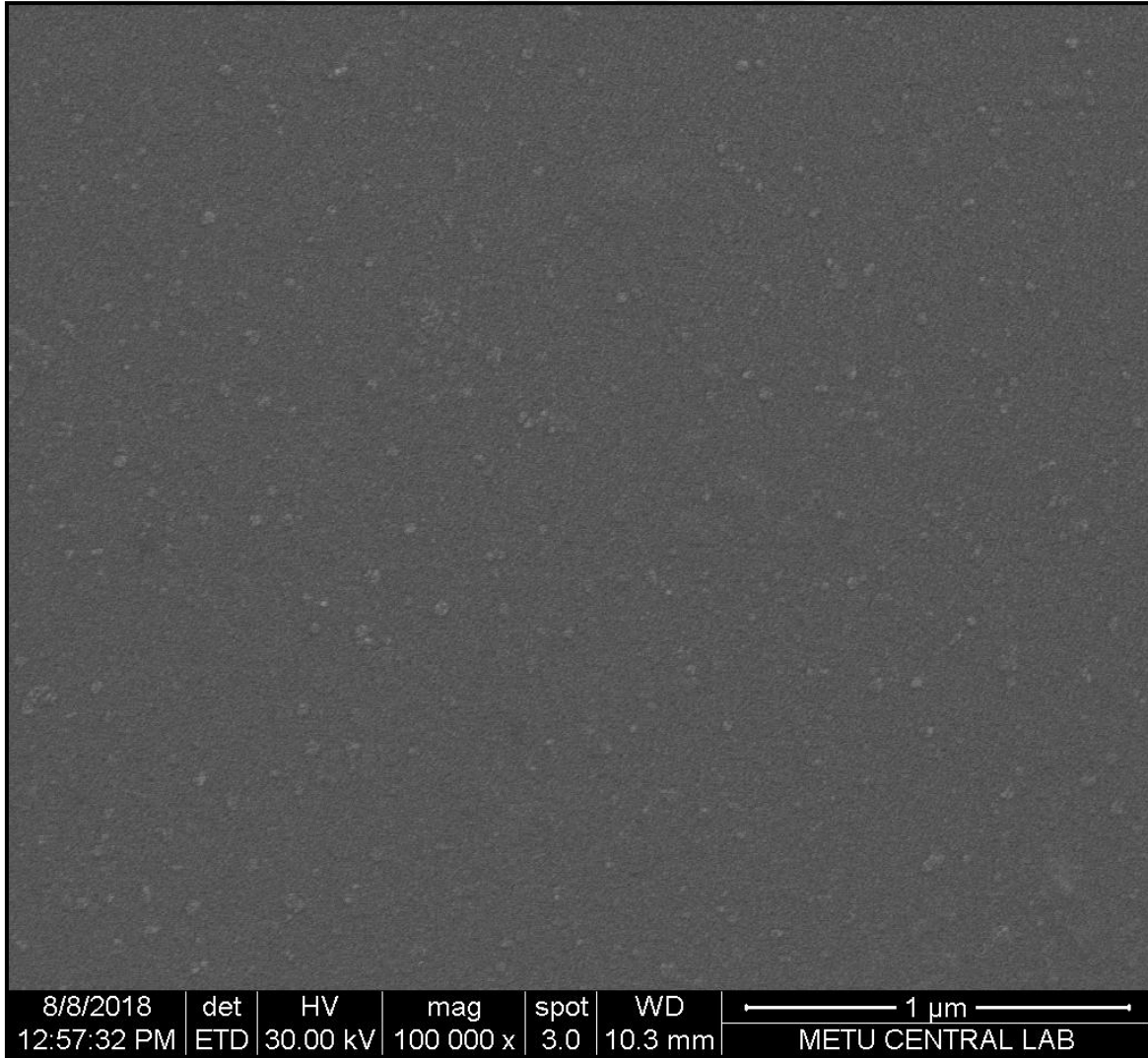
Taramalı elektron mikroskopunda (SEM), görüntü elektron demetinin numunenin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşim sonucunda ortaya çıkar. SEM’de genellikle elektronların enerjileri 200 eV’den 100 keV’ye değişmektedir. SEM’in çalışma prensibi elektron saçılmasına dayanmaktadır. Şekil 4.1’de çalışma prensibi verildi [101].



Şekil 4.1. Taramalı elektron mikroskopunun çalışma prensibi [101]

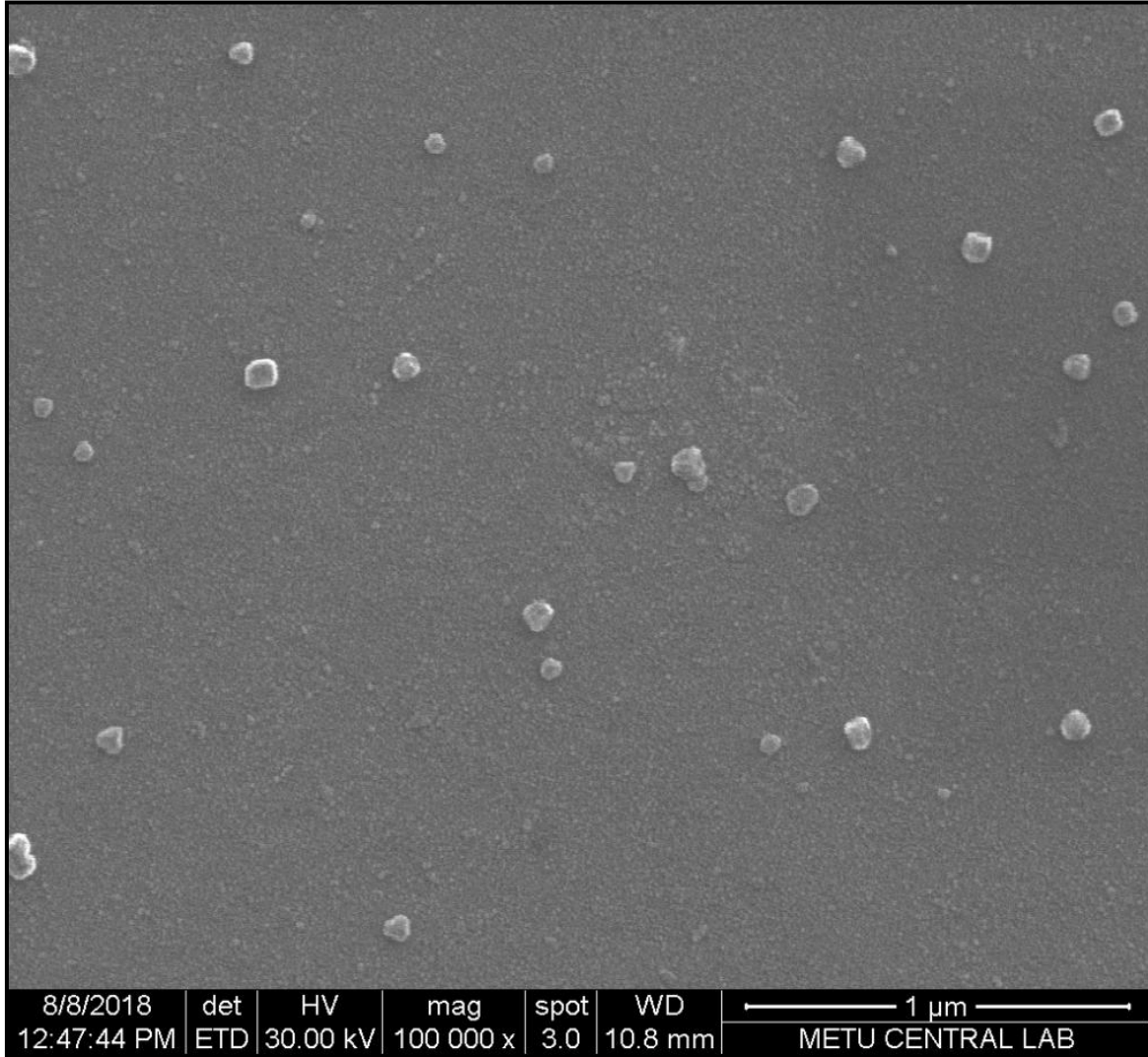
Cihazların optik ve elektrik özelliklerini etkileyen en önemli parametre ince film yüzey morfolojisidir. Yüzey analizleri için en yaygın taramalı elektron mikroskop (SEM) tekniği kullanılır [102].

Organik arayüzey bulunmayan Al/p-Si/Al Schottky diyotun ve dönel kaplama yöntemiyle kaplanan Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotların yüzey morfolojileri hakkında bilgi almak için SEM mikrografları alındı. SEM’ de altın paladyum kaplanarak, 30 kV hızlandırıcı gerilim altında, x100 000 büyütme yapılmıştır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi organik arayüzey içermeyen Al/p-Si/Al Schottky diyot homojen bir yüzey morfolojisine sahiptir.



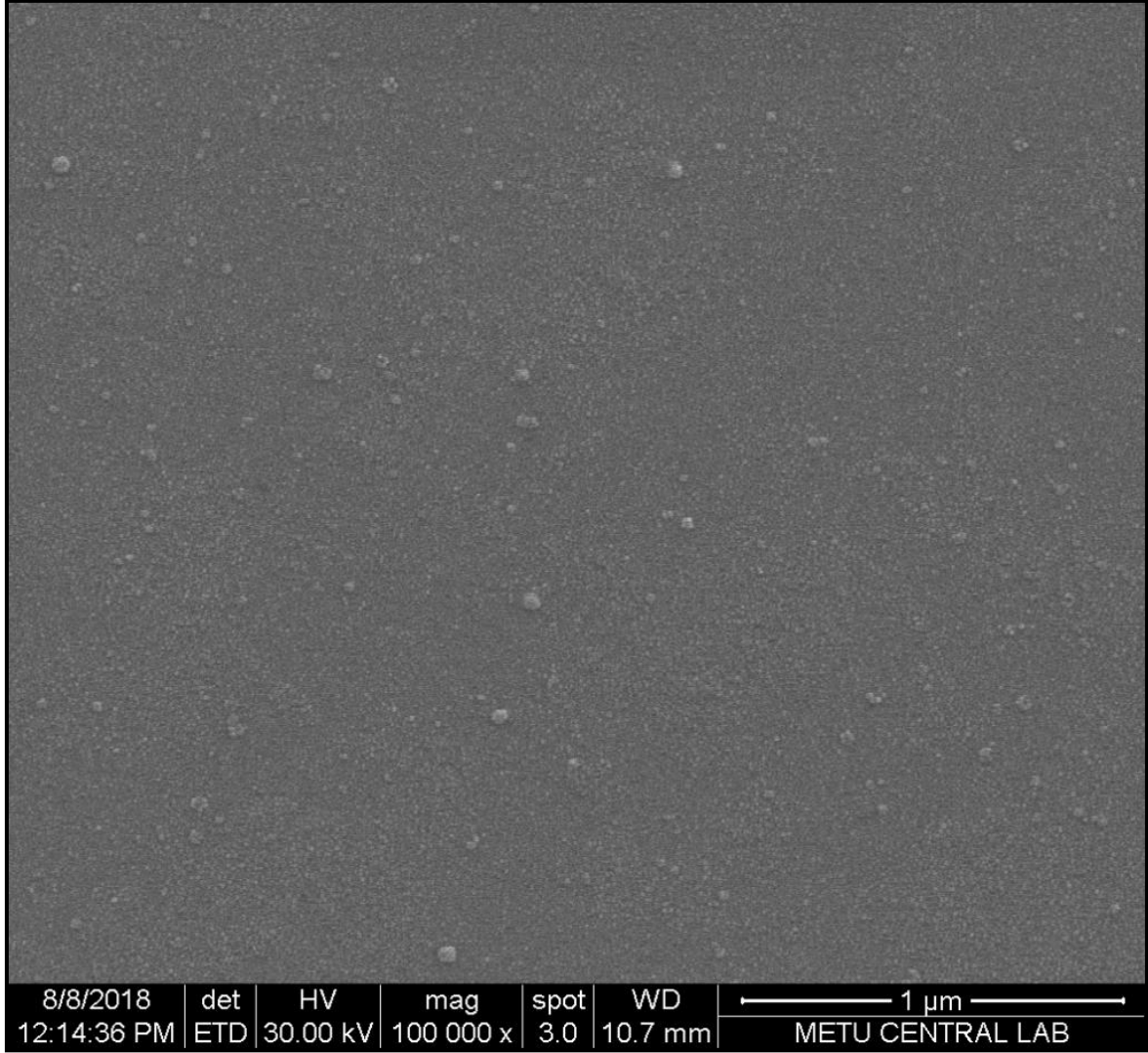
Şekil 4.2. Al/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi

Şekil 4.3’de Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotun SEM mikrografisi verildi. Furan fonksiyonlu naftalimit içeren Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzey morfolojisinde yüzeydeki homojenlik ortadan kalkarak bazı yerlerde yığılmalar oluşmuştur. Bunun sebebi organik bileşiklerin kendi aralarında oluşturduğu H-bağı ve π - π gibi etkileşmelerdir.



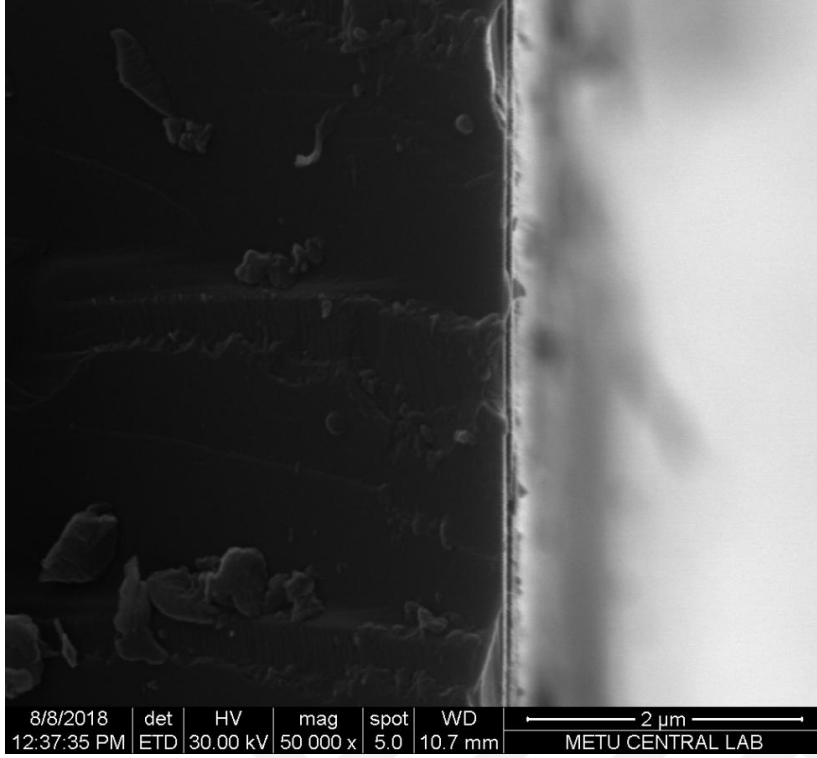
Şekil 4.3. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi

Şekil 4.4’de Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotun SEM mikrografisi verildi. Tiyofen fonksiyonlu naftalimit içeren Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzey morfolojisinde yüzeydeki homojenlik ortadan kalkarak bazı yerlerde yığılmalar oluşmuştur. Bunun sebebi organik bileşiklerin kendi aralarında oluşturduğu H-bağı ve π - π gibi etkileşmelerdir.

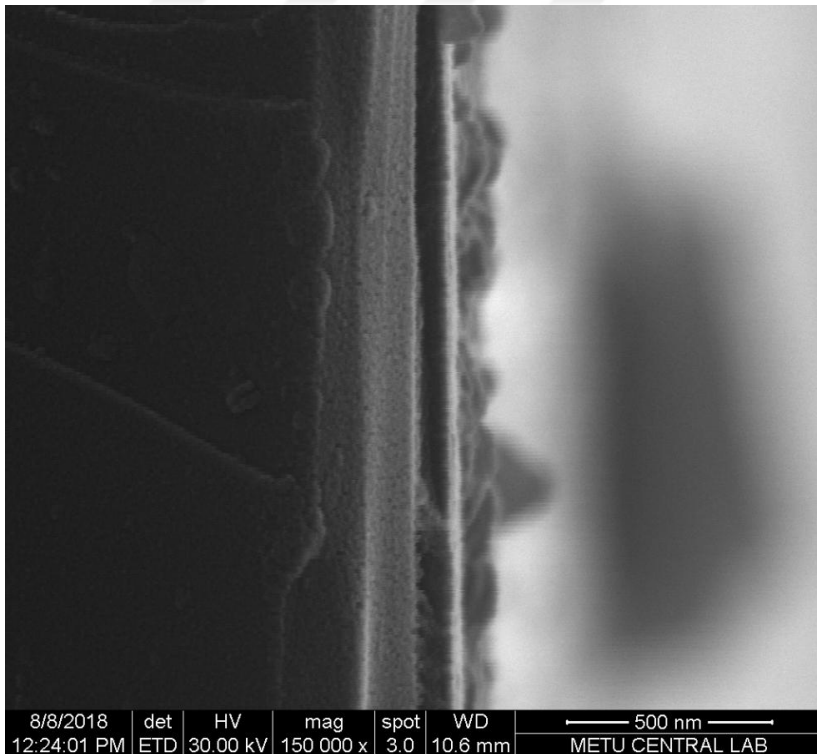


Şekil 4.4. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yüzeyden alınmış SEM mikrografisi

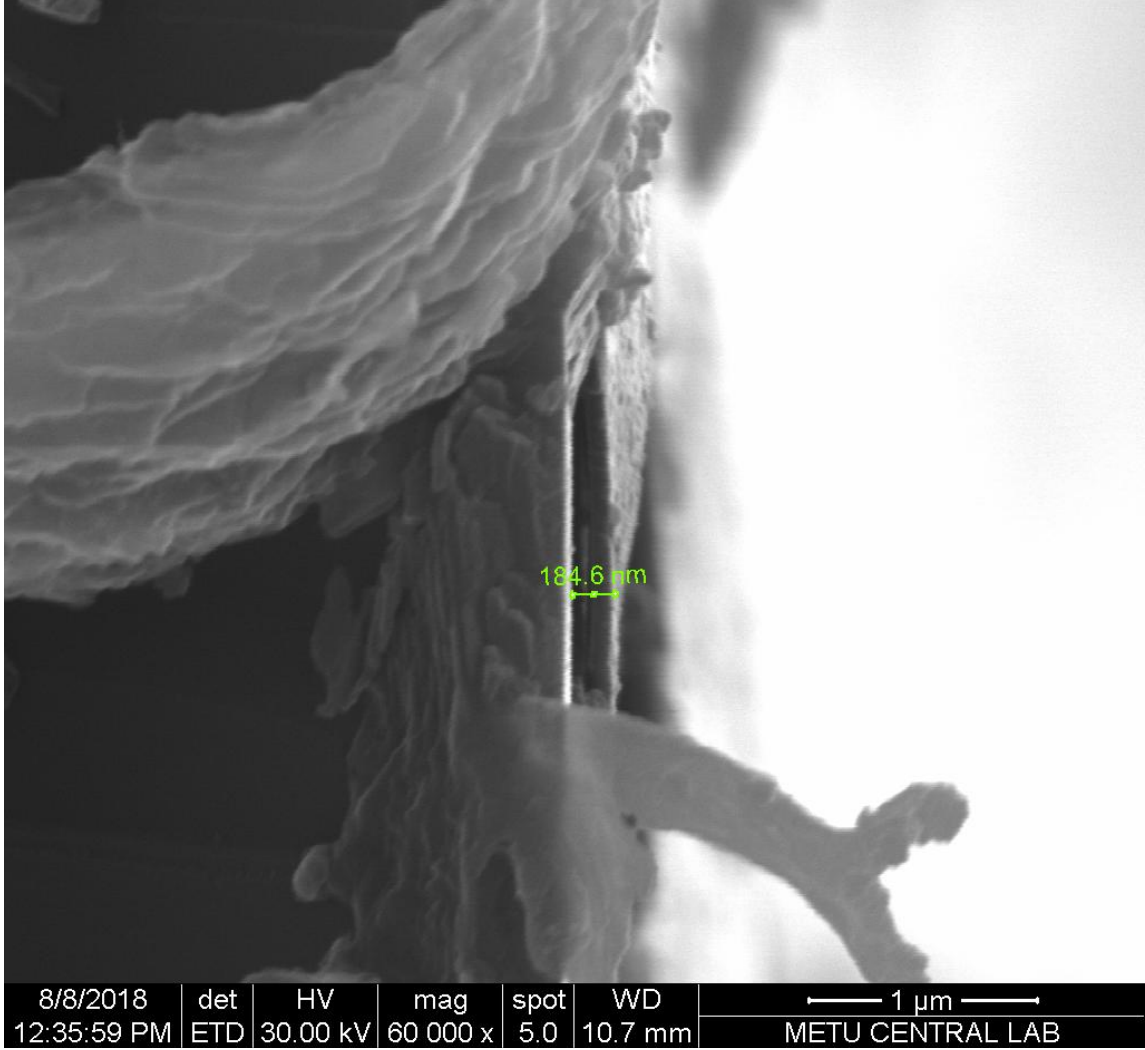
Dönel kaplama ile kaplanan organik Schottky diyotlardaki organik tabakanın kalınlığını tespit etmek için SEM’de kalınlık ölçümleri alındı. Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyota ait SEM’de ölçülen kalınlık ölçümü Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verildi. Organik tabakanın kalınlığı 184,6 nm olarak ölçüldü (Şekil 4.7). Schottky diyotların yüzeyden alınan SEM görüntüleri arasındaki belirgin farklılıktan dolayı furan veya tiyofen fonksiyonlu naftalimitin, diyotların içerisinde yer aldığı söylenir. Ayrıca kalınlık ölçümünde de organik malzemenin varlığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.5. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 50 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi



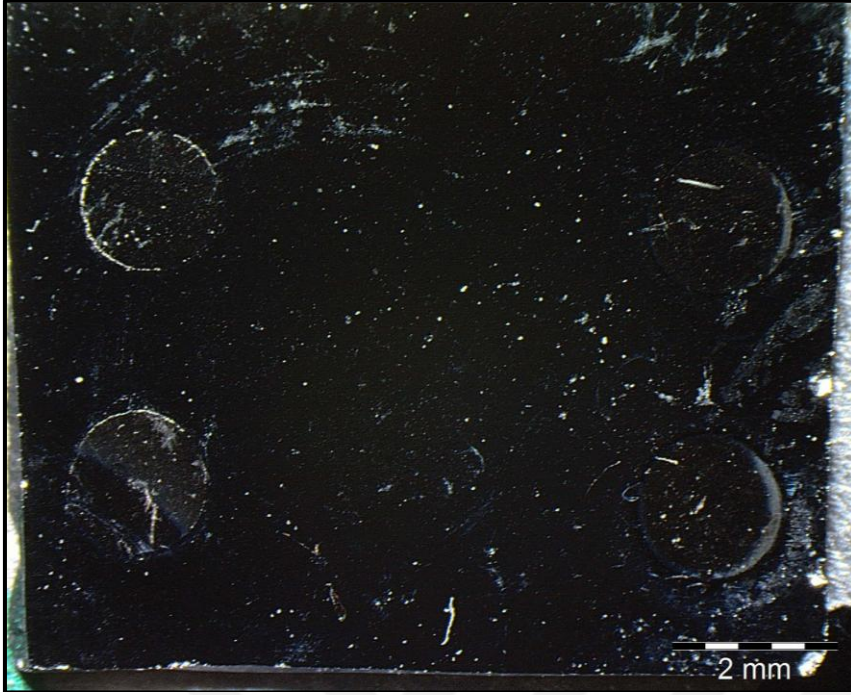
Şekil 4.6. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 150 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi



Şekil 4.7. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun yanal yüzeyinden 60 000 kat büyütme ile alınmış SEM mikrografisi

4.1.2. Stereo mikroskop analizi

Stereo uzayla ilgili ve üç boyutlu anlamındadır. Stereoskopik görüntü; iki gözden gelen farklı iki görüntüyü beynin üst üste bindirerek, üç boyutlu ve uzaysal görüntü oluşturmasıdır [103]. Stereo mikroskoplar da ise malzemenin yüzey özelliklerini analiz etmek için, ışık malzeme üzerinden yansıtılarak objektife gönderilir ve üç boyutlu görüntü elde edilir [104]. Derinlik izlemine engellememesi için, mikroskopta incelenecek numune lam, lamel arasına yerleştirilmez [103].

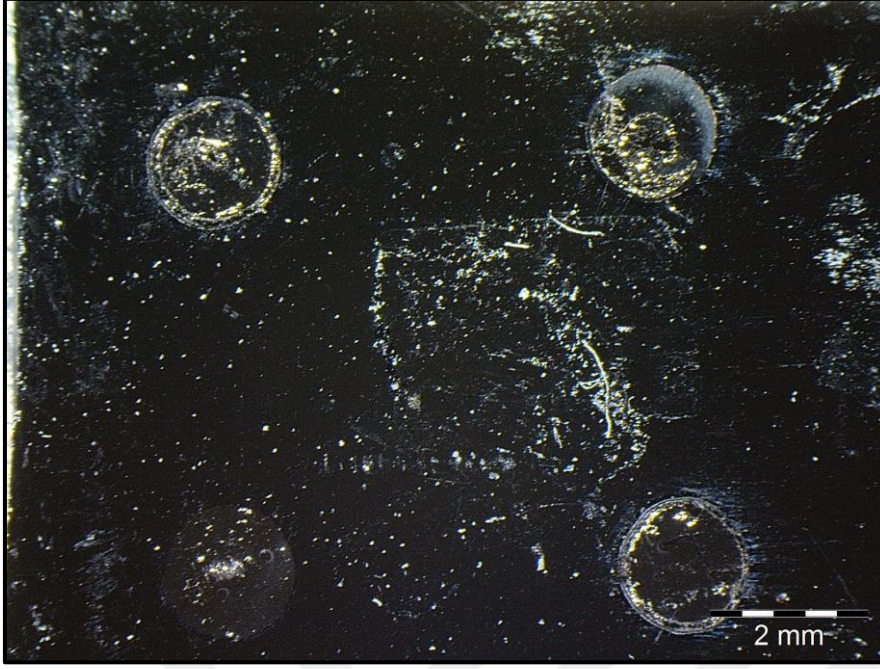


Şekil 4.8. Al/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü

Al/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü Şekil 4.8’de gösterildi. Numunenin boyutu 9,809 mm x 8,095 mm olup, 4 kontak bulunmaktadır. Al/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü Şekil 4.9’da verildi. Numunenin bir kontağının çapı 1,666 mm’dir.

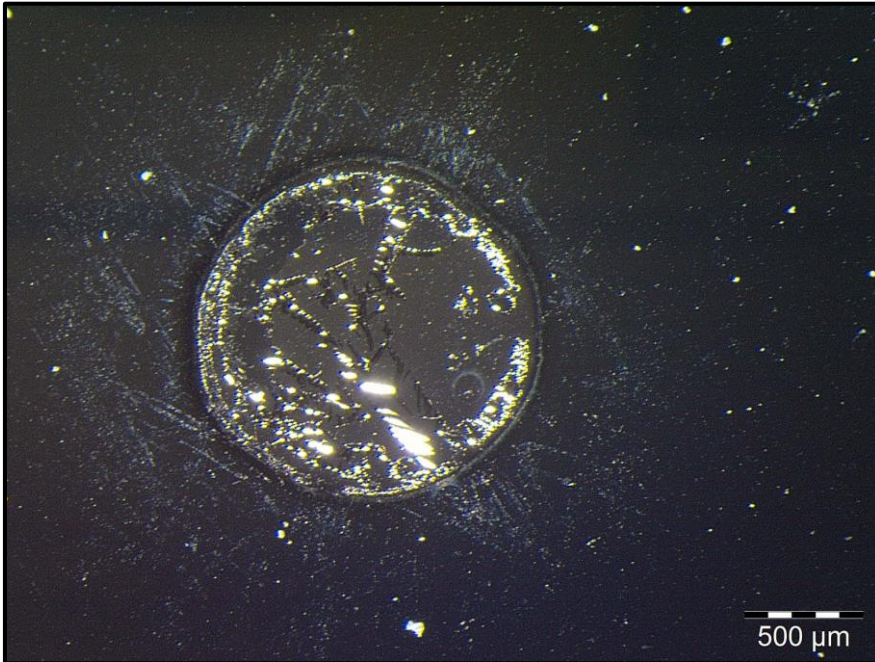


Şekil 4.9. Al/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü

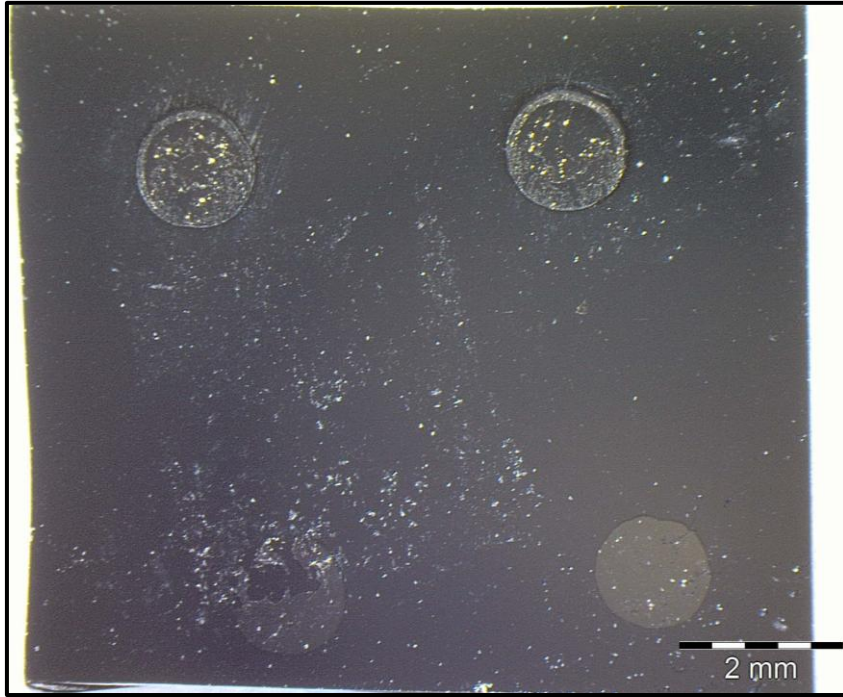


Şekil 4.10. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskopundaki görüntüsü

Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskopundaki görüntüsü Şekil 4.10'da gösterildi. Numunenin boyutu 11,333 mm x 8,476 mm olup, 4 kontak bulunmaktadır. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskopundaki görüntüsü Şekil 4.11'de verildi. Numunenin bir kontağının çapı 1,464 mm'dir.

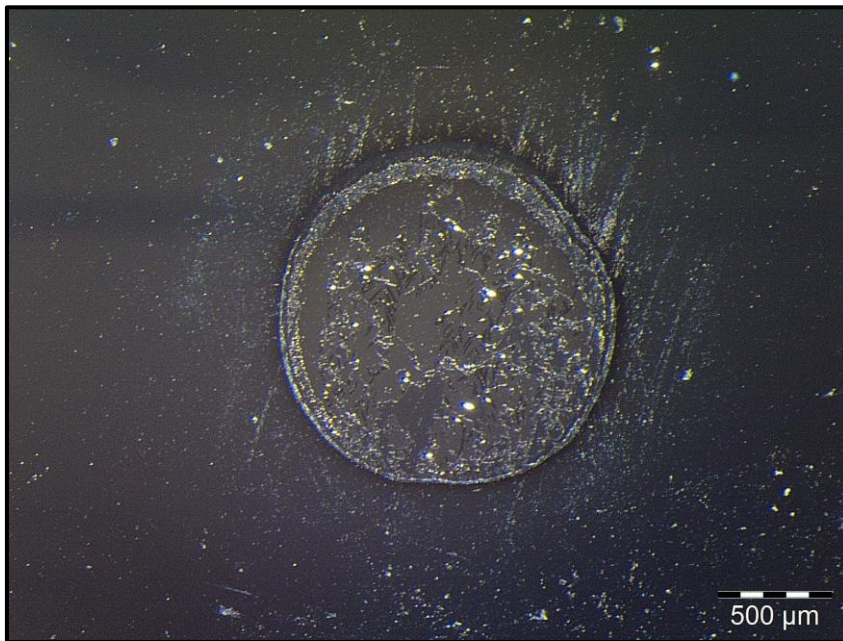


Şekil 4.11. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskopundaki görüntüsü



Şekil 4.12. Al/N-T Nft /p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü

Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun Stereo mikroskobundaki görüntüsü Şekil 4.12’de gösterildi. Numunenin boyutu 9,714 mm x 8,476 mm olup, 4 kontak bulunmaktadır. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü Şekil 4.13’de verildi. Numunenin bir kontağının çapı 1,451 mm’dir.

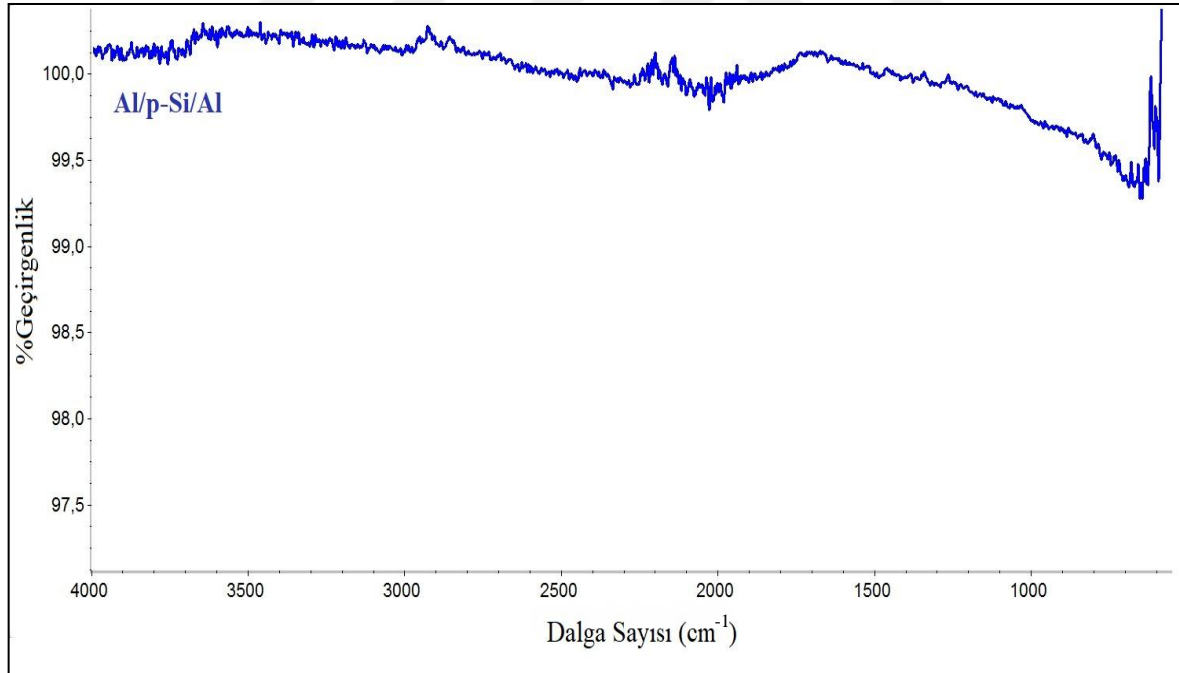


Şekil 4.13. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun bir kontağının Stereo mikroskobundaki görüntüsü

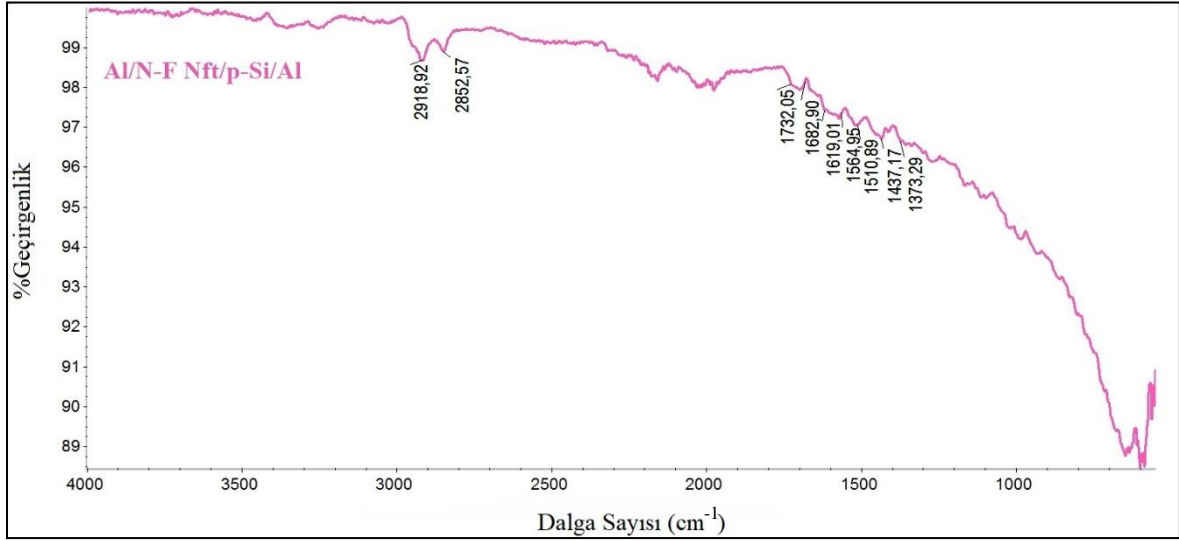
4.1.3. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR-Foruier Transform İnfrared Spektroskopi) analizi

FTIR matematiksel Fourier dönüşüm yöntemi kimyasal analitik yöntemdir ve ışığın kızıl ötesi yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçer. FTIR yöntemi, kimyasal bağların titreşimlerinin kızıl ötesi (IR) radyasyon emilimiyle ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Bükülme, gerilme ve büzülme gibi kimyasal bağların farklı titreşim hareketleri kızıl ötesi radyasyon ile emilir. Spektral piklerin oluşması kızıl ötesi alanında emilim özellikleri ve kimyasal bağların titreşimlerindeki değişim ile ortaya çıkar. Her fonksiyonel grup kendine has titreşim özelliği gösterir [104].

Al/p-Si/Al Schottky diyot ile Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotlar arasındaki farkı tespit etmek için FTIR (ATR) spektrum ölçümü alındı. Al/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR spektrumu Şekil 4.14 ve Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotların FTIR spektrumları Şekil 4.15, Şekil 4.16'de verildi.

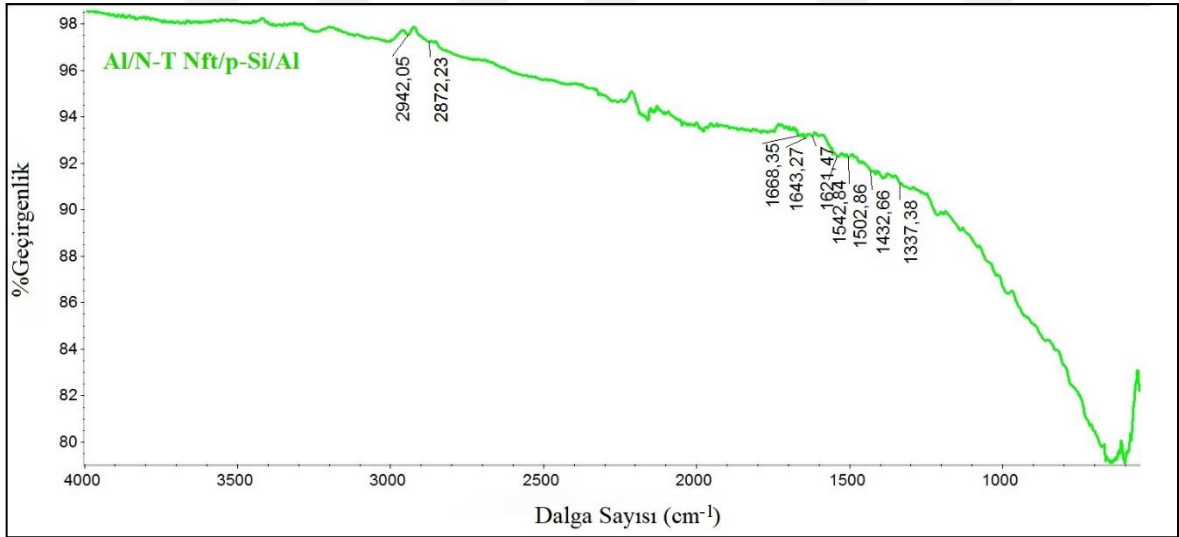


Şekil 4.14. Al/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu



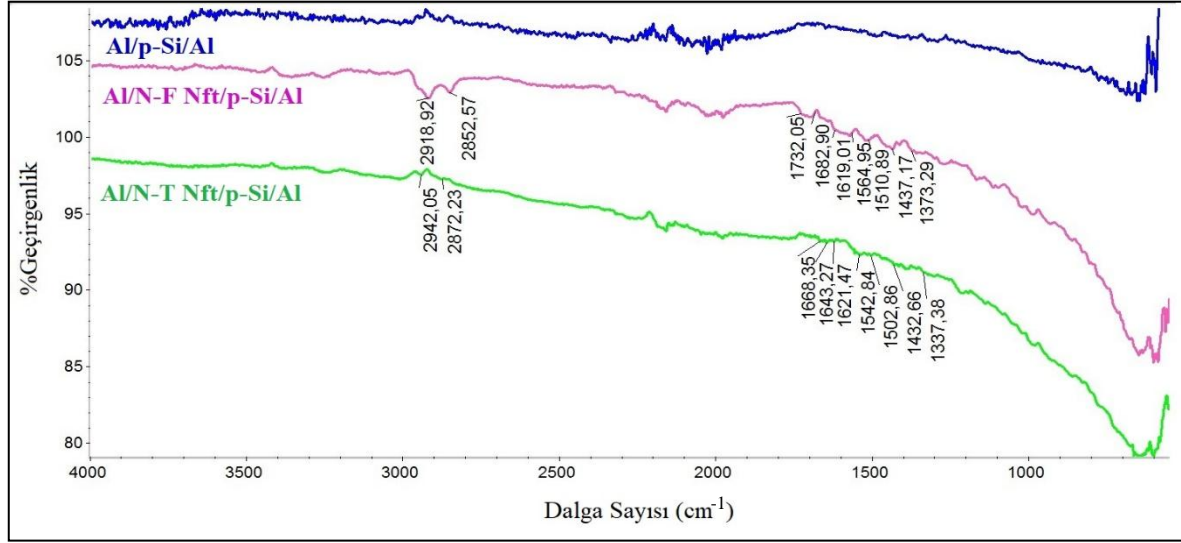
Şekil 4.15. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu

Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotun, FTIR (ATR) spektrumunda naftalimit C=O (1683 ve 1732 cm^{-1}), aromatik halkadaki C=C (1373, 1437, 1511, 1565 ve 1619 cm^{-1}) ve C-H (2853 ve 2919 cm^{-1}) gruplarına ait gerilme titreşim bantları yer almaktadır.



Şekil 4.16. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun FTIR (ATR) spektrumu

Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotun, FTIR (ATR) spektrumunda naftalimit C=O (1643 ve 1668 cm^{-1}), aromatik halkadaki C=C (1337, 1433, 1503, 1543 ve 1621 cm^{-1}) ve C-H (2872 ve 2942 cm^{-1}) gruplarına ait gerilme titreşim bantları yer almaktadır.



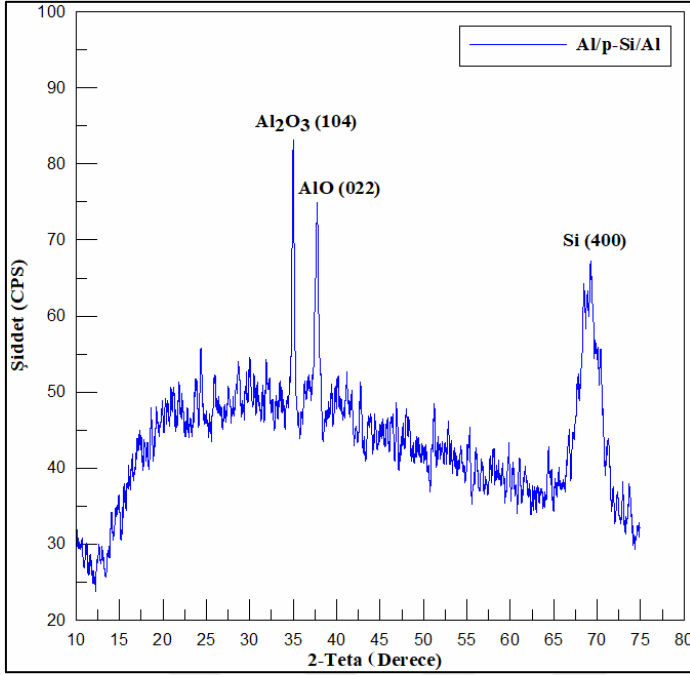
Şekil 4.17. Schottky diyotların FTIR (ATR) spektrumları

Üç diyotun FTIR spektrumlarının verildiği Şekil 4.17’de, arayüzeyde kullanılan organik malzemelerin oluşturduğu farklılık açıkça görülmektedir.

4.1.4. X-ışınları kırınımı (XRD-X-ray diffraction) analizi

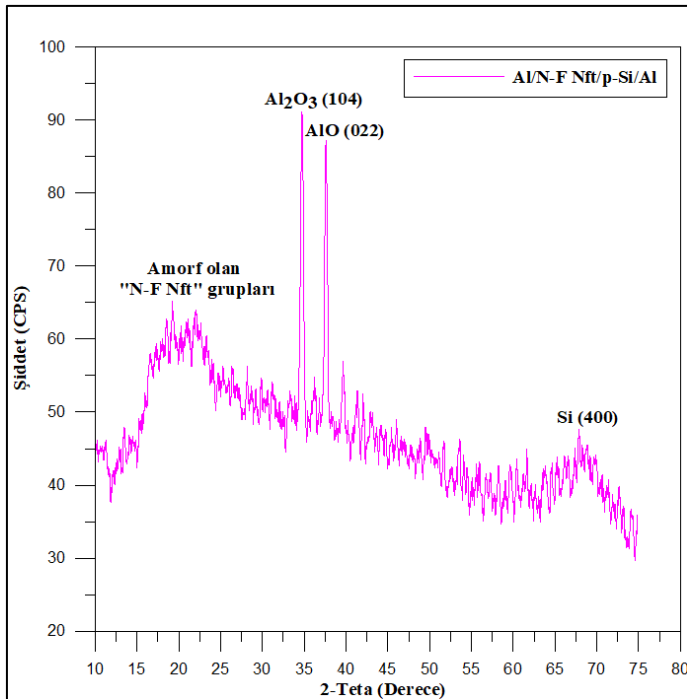
X-ışınları katmanlı yapıların ve ince filmlerin tabaka gerilmeleri, tabaka kalınlığı, kristal kalitesi, kompozisyon oranı gibi yapısal analizler için kullanılmaktadır [100]. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al’un kristal yapısı hakkında bilgi edinmek için CuK α 1 (1,540 Å) kaynaklı XRD cihazında 0,02 adımda, 2 θ açısı 10° – 75° aralığında ölçüm alınmıştır. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotlara ait XRD desenleri Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verildi. Üç diyotun her birinde üç kristal pik görüldü. Piklerin şiddetlerinin yarı genişliği daraldıkça kristal özelliği artar. Piklerin özellikleri şu şekildedir;

- Alüminyum oksit (Al₂O₃), 2 θ açısı 35,153°, (104) düzleminde, rombohedral (trigonal) (aralarındaki açılar birbirine eşit, üç eşit eksen [4]) yapıdadır.
- Alüminyum oksit (AlO), 2 θ açısı 37,33°, (022) düzleminde ortarombik (birbirine dik eşit olmayan üç eksen [4]) yapıdadır.
- Silikon (Si), 2 θ açısı 69,132°, (400) düzleminde, kübik (birbirine dik üç eksen [4]) yapıdadır.

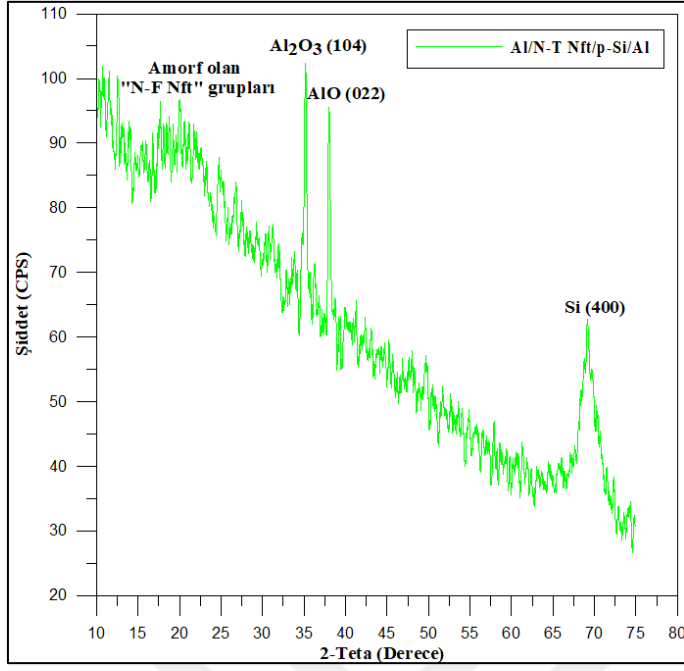


Şekil 4.18. Al/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni

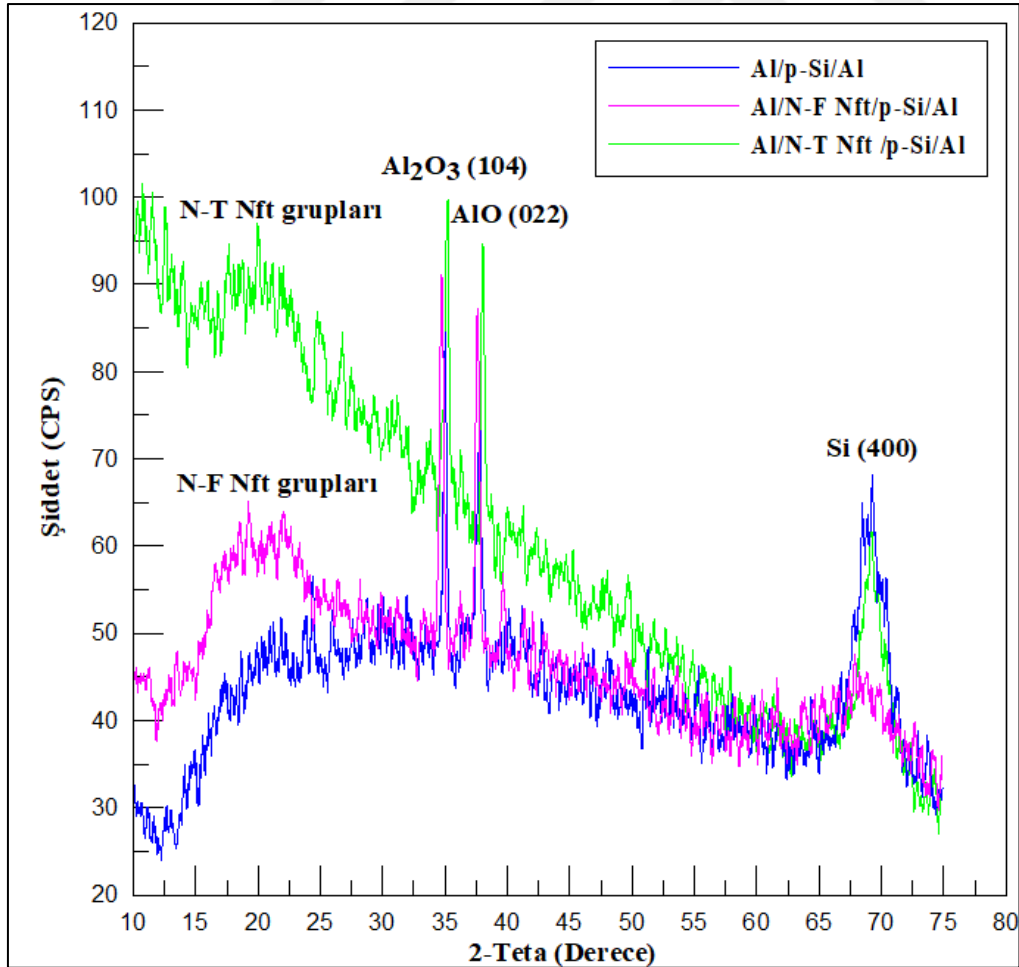
Ayrıca Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 incelendiğinde Alüminyum Oksit ve Silikon kristal piklerin dışında, XRD spektrumunda, organik yapıya ait pikler görülür. $2\theta = 17,5^\circ - 22,5^\circ$ aralığındaki [106] bu pikler amorf olan "N-F Nft" ve "N-T Nft" gruplarına aittir. Organik malzeme içinde x-ışınları kırınımına uğramadığından amorf görünür.



Şekil 4.19. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni



Şekil 4.20. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni

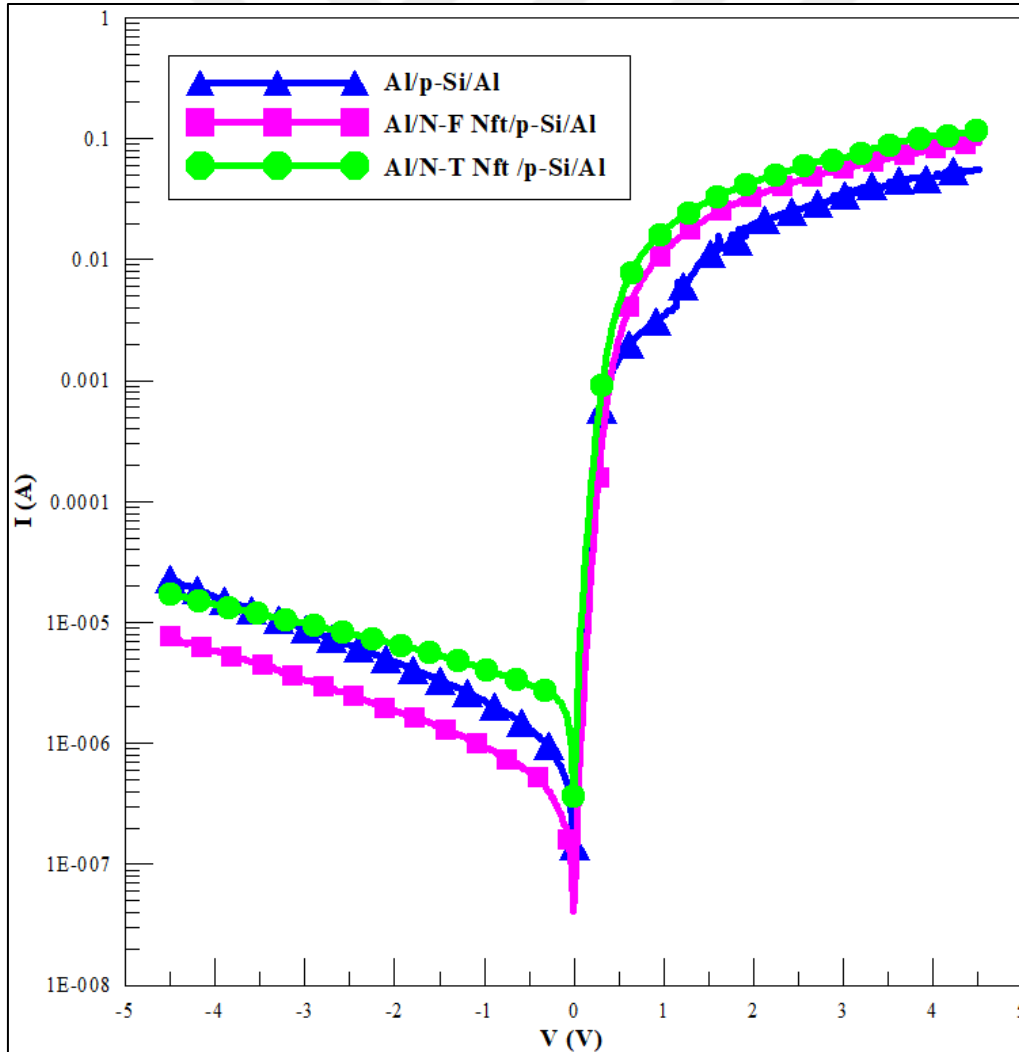


Şekil 4.21. Schottky diyotların XRD desenleri

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi Al/p-Si/Al Schottky diyotun XRD deseni ile arayüzeyine Furan-Naftalimit katkılı Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Tiyofen-Naftalimit katkılı Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların XRD desenleri arasındaki farklılık açıkça görülmektedir. Üç diyotun birlikte çizildiği XRD desenleri (Şekil 4.21) ile üç diyotun birlikte çizildiği FTIR spektrumları (Şekil 4.17) arasında uyum ve simetri vardır.

4.2. Schottky Diyotun Akım-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi

Metal/yarıiletken ve metal/organik/yarıiletken olarak üretilen Al/p-Si/Al ve Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların akım-gerilim ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Schottky diyotların ters ve doğru beslem yarı-logaritmik I-V grafikleri Şekil 4.22’de gösterildi.



Şekil 4.22. Schottky diyotların, oda sıcaklığında yarı logaritmik I-V grafikleri

Şekil 4.22’de görüldüğü üzere, iki ayrı doğrusal bölge vardır. Birinci doğrusal bölge düşük gerilim bölgesi ($V < 0,5V$) ve ikinci doğrusal bölge yüksek gerilim ($V > 0,5V$) bölgesidir. Yüksek gerilimlerde akım eğrisi hızlı bir şekilde bükülür. Bunun sebebi kontak tellerin seri direnç etkisi veya Nft tabakanın ve inorganik yarıiletkenin bulk direncinin baskın olmasıdır. Schottky diyotlarının akım kapasitesi tipik p-n kavşaklarından üstündür. Bu nedenle, yüksek akım, düşük gerilim ve doğrultma davranışı Schottky diyot uygulamaları için istenen cihaz özellikleridir.

4.2.1. Termiyonik emisyon yöntemiyle diyot özelliklerin belirlenmesi

Orta katkılı yarıiletkenler için, doğru beslemde akım-gerilim karakteristiği için belli şartlarda hesaplamalar yapılabilir. Gerilimin $V > 3kT/q$ olması durumunda akım denklemi Termiyonik emisyon teorisine (TE) göre şu şekilde [3];

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

verilir. Burada n idealite faktörü, q yük, T Kelvin ölçeğinde sıcaklık, Boltzman sabiti ve I_0 doyma akımı olup Eşitlik 4.2 ile verilir.

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

Burada A Schottky alanı, A^* yarıiletkenler için Richardson sabiti ve Φ_B engel yüksekliğidir [2]. Doğrusal bölge için eşitlik 4.2’nin ln’i alındığı zaman,

$$\ln I = \ln I_0 + \left(\frac{q}{nkT}\right)V \quad (4.3)$$

şeklinde denklem elde edilir. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların lnI-V grafikleri Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’ de verildi. Eşitlik 4.3’de gerekli düzenleme yapıldığında, ln(I)-V grafiğın eğiminden yararlanarak idealite faktörü ve kesme noktasından doyma akımı bulunur.

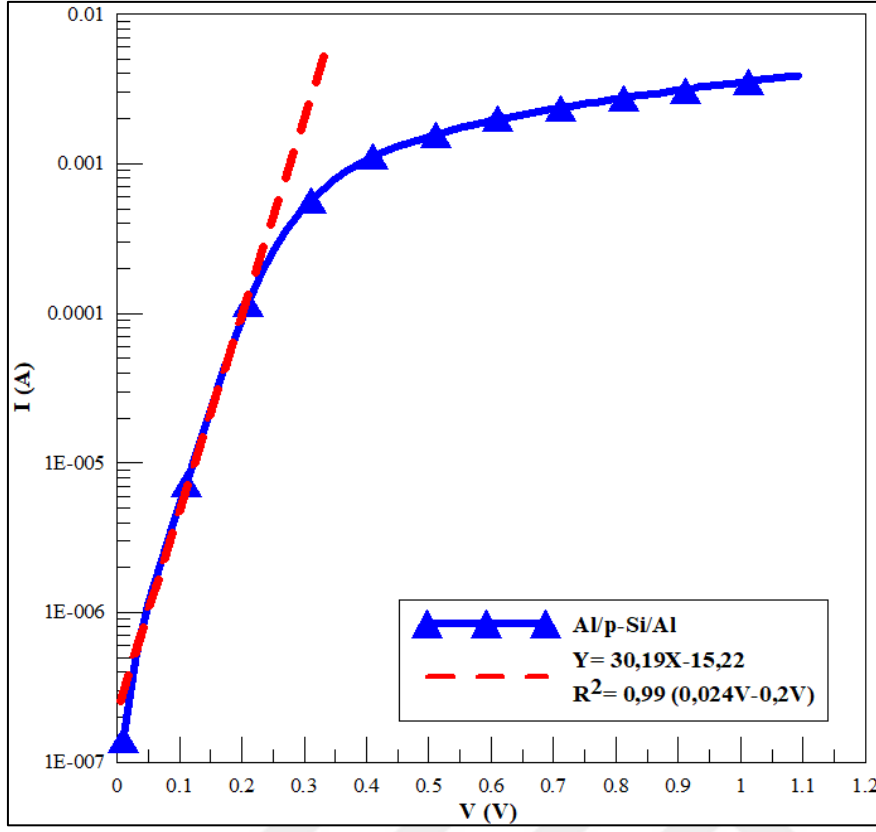
$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln(I)} \right) \quad (4.4)$$

Al/p-Si için idealite faktörünü 3,834 ve arayüzey organik malzemeli Al/perylene/p-Si için idealite faktörü 2,765 olarak bildirilmiştir [93]. Yine başka bir çalışmada Al/p-Si için idealite faktörünü 7,748 ve organik malzemeli Al/DNA/p-Si için idealite faktörü 9,971 olarak hesaplanmıştır [32]. Bu çalışmada, Al/p-Si/Al Schottky diyot için n değerini 1,279, Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için n değerini 1,003 ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için n değerini 1,055 olarak bulundu. Araya konulan organik malzeme, diyotlar için ideali bir olan idealite faktörü değerine daha fazla yaklaşmasını sağlamış ve akım artmıştır.

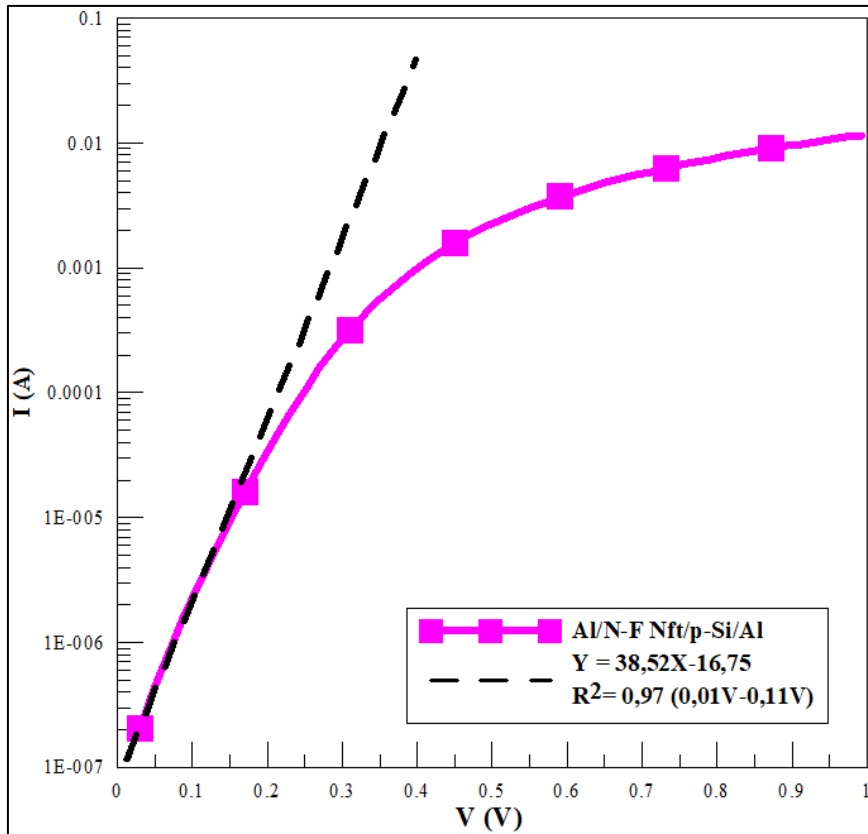
Grafiğin doğrusal kısmındaki denklemden bulunan I_0 değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Eşitlik 4.2'de gerekli düzenleme yapıldığında engel yüksekliği;

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA * T^2}{I_0} \right) \quad (4.5)$$

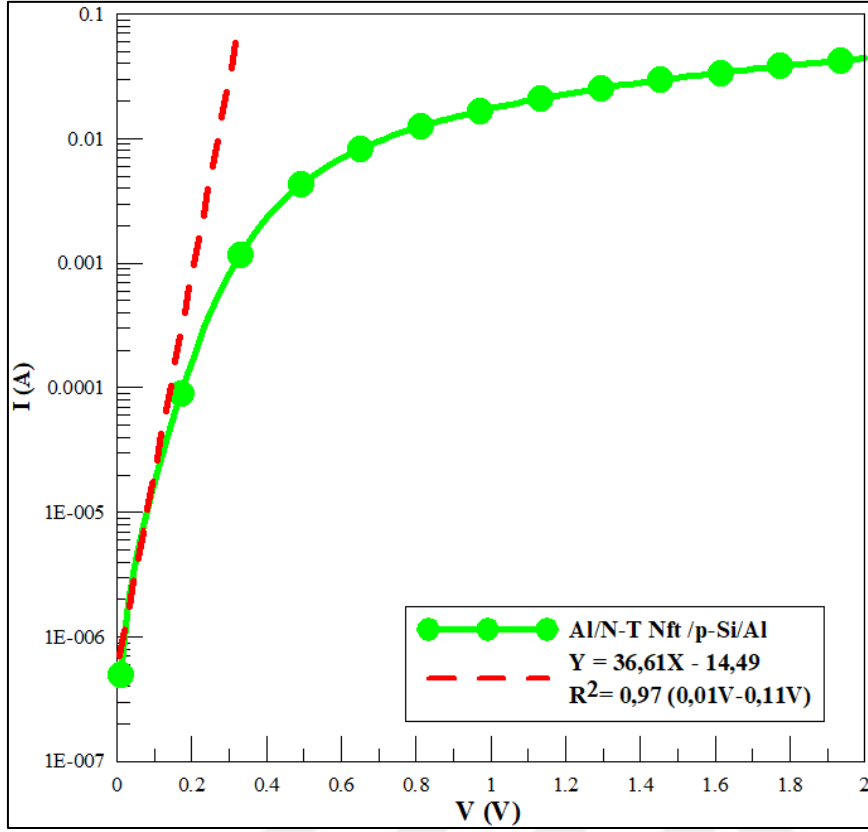
şeklinde verilir. Al/p-Si için engel yüksekliğini 0,707 eV ve organik malzemeli Al/perylene/p-Si için engel yüksekliğini 0,703 eV olarak bulunmuştur [93]. Başka bir çalışmada Al/p-Si için engel yüksekliğini 0,508 eV ve arada organik malzemeli Al/DNA/p-Si için engel yüksekliğini 0,478 eV olarak belirlenmiştir [32]. Bu çalışmada üretilen numunelerin hesaplamalarının yapıldığı ln(I)-V grafikleri Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verildi. Bu çalışmada, Al/p-Si/Al Schottky diyot için Φ_B değerini 0,665 eV, Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için Φ_B değerini 0,705 eV ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky Φ_B değerini 0,646 eV olarak elde edildi. Bulunan değerler literatürdeki engel yüksekliği değerlerine yakındır [62, 93].



Şekil 4.23. Al/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği



Şekil 4.24. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği



Şekil 4.25. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun, doğru beslem yarı logaritmik I-V grafiği

Çizelge 4.1. Schottky diyotların Termiyonik emisyonundan bulunan diyot parametreleri

Termiyonik emisyon yöntemi	I-V		
	n	Φ_B (eV)	$I_0 (\times 10^{-7} \text{ A})$
Al/p-Si/Al	1,279	0,665	2,453
Al/N-F Nft/p-Si/Al	1,003	0,705	0,529
Al/N-T Nft/p-Si/Al	1,055	0,646	5,104

4.2.2. Cheung yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi

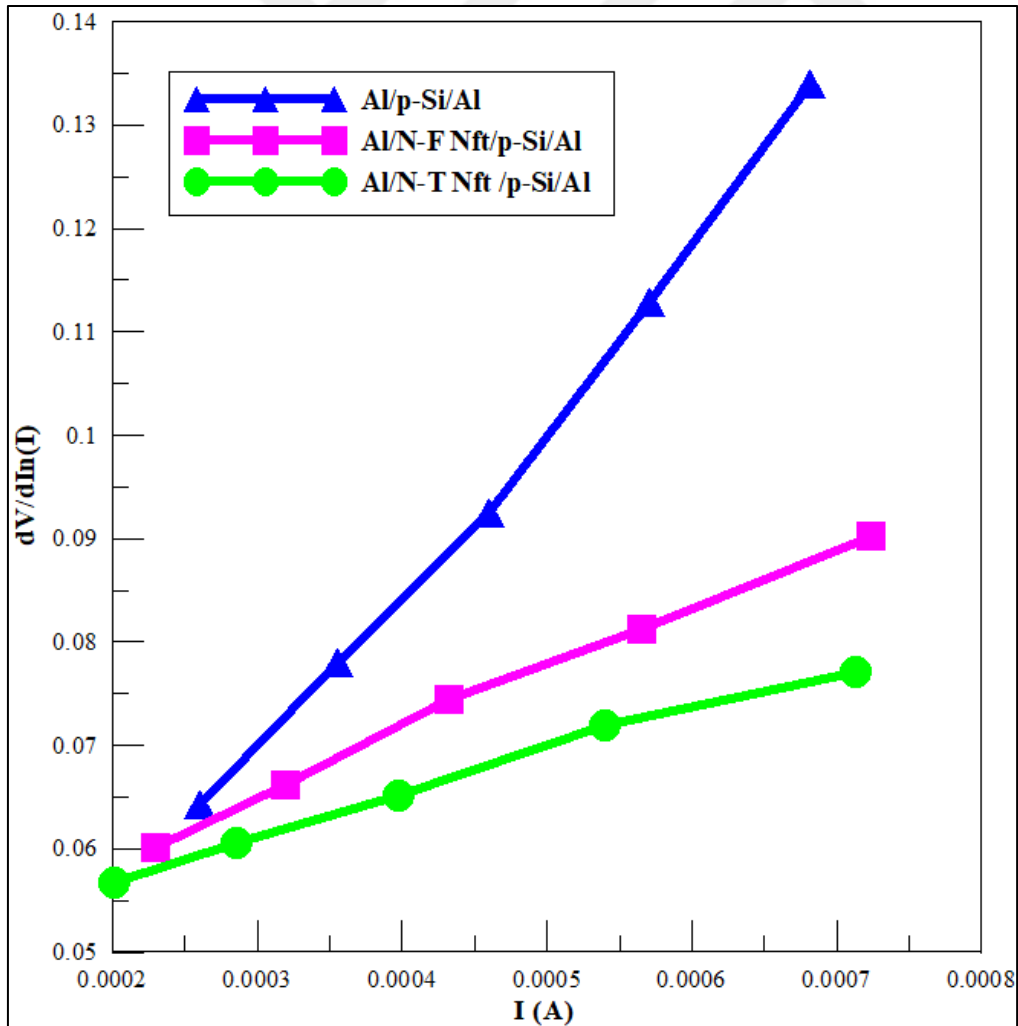
Akım iletim mekanizmasında seri direnç R_s önemlidir ve seri direnci bulmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan biri 1986'da Cheung ve Cheung tarafından önerilen yöntemdir [10]. Bu yöntem ile diyotun engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnci bulunabilir. Akım-gerilim verileri kullanılarak $dV/d\ln(I)$ -I grafiği çizilir.

$$dV / d\ln(I) = nkT / q + IR_s \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.6 kullanılarak, grafiğin eğimi nkT/q ifadesini ve grafiğin kesim noktası ise seri direnci verir.

$$H(I) = IR_s + n\Phi_B \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7 kullanılarak, $H(I)$ - I grafiği çizildiğinde, grafiğin eğimi seri direnci ve grafiğin kesim noktası $n\Phi_B$ verir. Al-ta'ii, Periasamy ve Amin [32] Cheung yöntemini kullanarak Al/p-Si/Al Schottky diyotun Φ_B değerini 0,4259 eV, n değerini 1,5372 ve R_s değerlerini 41 Ω ve 19,4 Ω , arasında organik bulunan Al/DNA/p-Si/Al Schottky diyot için ise Φ_B değerini 0,4713 eV, n değerini 3,3721 ve R_s değerlerini 38 Ω ve 20 Ω olarak bulmuşlardır [32]. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların $dV/d\ln(I)$ - I grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir.

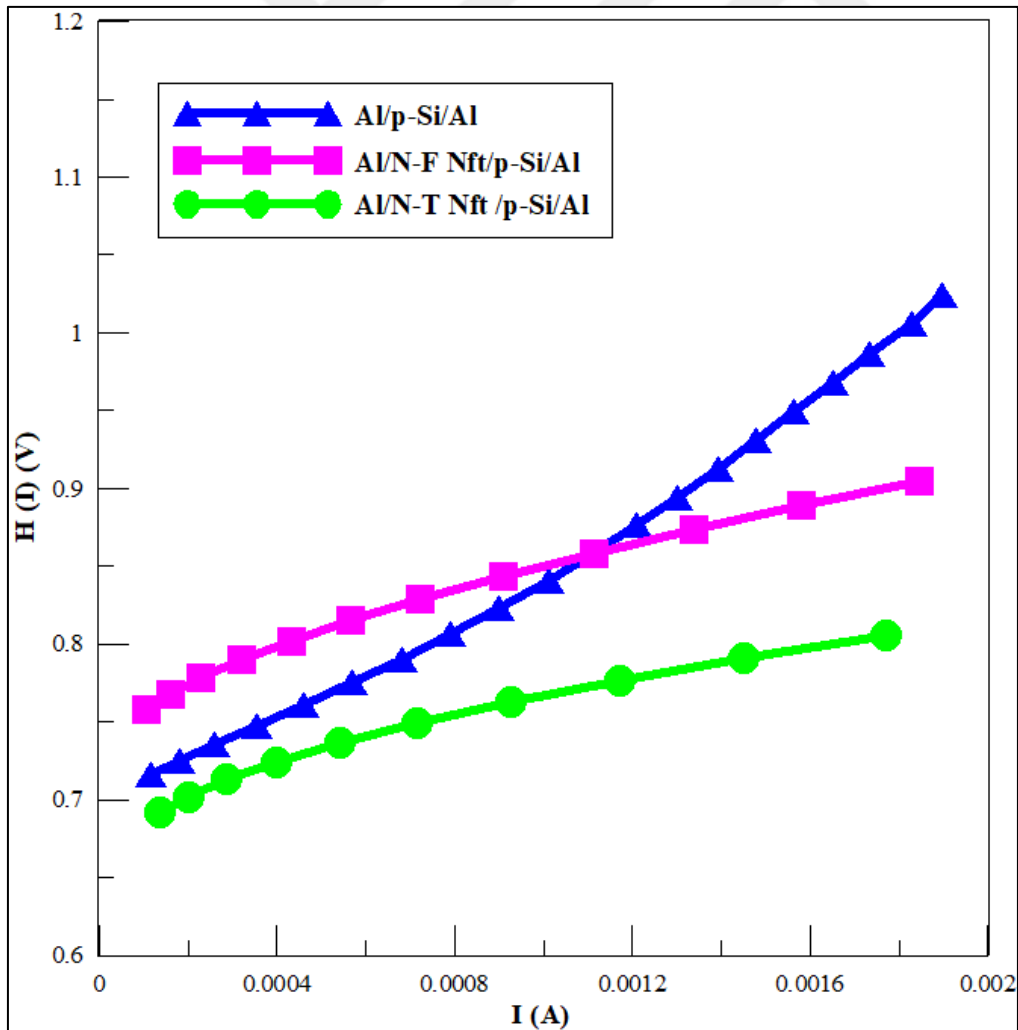


Şekil 4.26. Schottky diyotların, oda sıcaklığında $dV/d\ln(I)$ - I grafikleri

$dV/d\ln(I)$ - I grafiğın eğimi kullanılarak bulunan diyot parametreleri Çizelge 4.2’de verildi. Al/p-Si/Al Schottky diyot için n değerini 1,261 ve R_s değerini 112,92 Ω , Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyot için n değerini 1,512 ve R_s değerini 55,678 Ω , Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyot için n değerini 1,161 ve R_s değerini 37,06 Ω olarak hesaplandı.

Çizelge 4.2. Schottky diyotların Cheung yönteminden bulunan diyot parametreleri

Cheung yöntemi	$dV/d\ln(I)$ - I		$H(I)$ - I	
	n	$R_s(\Omega)$	$\Phi_B(\text{eV})$	$R_s(\Omega)$
Al/p-Si/Al	1,261	112,92	0,547	135,030
Al/N-F Nft/p-Si/Al	1,512	55,678	0,865	44,610
Al/N-T Nft/p-Si/Al	1,161	37,06	0,698	36,556



Şekil 4.27. Schottky diyotların, oda sıcaklığında $H(I)$ - I grafikleri

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların H(I)-I grafiği Şekil 4.27’de gösterildi. H(I)-I grafiğın eğimi kullanılarak bulunan diyot parametreleri ise Çizelge 4.2’de verildi. Al/p-Si/Al Schottky diyot için Φ_B değeri 0,547 eV ve R_s değeri 135,030 Ω olarak hesaplandı. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyot için Φ_B değeri 0,865 eV ve R_s değeri 44,610 Ω , Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyot için engel yüksekliği Φ_B 0,698 eV ve seri direnç R_s 36,556 Ω olarak bulundu. Cheung fonksiyonundan bulunan seri direnç değeri, Cheung fonksiyonunun kendi içinde tutarlı olmasından dolayı uyumlu olduğu bulundu.

4.2.3. Norde yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi

Seri direncin hesaplanmasında önerilen bir diğer yöntem 1979’da Norde tarafından önerilmiştir [9]. lnI-V eğrisinde seri direnç yüksek olduğundan dolayı Norde yöntemi seri direnç bulmada daha avantajlıdır [107]. Norde yöntemine göre Norde fonksiyonu;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.8)$$

şeklinde dir. Burada A Schottky alanı, A^* Richardson sabiti, γ idealite faktöründen büyük tamsayı değeri dir [9]. Eşitlik 4.8’de değeri yerine yazılıp, F(V)-V grafiği çizilir. Grafikten F_{min} ve V_{min} değeri okunarak, engel yüksekliği bulunabilir.

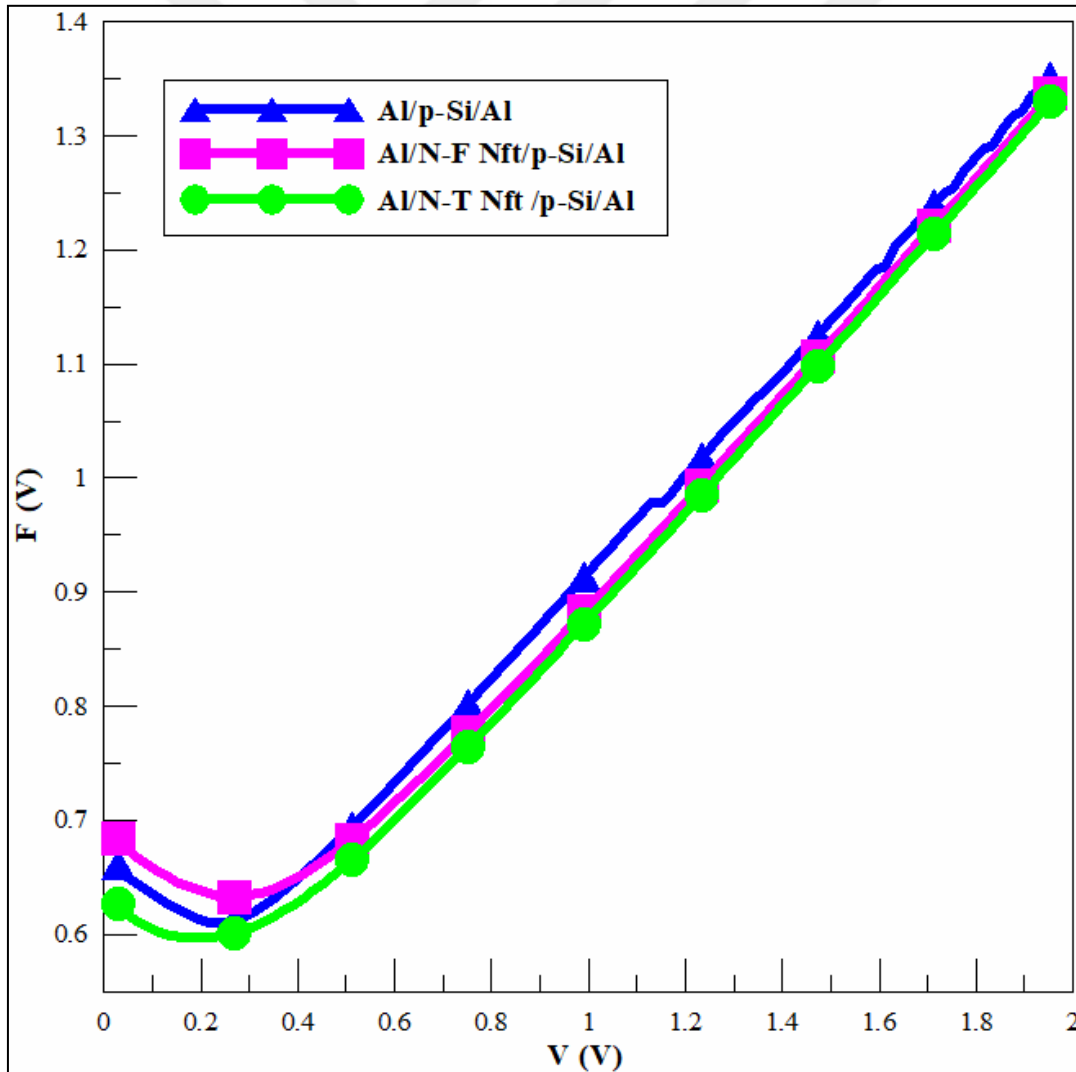
$$F_{min} \Phi_B = F_{min} + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.9)$$

I_{min} akımı, V_{min} değeri ne karşılık gelen akım olup aşığıdaki Eşitlik 4.10’da yazılarak, seri direnç bulunabilir.

$$R_s = \frac{kT}{qI_{min}} \quad (4.10)$$

Yapılan bir çalışmada, Norde yöntemi kullanılarak, Al/p-Si/Al diyotun engel yüksekliğini Φ_B değerini 1,01 eV ve seri direnç R_s 102,1 Ω ve arayüzeyde metil yeşili bulunan Al/MG/p-Si/Al diyotun ise engel yüksekliği Φ_B değerini 0,86 eV ve seri direnç R_s 20,4 k Ω bulunmuştur [59]. Norde yönteminden yararlanılarak yapılan başka diğer çalışmalarda; arayüzeyinde kinolin sarısı bulunan Al/Kinolin Sarısı/p-Si Schottky için $\Phi_B = 0,77$ eV, $R_s = 1498 \Omega$, [77] arayüzeyinde Kongo kırmızısı bulunan Al/CR/p-Si/Al Schottky için $\Phi_B = 0,83$ eV, $R_s = 3,49 \times 10^4 \Omega$ olarak hesaplanmıştır [50].

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların F(V)-V grafiği Şekil 4.28'de verildi.



Şekil 4.28. Schottky diyotların, oda sıcaklığında F(V)-V grafikleri

F(V)-V grafiğinden yararlanılarak bulunan Schottky diyot parametreleri Çizelge 4.3’de verildi. Bu çalışmada Al/p-Si/Al Schottky diyot için Φ_B değeri 0,699 eV ve R_s değeri 144,325 Ω bulundu. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyot için Φ_B değeri 0,742 eV ve R_s değeri 162,396 Ω hesaplandı. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyot için engel yüksekliği Φ_B 0,666 eV ve seri direnç R_s 189,083 Ω olarak bulundu. Bu değerler I-V yöntemiyle elde edilen değerlerden daha yüksektir. Ancak Çizelge 4.4 incelendiğinde farklılıklar küçüktür.

Çizelge 4.3. Schottky diyotların Norde yönteminden bulunan diyot parametreleri

Norde yöntemi	Φ_B (eV)	R_s (Ω)	F_{min}	$V_{min} (\times 10^{-3} V)$	$I_0 (\times 10^{-6} A)$
Al/p-Si/Al	0,699	144,325	0,6097	230,500	179,367
Al/N-F Nft/p-Si/Al	0,742	162,396	0,6327	270,700	159,408
Al/N-T Nft/p-Si/Al	0,666	189,083	0,5967	190,500	136,909

4.2.4. Arayüzey durumunun incelenmesi

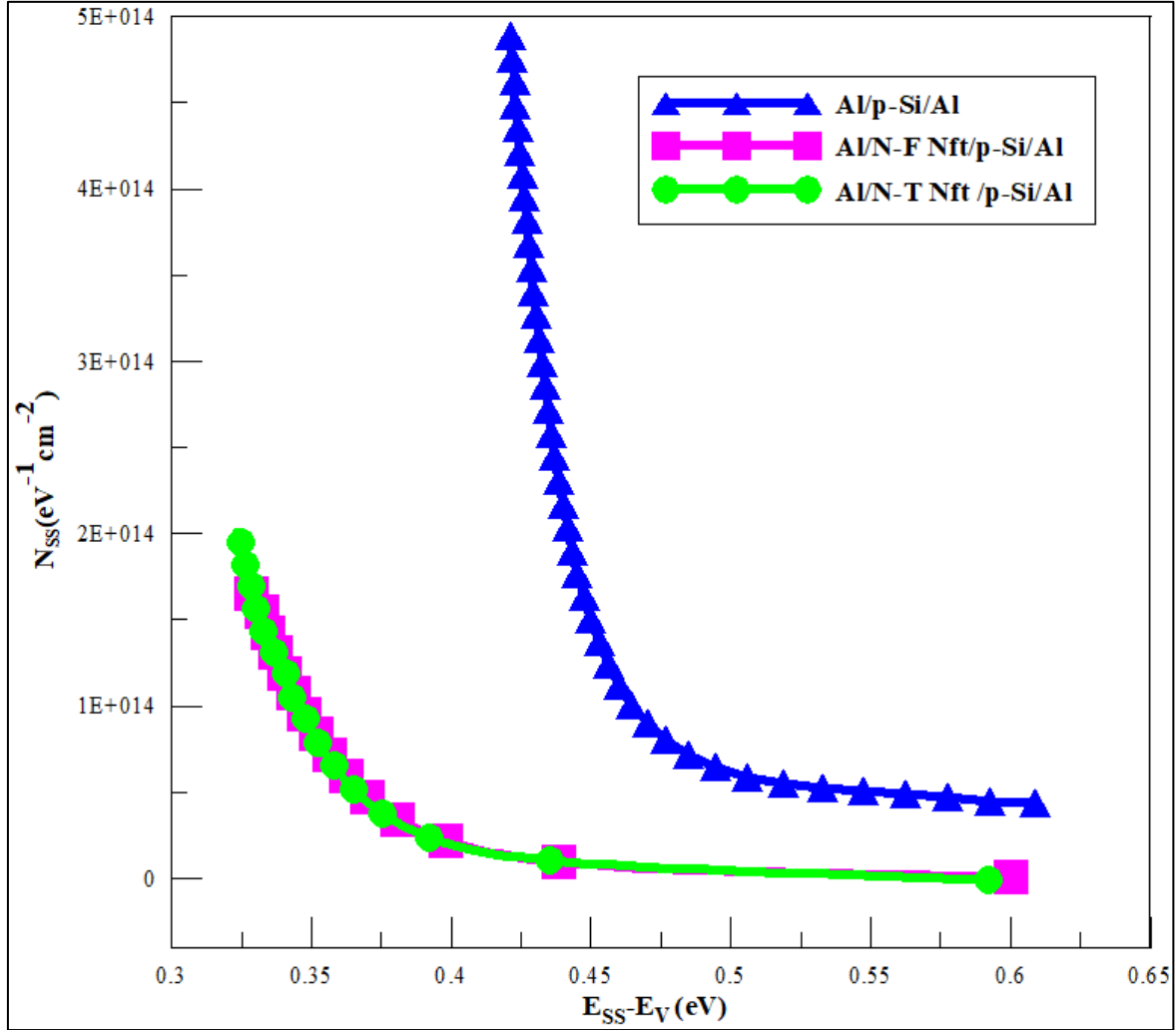
Card ve Rhoderick tarafından Schottky diyot için sadeleştirilen arayüzey durumları yoğunluğu [93];

$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{d} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_d} \right] \quad (4.11)$$

olarak verilir. Burada $\epsilon_i(4\epsilon_0)$ arayüzey tabakanın dielektrik sabiti, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. p-tipi iletkenlerde yüzey durumlarının enerjisi;

$$E_{ss} - E_v = q(\Phi_e - (V - IR_s)) \quad (4.12)$$

eşitliği ile verilir. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların arayüzey durumların enerji dağılım karakteristiği Şekil 4.29’da verildi.



Şekil 4.29. Schottky diyotların, oda sıcaklığında I-V ölçümlerinden elde edilen arayüzey durumlarının enerji dağılımları

Polimer olmayan organik-yarıiletken arasındaki arayüzey tabakası diyot özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Schottky cihazların performansı arayüzey durumlarına bağlıdır [43]. Şekil 4.29 incelendiğinde Al/p-Si/Al diyotun arayüzey durumu enerji dağılımı, Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-t Nft/p-Si/Al diyotlara göre daha baskın bir role sahiptir. Diğer yandan, ileri beslem durumunda, etkin engel yüksekliğindeki artış şu şekilde açıklanabilir: diyot ileri beslemde, çoğunluk taşıyıcıları için yarı fermi yarıiletken tarafına yükselir. Bu sebeple,deşiklerin çoğu doğrudan bir Termiyonik emisyon akımı oluşturan metale geçecek, bazıları ise ara yüzey durumları tarafından tuzaklanır. Bu yüklerin tuzaklanması işlemi, etkili bariyer yüksekliğinin artmasıyla sonuçlanır ve böylece diyot akımını azaltır [3, 108].

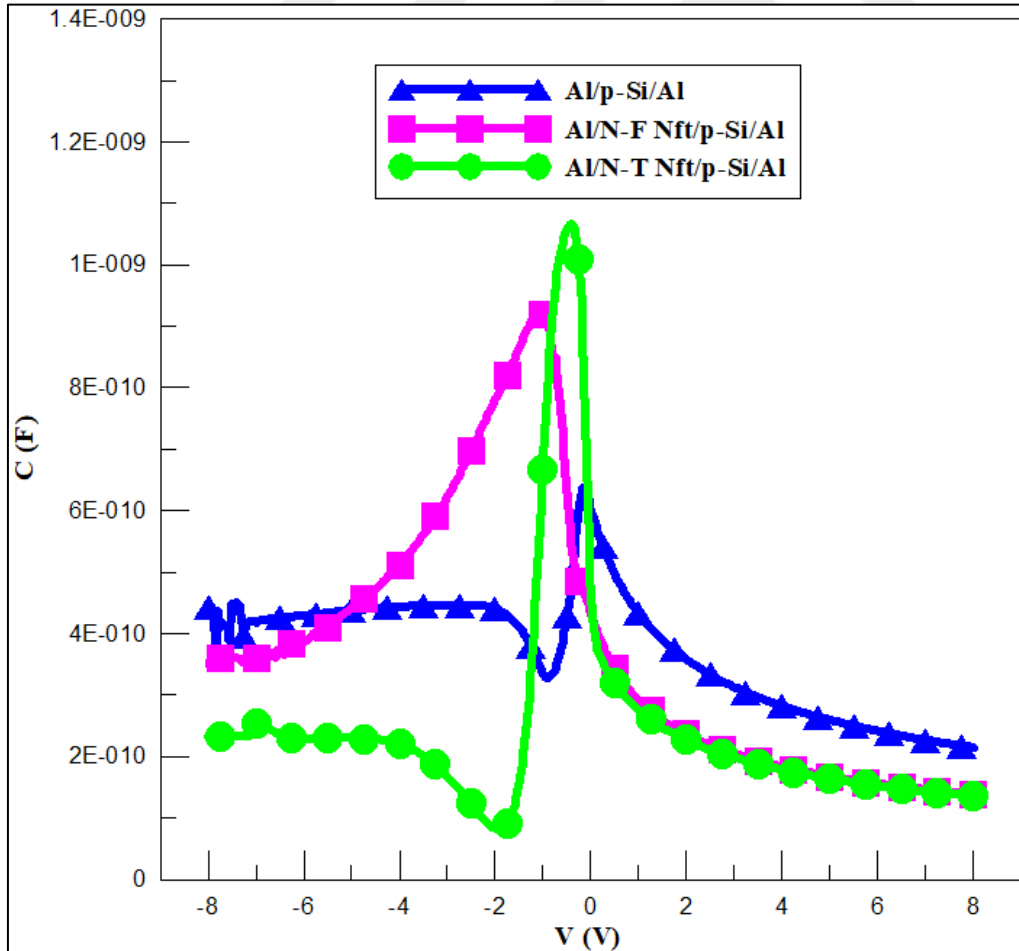
Çizelge 4.4. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların ve literatürdeki Al/organik/p-Si/Al Schottky diyotların Termiyonik, Cheung ve Norde yönteminden bulunan değerleri

	Termiyonik emisyon yöntemi		Cheung yöntemi				Norde yöntemi	
	I-V		dV/dln(I)-I		H(I)-I			
	n	Φ_B (eV)	n	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
Al/p-Si/Al	1,279	0,665	1,261	112,92	0,547	135,030	0,699	144,325
Al/N-F Nft/p-Si/Al	1,003	0,705	1,512	55,678	0,865	44,610	0,742	162,396
Al/N-T Nft/p-Si/Al	1,055	0,646	1,161	37,06	0,698	36,556	0,666	189,083
Al/polyaniline/p-Si/Al [31]	2,09	0,79	3,30	3,84	0,73	4,06	-	-
Al/p-Si/Al [32]	7,748	0,508	1,537	19,405	0,426	41	0,363	15,311
Al/DNA/Si/Al [32]	9,971	0,478	3,021	20	0,491	35	0,363	15,401
Al/P3DMTPT/p-Si/Al [33]	3,80	0,63	-	-	-	-	-	-
Al/MK/p InP [40]	2,02	1,11	-	-	-	-	-	-
Al/ MK/p-Si [41]	1,21	0,821	-	-	-	-	-	-
Al/ MK/p-Si [42]	1,19	0,855	2,06	17,7x10 ⁶	0,796	15,6x10 ⁶	-	-
Al/MK/p-Si(1) [43]	1,21	0,821	-	-	-	-	-	-
Al/MK/p-Si(2) [43]	1,45	0,828	-	-	-	-	-	-
Al/CR/p-Si/Al [50]	1,68	0,77	4,22	294,5	0,67	302,6	0,83	34900
Al/P2ClAn/p-Si/Al [51]	4,84	0,787	11,98	125	0,65	117,59	-	-
Al/PS-ZnPc/p-Si/Al [52]	2,54	0,830	-	-	-	-	-	-
Al/DCF/p-Si/Al (A) [53]	-	-	5,12	-	0,85	109600	-	264400
Al/DCF/p-Si/Al (B) [53]	-	-	3,04	-	9,74	42200	-	81800
Al/tetraamide-l/p-Si [54]	1,77	0,75	1,79	58,1	0,75	59,5	-	-
Al/PSP/p-Si/Al [55]	1,45	0,81	6,44	551,6	0,65	814,5	0,88	23500
Al/p-Si/Al [59]	1,56	0,81	1,58	93,34	0,80	96,28	1,01	102,1
Al/MG/p-Si/Al [59]	1,36	0,80	6,21	15710	0,68	13160	0,86	20400
Al/NPB/p-Si [62]	1,33	0,65	1,42	86	0,60	53-101	-	-
Al/KS/p-Si [77]	1,23	0,76	1,15	1029	0,72	1002	0,77	1498
Al/p-Si [93]	3,834	0,707	-	-	-	-	1,00	627,8
Al/perylene/p-Si [93]	2,765	0,665	-	-	-	-	1,10	1257,8
Al/MA/p-Si (1) [113]	1,89	0,75	1,93	39	0,74	26,25	-	-
Al/MA/p-Si (2) [113]	1,38	0,78	1,99	34	0,73	22,38	-	-
Al/MEH-PPV/p-Si [114]	1,88	0,80	1,85	7130	0,80	6840	-	-
Al/rubrene/p-Si [115]	1,33	0,77	-	-	-	-	-	-
Al/(C2H5SCOOH)/p-Si/Al [117]	4,84	0,769	11,98	125	0,65	117,59	-	-

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların akım-gerilim ölçümleri kullanılarak, Termiyonik, Cheung ve Norde yönteminden hesaplanan diyot parametreleri Çizelge 4.4’de verildi. Ayrıca literatür taranarak Al/p-Si/Al yapısı ve arayüzeyine organik malzeme kullanılan Al/organik/p-Si/Al yapıları tespit edilerek, Termiyonik, Cheung ve Norde yönteminden yararlanarak bulunan diyot parametreleri Çizelge 4.4’de yer verildi.

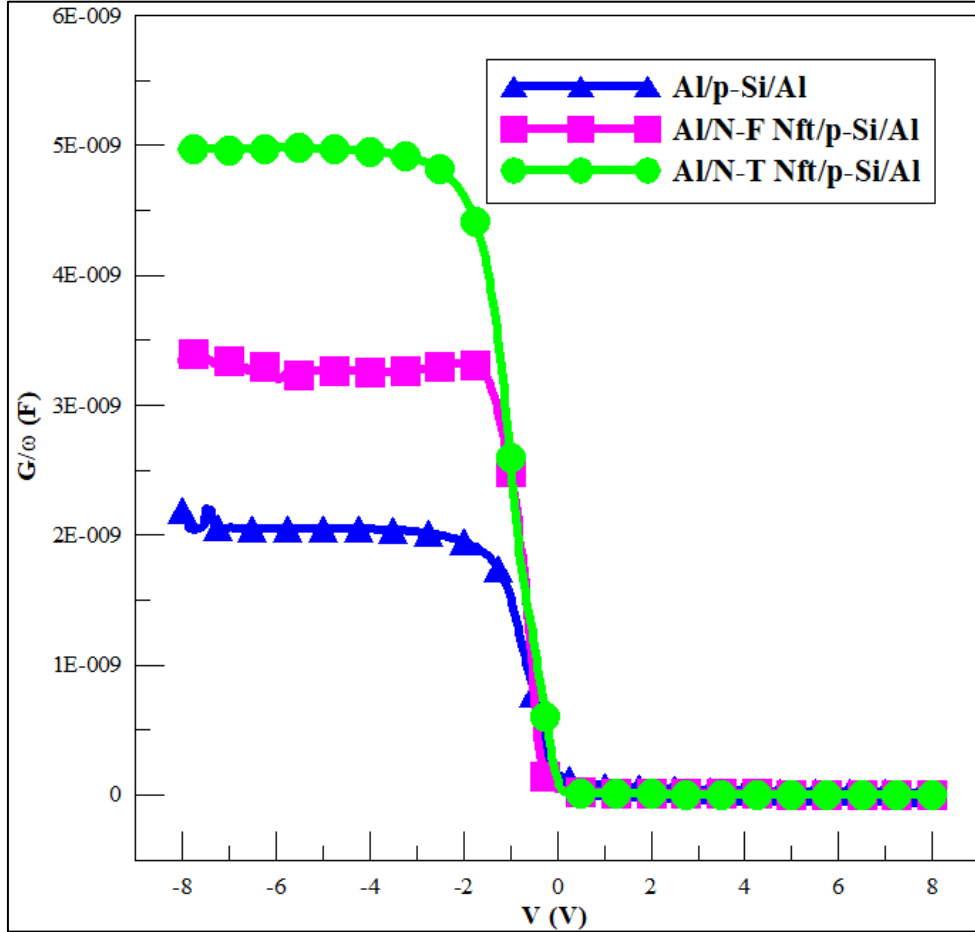
4.3. Schotkky Diyotun Kapasitans-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların oda sıcaklığında, 1MHz frekans değerinde, (-5V)-(5V) voltaj aralığında kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim ölçümleri alındı. Diyotların kapasitans-gerilim grafiği Şekil 4.30’da verildi. Kapasitans-gerilim grafiklerindeki piklerin sebepleri, arayüzey durumlarına ve seri dirence atfedilmektedir [109].



Şekil 4.30. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemede C-V grafikleri

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların iletkenlik-gerilim grafikleri Şekil 4.31’de verildi. Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotları için arayüzeye konulan malzeme diyotların kapasitanslarını arttırmıştır.



Şekil 4.31. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde G/ω -V grafikleri

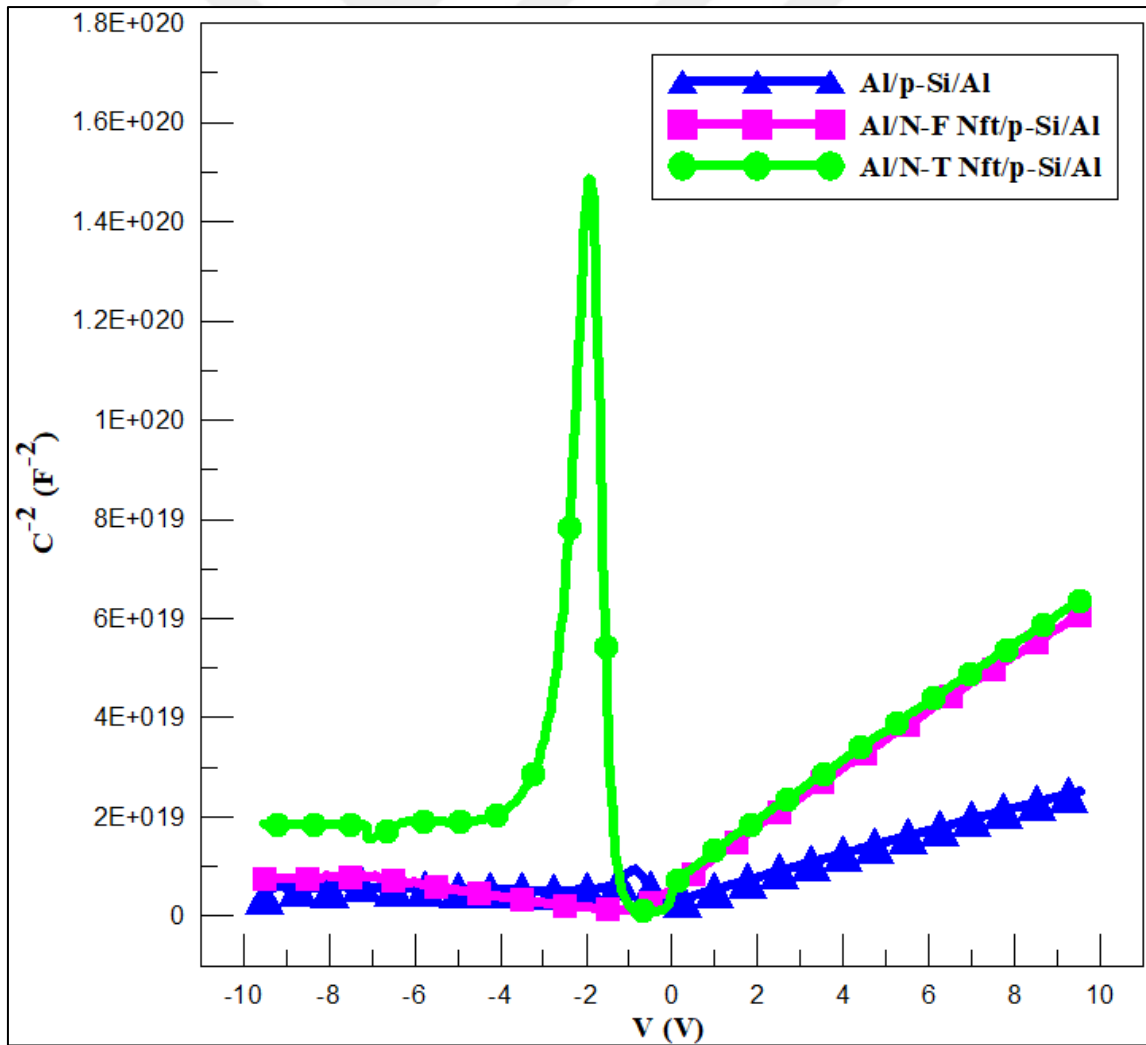
Şekil 4.31’de diyotların iletkenlik-gerilim grafikleri incelendiğinde, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al diyotların iletkenliği, Al/p-Si/Al diyottan daha yüksektir. Al/N-T Nft/p-Si/Al diyotun arayüzeyindeki Tiyofen-Naftalimit, Al/N-F Nft/p-Si/Al arayüzeyindeki Furan-Naftalimite göre iletkenliğin daha fazla artmasına katkı sağlamıştır.

4.3.1. Hill Coleman yöntemiyle diyot özelliklerinin belirlenmesi

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde $C^{-2} - V$ gerilime bağlı grafikleri Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Uzay yük bölgesi kapasitans aşağıdaki şekilde;

$$C^{-2} = \frac{2(V_R + V_0)}{q\epsilon_s N_A A^2} \quad (4.13)$$

verilir. Burada V_0 sıfır öngerilimde kesme voltajı, V_R ters öngerilim, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, N_A akseptör katkı yoğunludur [93]. Şekil 4.32'deki grafiklerin eğimlerinden yararlanarak $C^{-2} - V$ değeri bulunur ve Eşitlik 4.13'de yerine yazıldığı zaman akseptör katkı yoğunluğu değeri bulunur. Al/p-Si/Al Schottky diyot için N_A değeri $3,254 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için N_A değeri $6,336 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için N_A değeri $2,450 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ olarak bulundu.



Şekil 4.32. Schottky diyotların, oda sıcaklığında doğru ve ters beslemde $C^{-2} - V$ grafikleri

$C^{-2} - V$ grafikten V_0 değerleri bulunarak sıfır voltajda difüzyon potansiyeli ;

$$V_D = V_0 + \frac{kT}{q} \quad (4.14)$$

eşitliği ile bulunur. Önceki aşamalarda bulunan gerekli değerler Eşitlik 4.15’de yerine yazılarak tüketim bölgesi kalınlığı (W_D) bulunabilir.

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_s\epsilon_0 V_D}{qN_A}} \quad (4.15)$$

Kapasitans-gerilim verilerinden faydalanarak bulunan, tüketim bölgesi kalınlığı W_D ve difüzyon potansiyeli N_A Çizelge 4.5’de verildi.

Çizelge 4.5. Schottky diyotların C-V verilerinden hesaplanan diyot parametreleri

	C-V		
	$N_A (\times 10^{16} \text{cm}^{-3})$	$\Phi_B (\text{eV})$	$W_D (\text{nm})$
Al/p-Si/Al	3,254	0,70	2,546
Al/N-F Nft/p-Si/Al	6,336	0,99	1,394
Al/N-T Nft/p-Si/Al	0,025	1,30	43,692

Hill Coleman yöntemiyle arayüzey durum yoğunluğu [98] ;

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{G_{\max} / \omega}{\left(\frac{G_{\max}}{\omega C_{ox}}\right)^2 + \left(1 - \frac{C_m}{C_{ox}}\right)^2}, \quad (4.16)$$

olarak verilir. Burada G_{\max} ölçülen en büyük iletkenlik (kondüktans) değeri, C_m ölçülen en büyük kapasitans değeri, C_{ox} insilatör tabakanın kapasitesidir [69]. Yüksek frekans değerlerinde terslenim ve tükenim bölgelerinde, ölçülen iletkenlik G_m / ω ve kapasitans değerleri C_m seri direnç etkisinden dolayı önemli derecede değişim göstermektedir [93].

Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotları için bulunan N_{ss} ve C_{ox} değerleri Çizelge 4.6'da verildi.

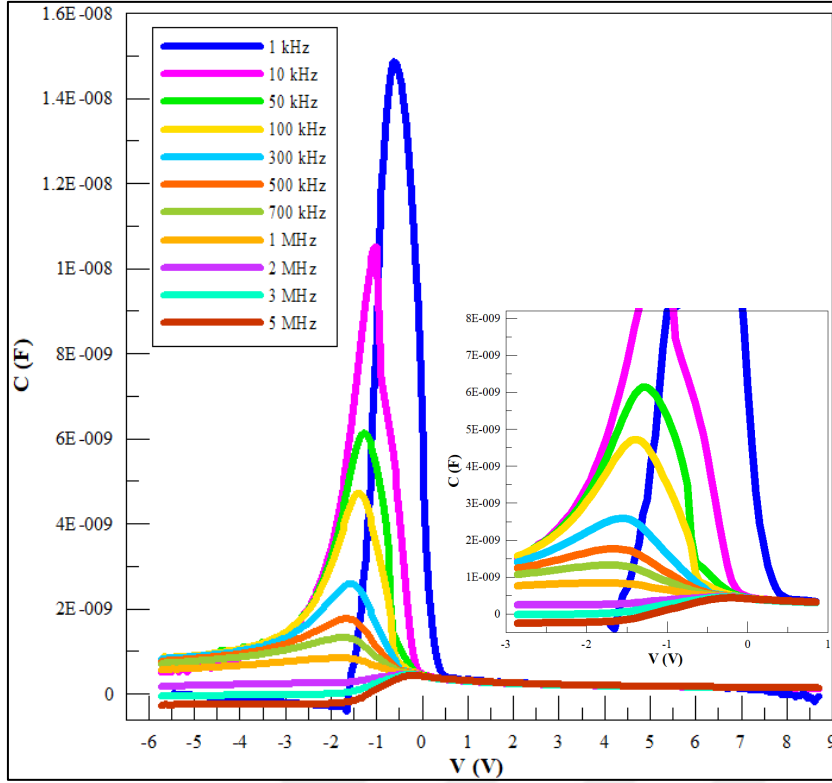
Çizelge 4.6. Schottky diyotların Hill Coleman yöntemiyle hesaplanan diyot parametreleri

	Hill Coleman	
	$C_{ox} (\times 10^{-9} F)$	$N_{ss} (\times 10^{12} eV^{-1} cm^{-2})$
Al/p-Si/Al	0,720	1,082
Al/N-F Nft/p-Si/Al	8,123	2,653
Al/N-T Nft/p-Si/Al	1,924	1,403

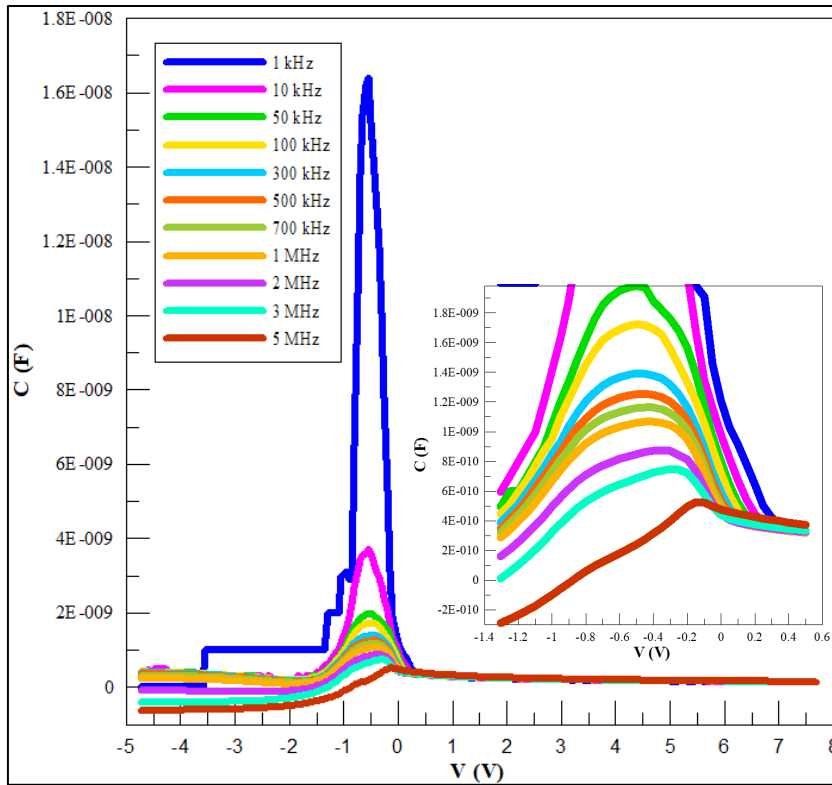
Hill Coleman yönteminde bulunan arayüzey durumun yoğunluğu, I-V'de bulunan arayüzey durum yoğunluğundan merteye olarak farklı olmuştur. Farklı oluşunun sebebi uygulanan yöntemlerin farklı olmasıdır.

4.4. Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların geniş bir frekans aralığında kapasitans ve iletkenlik ölçümleri

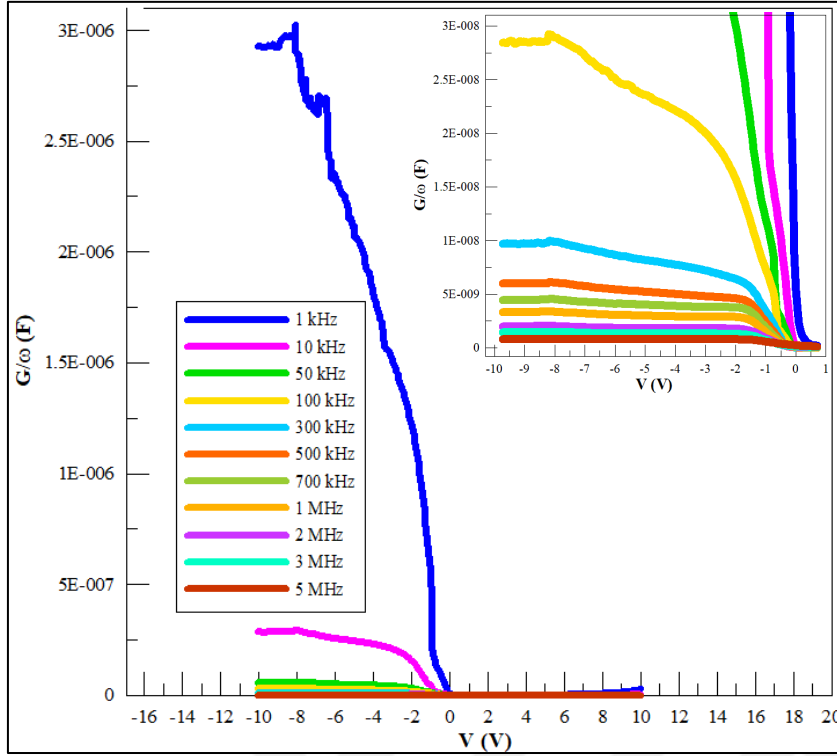
Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların oda sıcaklığında, 1kHz-5MHz frekansları arasında kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim ölçümleri alındı. Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al diyotların C-V grafikleri Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de verildi. C-V grafiklerinde terslenim-tükenim-yığılma bölgeleri görülmektedir. C-V eğrileri yığılma bölgesinde pik vermiştir. Pik verme sebebi pikin olduğu bölgede arayüzey durumları yoğun olmasıdır [109]. Frekansa bağlı kapasitans değerleri incelendiğinde, frekans arttıkça pikin şiddeti azalmaktadır. Düşük frekanslarda frekans arttıkça pikler negatif değerlere doğru kayarken, yüksek frekanslara gelince (2 MHz) pikler pozitif bölgeye kaymıştır. Arayüzey durumlarının a.c sinyali yeterli yüksek frekanslarda takip edemeyeceğinden kapasitansa katkı sağlamaz [109]. Kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim grafiklerinde, düşük frekanslarda arayüzey durumlarını takip edebilirken, yüksek frekanslarda takip edemezler. Bunun sebebi düşük frekanslarda arayüzey tuzak yükleri, uzun zaman sabitine sahipken, yüksek frekanslarda küçük zaman sabitine sahiptir [110, 111].



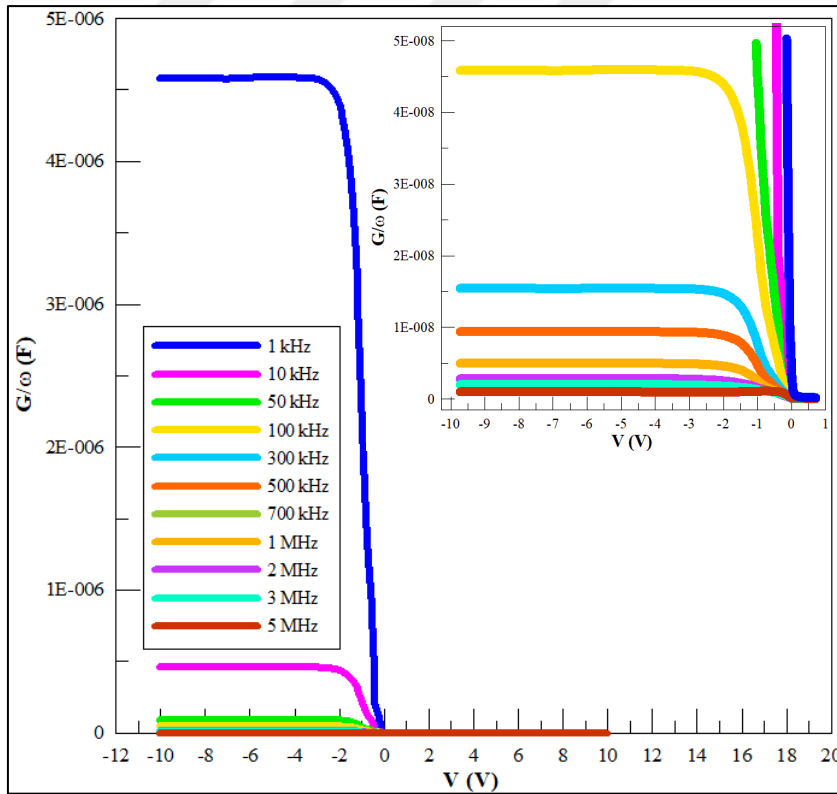
Şekil 4.33. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı C-V grafikleri



Şekil 4.34. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı C-V grafikleri



Şekil 4.35. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı G/ω - V grafikleri



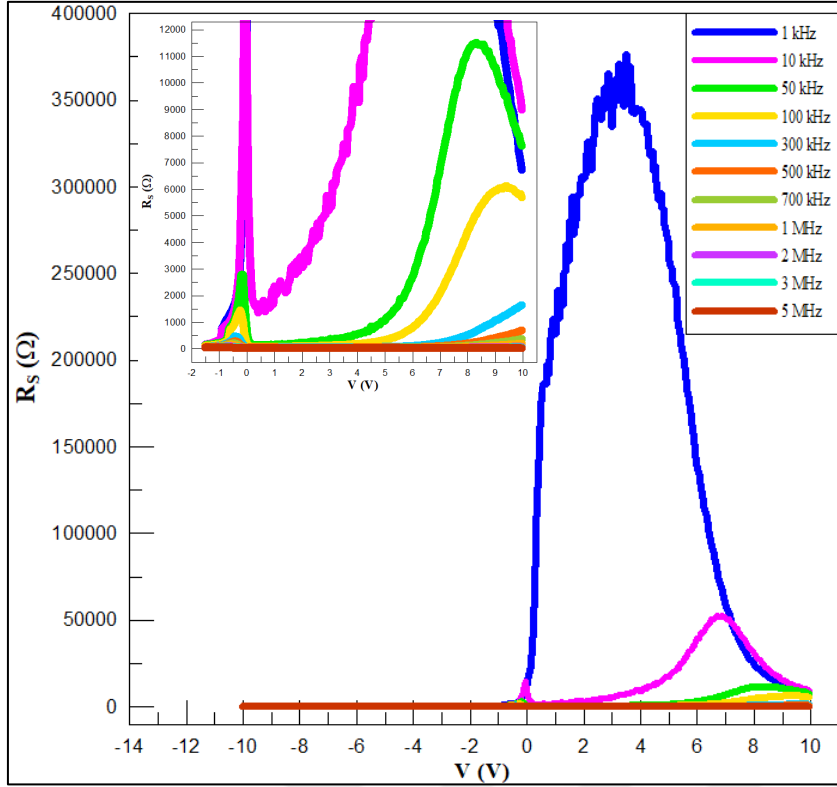
Şekil 4.36. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı G/ω - V grafikleri

Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların G/ω grafikleri Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verildi. Düşük frekanslarda G/ω grafiklerindeki değişimler oldukça yüksektir. Bunun nedeni arayüzey durumlarının etkisidir. Gerilimin yüksek frekanslarda G/ω değerlerinde çok etkisi yoktur [89]. Frekansa bağlı iletkenlik grafiklerinde frekans arttıkça iletkenlik azalmıştır.

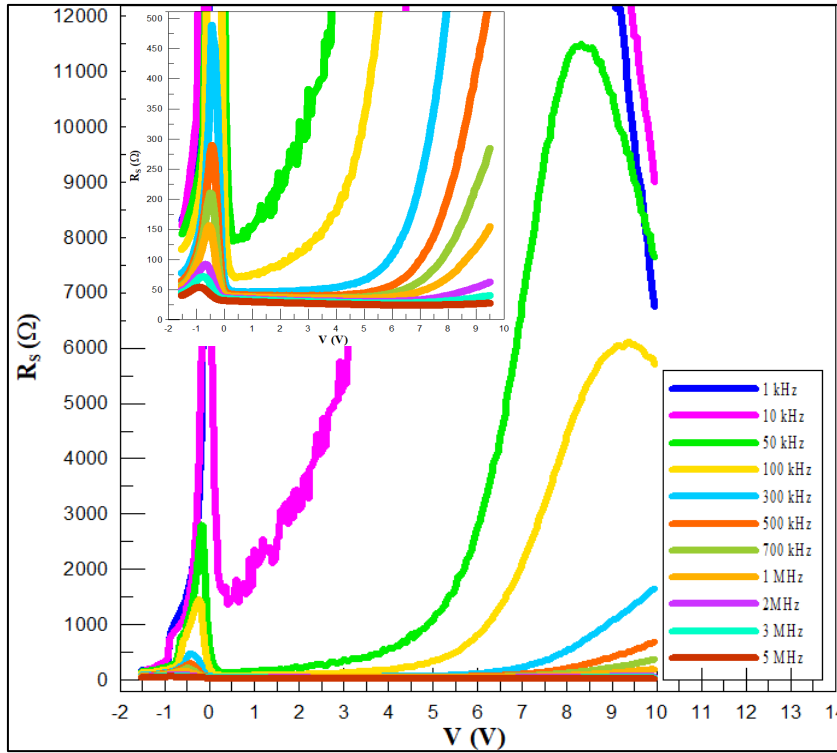
Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların frekansa bağlı seri direnç değerleri, C ve G/ω ölçümleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı.

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (4.17)$$

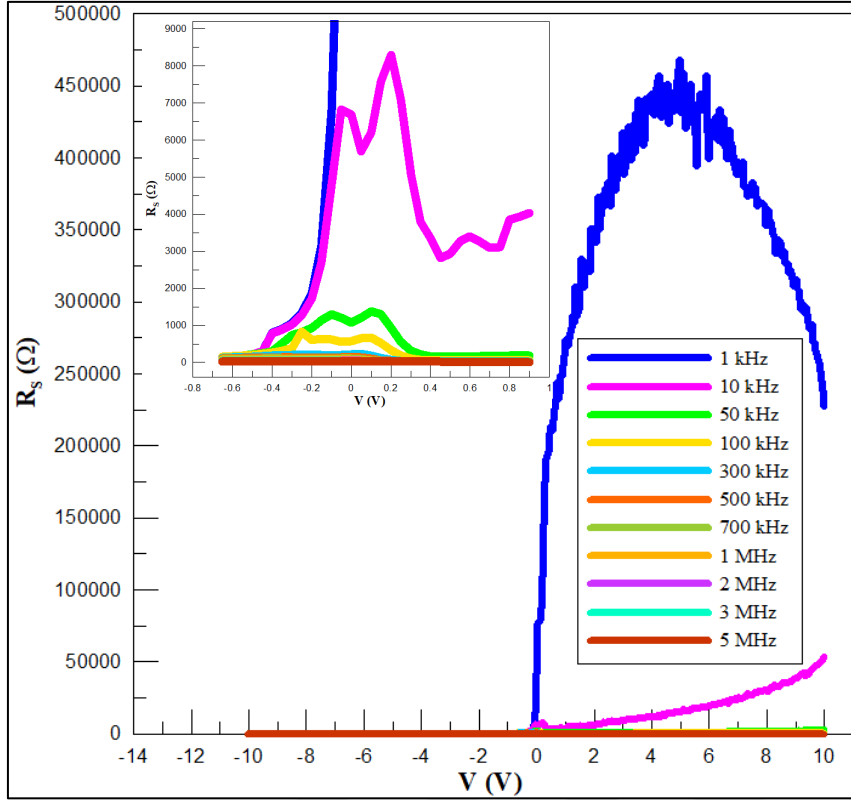
Eşitlik 4.17'deki G_m güçlü yığılım bölgesinde ölçülen iletkenlik değerleri, ω ($=2\pi f$) açısal frekans ve C_m güçlü yığılım bölgesinde ölçülen kapasitans değerleridir [6]. Al/N-F Nft/p-Si/Al diyotun frekansa bağlı seri direnç grafikleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38, Al/N-T Nft/p-Si/Al diyotun frekansa bağlı seri direnç grafikleri Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da verildi. Grafiklerde, düşük frekanslarda, arayüzey durumlarının yoğun olmasından kaynaklı piklerin şiddeti daha büyüktür [6, 89]. Frekans arttıkça piklerin şiddetinde azalma görülür. Seri direnç yüksek frekanslarda gerilimden bağımsız olduğundan, seri direnç hem frekans hem uygulanan gerilime bağlıdır. Metal-yarıiletken arayüzey durumlarının dağılımından dolayı bu değerler değişir. Düşük frekanslarda, tuzaklardaki taşıyıcı ömrü açısal frekansın ($1/2\pi f$) tersinden daha düşüktür. Bunun sonucunda arayüzey durumları a.c sinyali takip edebilir. Kapasitans ve iletkenliğe ilave olarak arayüzey durumları a.c sinyali takip edebildiğinden dolayı ek katkı gelir. Bunun sonucu olarak seri direnç değeri büyük çıkar. $C-V$ ve $G/\omega-V$ hesaplamalarında seri direnç için yüksek frekanslar kullanılması güvenilirlik bakımından önemlidir [112].



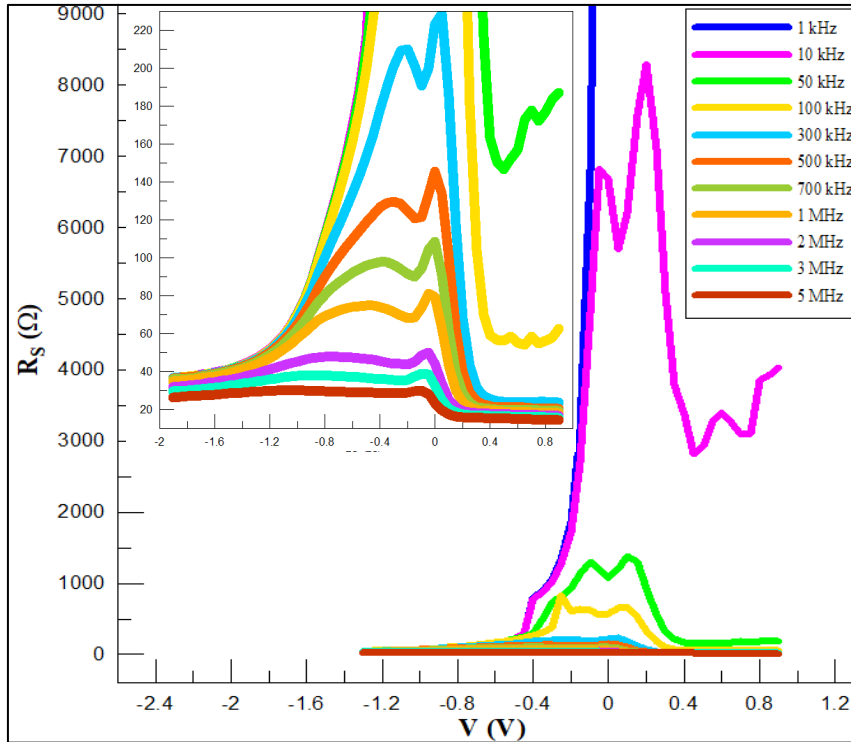
Şekil 4.37. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (1 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri



Şekil 4.38. Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (50 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri



Şekil 4.39. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (1 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri



Şekil 4.40. Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında, frekansa bağlı (10 kHz-5 MHz) $R_s - V$ grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Al/p-Si/Al metal-yarıiletken Schottky diyot ve Al/N-F Nft/p-Si/Al Al/N-T Nft/p-Si/Al metal-organik-yarıiletken Schottky diyotları üretildi. Alttaş olarak <100> yönelimine sahip, 0,5 mm kalınlıklı ve 5,8 cm çapında p-tipi tek kristal silikon yaprak kullanıldı. Omik ve Schottky kontaklar Alüminyum ile yapıldı. Organik malzeme olarak ilk defa sentezlenen N-Furan Naftalimit ve N-Tiyofen Naftalimit kullanıldı. Hazırlanan numunelerin yapısal ve morfolojik özelliklerini incelemek amacıyla SEM, Stereo mikroskop, FTIR ve XRD cihazlarıyla ölçümler alındı. SEM görüntülerinde organik arayüzey içermeyen Al/p-Si/Al Schottky diyot homojen bir yüzey morfolojisine sahipken Furan fonksiyonlu naftalimit içeren Al/N-F Nft/p-Si/Al Schottky diyot veya Al/N-T Nft/p-Si/Al tiyofen fonksiyonlu naftalimit içeren Schottky diyotun yüzey morfolojisinde yüzeydeki homojenlik ortadan kalkarak bazı yerlerde yığılmalar oluşmuştur. Üç diyotun FTIR spektrum ve XRD desenlerinde arayüzeyde kullanılan organik malzemelerin oluşturduğu farklılık açıkça görüldü. FTIR ve XRD grafikleri arasında simetri ve uyum vardır.

Schottky diyotların oda sıcaklığında, I-V ve C-V ölçümleri alındı. I-V ölçümlerinden idealite faktörü n , engel yüksekliği Φ_B , doyma akımı I_0 , seri direnç R_s , C-V ölçümlerinden ise alıcı atomların yoğunluğu N_A , difüzyon potansiyeli V_D , tüketim tabakası kalınlığı W_D , yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ve arayüzey durum yoğunluğu N_{ss} hesaplandı.

Termiyonik emisyon yöntemi kullanılarak Al/p-Si/Al Schottky diyot için idealite faktörü n değeri 1,279, engel yüksekliği Φ_B değeri 0,665 eV, doyma akımı I_0 değeri $2,453 \times 10^{-7}$, Al/N-F Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için idealite faktörü n değeri 1,003, engel yüksekliği Φ_B değeri 0,705 eV, doyma akımı I_0 değeri $5,295 \times 10^{-8}$ ve Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyot için idealite faktörü n değeri 1,055, engel yüksekliği Φ_B değeri 0,646 eV, doyma akımı I_0 değeri $5,104 \times 10^{-7}$ olarak elde edildi. Al/p-Si arasına organik malzeme konulduğunda n değeri ideale ($n=1$) çok daha yaklaştığı görüldü. Metal/organik/yarıiletken Schottky diyotların oda sıcaklığında, engel yükseklikleri

Al/NPB/p-Si için 0,65 eV [62], Al/MA/p-Si için 0,75-0,78 eV [113], Al/MEH-PPV/p-Si için 0,80 eV [114], Al/PCz-clay/ITO için 0,85 [86], Al/rubrene/p-Si için 0,774 eV [115] olarak bulunmuştur. Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotları engel yükseklikleri literatürdeki değerlerden daha düşük bulundu. İdealite faktörü değerleri Al/NPB/p-Si için 1,33 [62], Al/MA/p-Si için 1,89-1,38 [113], Al/MEH-PPV/p-Si için 1,88 [114], Al/PCz-clay/ITO için 1,83 [86], Al/rubrene/p-Si için 1,333 [115] değerler bulunmuştur. Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotları için idealite faktörleri daha düşük ve ideale ($n=1$) daha yakındır.

Özel arayüzey yapıdan arayüzey durumları içeren mekanizmalar, arayüzeyde üretimden kaynaklı kusurlar ya da arayüzey katkılama idealite faktörünün yüksek çıkmasına sebep olur [116]. İdealite faktörünün büyük çıkmasının başka sebepleri; tünelleme, rejenerasyon-rekombinasyon ve imaj kuvvet etkisidir. İdealite faktörünün ideale yakın çıkması bu olası istenmeyen durumların olmadığı veya çok az olduğu anlamına gelebilir.

İdealite faktörünü etkileyen bir başka önemli faktör seri dirençtir. Seri direncin etkisini diyot parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek için geliştirilen Cheung ve Norde fonksiyonları kullanıldı.

Cheung yöntemini kullanılarak $dV/d\ln(I)-I$ grafiğinden seri direnç R_s , Al/p-Si için 112,92 Ω , Al/N-F Nft/p-Si/Al için 55,678 Ω , Al/N-T Nft/p-Si/Al için 37,06 Ω bulundu. $H(I)-I$ grafiğinden ise seri direnç R_s , Al/p-Si için 135,030 Ω Al/N-F Nft/p-Si/Al için 44,610 Ω , Al/N-T Nft/p-Si/Al için 36,556 Ω bulundu. Bu iki grafikten elde edilen değerler birbirine yakın değerlerdir. Cheung fonksiyonlarıyla bulunan n ve Φ_B değerleri, I-V ölçümlerinden bulunan değerlerden farklıdır. Farklılığın sebebi iki yöntemde kullanılan değerlerin farklı bölgelerden elde edilmesidir. I-V yönteminde grafiğin doğrusal bölgesinden bulunurken, Cheung yönteminde yüksek gerilimlerde grafiğin büküldüğü bölgeden elde edilir. Farklılığın bir sebebi de idealite faktörünün uygulanan gerilime bağlılığıdır [117].

Norde yöntemi kullanılarak Schottky diyotun engel yüksekliği Φ_B ve seri direnç R_s değerleri bulundu. Al/p-Si/Al için engel yüksekliği $\Phi_B = 0,699$ eV, seri direnç $R_s = 144,325$ Ω , Al/N-F Nft/p-Si/Al için engel yüksekliği $\Phi_B = 0,742$ eV, seri direnç

$R_s = 162,396 \Omega$, Al/N-T Nft/p-Si/Al, için engel yüksekliği $\Phi_B = 0,666 \text{ eV}$, seri direnç $R_s = 189,083 \Omega$ olarak hesaplandı. Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların Norde grafikleri literatürdeki grafikler ile uyumludur [32, 50, 55, 59, 60, 65, 68, 75, 85, 88, 96].

Diğer yandan; Seri direnç Norde fonksiyonunda, Cheung fonksiyonlarında bulunana göre daha büyüktür. Bunun sebebi Norde fonksiyonları ln-V grafiğinin doğru beslem bölgesinin tamamına uygulanırken, Cheung fonksiyonları lnI-V grafiğinin doğru beslem bölgesinin, yüksek gerilim kısmındaki doğrusal olmayan bölgeye uygulanmaktadır. Ayrıca yüksek idealite faktör değeri, yüksek seri direnç değerine neden olabilir. Bu da seri direncin ürettiğimiz diyot için akımı sınırlayıcı bir faktör olduğunu gösterir. Genellikle seri direncin etkisi bir diyodun gövde direnci ve bir R_s direncinin seri kombinasyonu olarak tanımlanır. Bir diyottaki gerilim düşüşü, diyot ve R_s direncinde düşen toplam gerilim terimiyle ifade edilir. Çok yüksek seri direnç, daha yüksek düz beslem gerilimlerinde meydana gelen organik ince filmi içerisine doğru uzay yükü enjeksiyonundan dolayı üstel olarak artan I akımının azalmasına bağlanabilir. Dolayısıyla, Norde yöntemi yüksek idealiteye sahip doğrultucu kontakların incelenmesinde uygun bir model olmayabilir. Burada akımın tünelleme gibi başka bir mekanizmayla kontrol edilmeye başlandığı da söylenebilir. Çünkü tünelleme işlemi özellikle ince arayüzey tabakaları için önemlidir. İdealite faktörü artışının arayüzey tabakası boyunca gerilim düşmesinden kaynaklandığı düşünülür [10].

I-V ölçümleri kullanılarak Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al ve Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky diyotların arayüzey durumlarının enerji dağılımları Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Grafikler literatür ile uyumluluk göstermektedir [31, 36, 41, 42, 72, 73, 92, 114].

Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümlerinden, Al/p-Si/Al için N_A değeri $3,254 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, V_D değeri $-1,157 \text{ V}$, W_D değeri $2,546 \text{ nm}$, C_{ox} değeri $7,202 \times 10^{-10} \text{ F}$, N_{ss} değeri $1,082 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} / \text{ cm}^{-2}$, Al/N-F Nft/p-Si/Al için N_A değeri $6,336 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, V_D değeri $0,944 \text{ V}$, W_D değeri $1,394 \text{ nm}$, C_{ox} değeri $8,123 \times 10^{-9} \text{ F}$, N_{ss} değeri $2,653 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} / \text{ cm}^{-2}$ ve Al/N-T Nft/p-Si/Al için N_A değeri $2,450 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, V_D değeri $1,405 \text{ V}$, W_D değeri $43,692 \text{ nm}$, C_{ox} değeri $1,924 \times 10^{-9} \text{ F}$, N_{ss} değeri $1,403 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} / \text{ cm}^{-2}$, olarak bulundu.

Kapasite gerilim ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği değeri akım gerilim ölçümlerinden elde edilen değerden daha büyüktür. Bu durum yarıiletkendeki tuzak seviyeleri, arayüzey tabakasının varlığı ve engelin homojen olmayışından kaynaklanmaktadır [118, 119]. I-V ve C-V ölçümlerinin birbirinden farklı çıkmasının nedeni ölçüm tekniklerinin farklı olmasıdır. Metal yarıiletken arayüzeyinin homojen olmayışı akım gerilim karakteristiğinden elde edilen görünür Schottky engel yüksekliğini etkilemektedir. Çünkü arayüzey tabakası boyunca akan akım Schottky engel yüksekliğine üstel olarak bağlıdır ve bundan dolayı da akım engel dağılımına bağlıdır. C-V metodundan elde edilen engel yüksekliği ise Schottky engel yüksekliklerinin ortalama bir değerini kapsamaktadır.

Sonuç olarak Al/p-Si/Al Schottky diyot ve Al/N-F Nft/p-Si/Al, Al/N-T Nft/p-Si/Al organik Schottky diyotları başarıyla üretildi. I-V ve C-V özellikleri farklı yöntemler kullanılarak analiz edilip, karşılaştırıldı. p-Si alttaş üzerine büyütülen organik naftalimit iyi bir doğrultucu özellik göstermiştir. Organik naftalimit metal-yarıiletken arayüzeyinde düzenleyici olarak kullanılabilir. Bundan sonraki araştırmalarda organik naftalimit malzeme farklı alttaş üzerine farklı kontaklar alınarak, farklı sıcaklıklarda, farklı kalınlıklarda büyütülerek veya yaşlanmaya bırakılarak diyot parametreleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Sze, S. M. and Ng, K. K. (2007). *Physics of semiconductor devices (Third edition)*. America: Wiley-interscience, 134-159.
2. Sharma, B. L. (Edited by). (1984). *Metal-semiconductor Schottky barrier junctions and their applications*. New York: Plenum Press, 1-42.
3. Rhoderick, E. H. and Williams, R.H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts (Second Edition)*. Oxford: Clarendon Press), 1-41.
4. Aydoğan, Şakir. (2014). *Katıhal fiziği (2.Basım)*. Ankara: Nobel Yayınevi, 29-303.
5. Neamen, D.A. (2012). *Yarıiletken fiziği*. (çev. M. Sağlam ve A. Ateş). İstanbul: Aktif Yayınevi, 152-484.
6. Nıcollian, E. H. and Brews J.R. (1982). *MOS (Metal oxide semiconductor) physics and technology*. America: A wiley-interscience publication, 13-226.
7. Xiao, H. (2012). *Introduction to semiconductor manufacturing technology (Second Edition)*. USA: SPIE, 1-4.
8. Bozkurt, H. (2009). *Metal-Yarıiletken Kontaklarda Kapasitenin Arayüzey Hallerine Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2.
9. Norde, H. (1979). A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50(7), 5052-5053.
10. Cheung, S.K., and Cheung N.W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.* 49(2), 85-87.
11. Güler, G., Güllü, Ö., Karataş, Ş., and Bakkaloğlu, Ö.F. (2009). Analysis of the series resistance and interface state densities in metal semiconductor structures, *Journal of Physics: Conference Series*, 153, 1-7.
12. Keleş, İ. (2008). *Al/p-Si Schottky Diyotlarında MS ve MOS Yapılarda Diyod Parametrelerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 32-33.
13. Bulgurcuoğlu, A. E. (2008). *Cr/Si Schottky Eklemlerin Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-60.
14. Akgül, K. B. (2015). *Aynı Şartlar Altında Üretilen Özdeş Au/n-Si (100) Schottky Diyotlarda Karakteristik Parametrelerin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 33-51.

15. Çuha, B. (2010). *Au/n-Si (111) Schottky Kontakların Elektiriksel Karakteristiklerinin Geniş Bir Sıcaklık Aralığında İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 46-74.
16. Korucu, D. (2009). *InP bazlı Schottky Diyotlarda I-V, C-V, DLTS Çalışmaları*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 56-60.
17. Varlıbaş, B. (2006). *Metal/n-Si/Au-Sb Schottky Diyot Yapılarında I-V Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 25-51.
18. Sharma, G. D., Sangodkar, S. G., and Gupta, S. K. (1998). Charge transport mechanism and photovoltaic behaviour of undoped and I2 doped tris (1,10 phenanthroline) iron (II) complex (TPFe) thin film devices. *Journal of materials science:materials in electronics*, 9, 9-15.
19. Kutluca, H. (2007). *Schottky Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-54.
20. Giri, P., and Chakrabarti, P. (2016). Effect of Mg doping in ZnO buffer layer on ZnO thin film devices for electronic applications. *Superlattices and Microstructures*, 93, 248-260.
21. Akdağ, A. (2013). *CuInSe2 Yarıiletkenin Elektrokimyasal Yöntemle Büyütülmesi ve Au/CuInSe2/p-Si/Al Schottky Yapısının I-V (akım-gerilim) ve C-V (kapasite-gerilim) Ölçüleriyle Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 43-56.
22. Sharma, G.D., Sangodkar, S.G., and Roy, M.S. (1996). Effect of rare-earth doping on the electrical and photoelectrical properties of furazano [3,4-b]piperazine (FP) thin-film devices. *Synthetic Metals*, 80, 249-256.
23. Kaya, İ. (2010). *Metal-Yarıiletken Schottky Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin Frekans ve Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-65.
24. Moraki, K. (2015). *Au/C20H12/n-Si Schottky Engel Diyotların(SBS) Elektriksel Karakteristiklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23-43.
25. Bilgen, B. (2010). *Au/TIGaSe2/Ag Schottky Diyotlarının Yapılması ve Elektriksel Özellikleri*, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 44-47.
26. Karataş, Ş., Altındal, Ş., Türüt, A. and Özmen, A. (2003). Temperature dependence of characteristic parameters of the H-terminated Sn/p-Si (100) Schottky contacts. *Applied Surface Science*, 217, 250–260.

27. Ersöz, G. (2015). *Organik Arayüzeyli Schottky Diyotların Hazırlanması, Elektriksel ve Dielektrik Özelliklerinin Geniş Bir Frekans Aralığında İncelenmesi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 34-49.
28. Tataroğlu, A., Al-Sehemi, A.G., Özdemir, M., Özdemir, R., Usta, H., Al-Ghamdi, A.A., Farooq, W.A. and Yakuphanoglu, F. (2017). Frequency and electric field controllable photodevice: FYTRONIX device. *Physica B*, 519, 53–58.
29. Gözen, M. (2017). *Organik (1,4-m-diamin) Arayüzeyli n-Si Schottky Diyotun Elektriksel Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl, 26-39.
30. Aydın, M. G. (2016). *Ag/Grafen Oksit-Polimer/p-Si Schottky Diyotların Elektriksel ve Dielektrik Karakteristiklerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 17-30.
31. Sağlam, M., Biber, M., Çakar, M. and Türüt, A. (2004). The effects of the ageing on the characteristic parameters of polyaniline/p-type Si/Al structure. *Applied Surface Science*. 230, 404–410.
32. Al-Ta'ii, H. M. J., Periasamy, V. and Amin, Y.M. (2015). Electronic Properties of DNA-Based Schottky Barrier Diodes in Response to Alpha Particles. *Sensors*, 15, 11836-11853.
33. Ucar, N., Ozdemir, A. F., Calik, A. and Kokce, A. (2011). Hydrostatic pressure effect on the electrical properties of Al/conducting polymer (P3DMTPT)/p-Si/Al structure. *Superlattices and Microstructures*, 49, 124-131.
34. Fiat, S. (2006). *Mn/p-Si Schottky Diyotunun Hidrostatik Basınç Altında I-V Karakterizasyonu*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 47-54.
35. Bayram, A. (2010). *Al/p-Si/Al Schottky Diyotlarında I-V, C-f, C-V Karakteristiklerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 23-30.
36. Lapa, H. E. (2014). *Au/POLİ(3-Sübsitüetiyofen)(P3DMTFT)/n-GaAs Schottky Kontakların Fotovoltaik ve Elektriksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 31-49.
37. Çekinmez, A. (2015). *Metil Mavisi ve Metil Yeşili Organik Bileşenli Schottky Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 47-64.
38. Allen, N. S. (Edited by). (2010). *Photochemistry and photophysics of polymer materials*. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 309.
39. Boy, F. (2013). *Organik Arayüzeyli GaAs Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 20-40.

40. Güllü, Ö., (2009). Impedance and Interface Properties of Al/Methyl-Red/p-InP Solar Cell. *International Journal of Photoenergy*, 374301, 1-7.
41. Kılıçoğlu, T., Aydın, M. E. and Ocak, Y. S. (2007). The determination of the interface state density distribution of the Al/methyl red/p-Si Schottky barrier diode by using a capacitance method. *Physica B*, 388, 244–248.
42. 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, 967–970.
43. Ocak, Y. S. (2006). *Al/Metil kırmızısı/p-Si Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 31-33.
44. Campos, M., Bulhoes, L. O. S. and Lindino C. A. (2006). Gas-sensitive characteristics of metal /semiconductor polymer Schottky device. *Sensors and Actuators*, 87, 67–71.
45. Aydoğan, Ş., Sağlam, M. and Türüt, A. (2005). On the barrier inhomogeneities of polyaniline/p-Si/Al structure at low temperature. *Applied Surface Science*, 250, 43–49.
46. Hamad Ameen, R. H. (2016). *Organik (Metil Moru) Arayüzey Tabakanın Sn/p-Si/Al Schottky Diyotlarının Elektriksel Karakteristikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 34-37.
47. Bandyopadhyay, S., Bhattacharyya, A. and Sen, S. K. (1999). Measurements and modelling of the barrier heights and ideality factors in the metal/conducting polymer composite Schottky device. *Journal of Applied Physics*, 85 (7), 3671-3676.
48. Aydın, M. E., Kılıçoğlu, T., Akkılıç, K. and Hoşgören, H. (2006). The calculation of electronic parameters of an Au/ β -carotene/n-Si Schottky barrier diode. *Physica B*, 381, 113–117.
49. Çaldıran, Z. (2013). *Au/Antrakinon/p-Si/Al Schottky Diyodun Temel Karakteristik Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı I-V (Akım-Voltaj) ve C-V (Kapasite-Voltaj) Ölçümlerinden Tayin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 56-63.
50. Güllü, Ö., Kılıçoğlu, T. and Türüt, A. (2010). Electronic properties of the metal/organic interlayer/inorganic semiconductor sandwich device. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 71, 351–356.
51. Özdemir, A. F., Aldemir, D. A., Kökce, A. and Altındal, S. (2009). Electrical properties of Al/conducting polymer (P2ClAn)/p-Si/Al contacts. *Synthetic Metals*, 159, 1427–1432.

52. Sarıyıldız, A., Vural, Ö., Evecen, M. and Altındal, Ş. (2014). Single Gaussian distribution of barrier height in Al/PS–ZnPc/p-Si type Schottky barrier diode in temperature range of 120–320 K. *J Mater Sci: Mater Electron*, 25, 4391–4397.
53. Soylu, M., Yahia, I. S., Yakuphanoglu, F. And Farooq, W. A. (2011). Modification of electrical properties of Al/p-Si Schottky barrier device based on 2'-7'-dichlorofluorescein. *Journal of Applied Physics*, 110, 074514 (1-9).
54. Kılıçoğlu, T., Aydın, M. E., Topal, G., Ebeoğlu, M. A. and Saygılı, H. (2007). The effect of a novel organic compound chiral macrocyclic tetraamide-I interfacial layer on the calculation of electrical characteristics of an Al/tetraamide I/p-Si contact. *Synthetic Metals*, 157, 540–545.
55. Güllü, Ö. and Türüt, A. (2009). Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structures. *Journal of Applied Physics*, 106, 103717 (1-6).
56. Güllü, Ö., Asubay, S., Aydoğan, Ş. and Türüt, A. (2010). Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device. *Physica E*, 42, 411–416.
57. Erbilgen Tanrikulu, E., Altındal, Ş. and Azizian-Kalandaragh, Y. (2018). Preparation of (CuS–PVA) interlayer and the investigation their structural, morphological and optical properties and frequency dependent electrical characteristics of Au/(CuS–PVA)/n-Si (MPS) structures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 11801–11811.
58. Gencer Imer, A., Tombak, A. and Korkut, A. (2017). Effect of Illumination on the Photovoltaic Parameters of Al/p-Si Diode with an Organic Interlayer Prepared by Spin Coating Method. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 153-157.
59. Duman, S., Ozcelik, F. S., Gürbulak, B., Gülbahar, M. and Turut, A. (2015). Current–Voltage and Capacitance–Conductance–Voltage Characteristics of Al/SiO₂/p-Si and Al/Methyl Green (MG)/p-Si Structures. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46, 347-353.
60. Yıldırım, N., ve Durumlu, E. (2017). Ag/Azure A/n-Si Schottky diyodun elektriksel ve fotovoltajik özelliklerinin araştırılması. *Türk doğa ve fen dergisi*, 6(1), 1-6.
61. Akkılıç, K., Uzun, İ., and Kılıçoğlu, T. (2007). The calculation of electronic properties of an Ag/chitosan/n-Si Schottky barrier diode. *Synthetic Metals*, 157, 297–302.
62. Huang, W. C., and Chen, C. C. (2011). Electrical characteristics and inhomogeneous barrier analysis of Al/NPB/p-Si Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 88, 287–292.
63. Gupta, R. K., and Singh, R. A. (2005). Junction properties of Schottky diode based on composite organic semiconductors. *Journal of materials science materials in electronics*, 16, 253– 256.

64. Chen, L., Deng, J., Gao, H., Yang, Q., Kong, L., Cui, M. and Zhang, Z. (2016). Ellipsometric study and application of rubrene thin film in organic Schottky diode. *Applied Surface Science*, 388, 396–400.
65. Çaldıran, Z., Deniz, A. R., Aydoğan, Ş., Yesildag, A. and Ekin, 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.
66. Kaçuş, H. (2014). *Au/Antrasen/n-Si/Al Schottky Diyodun Temel Karakteristik Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı I-V (akım-voltaj) ve C-V (kapasitans-voltaj) Ölçümlerinden Tayin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 30-35.
67. Pakma, O., Çavdar, Ş., Koralay, H., Tuğluoğlu, N. and Yüksel, Ö. F. (2017). Improvement of diode parameters in Al/n-Si Schottky diodes with Coronene interlayer using variation of the illumination intensity. *Physica B*, 527, 1–6.
68. Tan, S. O., Tecimer, H. and Çiçek, O. (2017). Comparative Investigation on the Effects of Organic and Inorganic Interlayers in Au/n-GaAs Schottky Diodes. *IEEE transactions on elektron devices*, 64(3), 984-990.
69. Taşcıoğlu, İ. (2012). *Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) Schottky Engel Diyodun Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklık ve Radyasyona Bağlı İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 49-91.
70. Büyükbaş Uluşan, A., Tataroğlu, A., Azizian Kalandaragh, Y. and Altındal, Ş. (2018). On the conduction mechanisms of Au/(Cu₂O–CuO–PVA)/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes (SBDs) using current–voltage–temperature (I–V–T) characteristics. *J Mater Sci: Mater Electron*, 29, 159–170.
71. Güllü, Ö., Aydoğan, Ş. and Türüt, A. (2008). Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure. *Semiconductor science and technology*, 23, 1-5.
72. Gökce, A. (2015). *Poliyofen(P3DMTPT) Arayüzeyli Al/p-Si Schottky Diyodun Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj Karakteristikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 27-39.
73. Asimov, A. (2014). *Si Yarıiletkeni Üzerine İletken Polimer Kaplanarak Oluşturulmuş Schottky Diyotların Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 44-71.
74. Yaşar, S., Çekirdek, S., Ertekin Binbay, N., Tombak, A., Ocak, Y. S., Arslan, N., Baysal, A., Aydemir, M. and Durap, F. (2018). Electrical and photoelectrical characterization of organic-inorganic heterostructures based on Ru-N-heterocyclic carbene complexes. *Optik*, 156, 514–521.
75. Aydın, M. E., Soylu, M., Yakuphanoglu, F. and Farooq, W. A. (2011). Controlling of electronic parameters of GaAs Schottky diode by poly (3,4-ethylenedioxithiophene)

- block-poly(ethylene glycol) organic interlayer. *Microelectronic Engineering*, 88, 867–871.
76. Oruç, Ç. and Antındal, A. (2018). Comparative study of I–V methods to extract Au/FePc/p-Si Schottky barrier diode parameters. *Applied Physics A*, 124:81.
 77. Uğur, A. (2015). *Kinolin Sarısı Bileşenli Schottky Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 41-60.
 78. Kyokane, J., Aoyagi, R. and Yoshino, K. (1997). Application to electronic devices using organic thin films by ion-beam-evaporation method. *Synthetic metals*, 85, 1393–1394.
 79. Hu, Wenping., Liu, Y., Xu, Yu., Liu, S., Zhou, S. and Zhu, D. (1999). The application of Langmuir–Blodgett films of a new asymmetrically substituted phthalocyanine, amino-tri-tert-butyl-phthalocyanine, in diodes and in all organic field-effect-transistors. *Synthetic metals*, 104, 19–26.
 80. Çaldıran, Z., Aydoğan, Ş., Yesildag, A., Ekinci, D., Kurudirek, S. V. and Türüt, A. (2015). Temperature-dependent current–voltage measurements of Au/C9H7N/p-Si: Characterization of a metal–organic-semiconductor device. *Materials science in semiconductor processing*, 34, 58–64.
 81. Syed Abthagir, P. and Sarswathi, R. (2000). Junction properties of metal/polypyrrole Schottky barriers. *Journal of applied polymer*, 81, 2127–2135.
 82. Bolognesi, A., Di Carlo, A., Lugli, P., Kampen, T. and Zahn, D. R. T. (2003). Experimental investigation and simulation of hybrid organic/inorganic Schottky diodes. *Journal of physics: condensed matter*, 15, S2719–S2728.
 83. Güllü, Ö., Aydoğan, Ş. and Türüt, A. (2008). Fabrication and electrical characteristics of Schottky diode based on organic material. *Microelectronic engineering*, 85, 1647–1651.
 84. Ocak, Y.S., Kulakci, M., Kılıçoğlu, T., Turan, R. and Akkılıç, K. (2009). Current–voltage and capacitance–voltage characteristics of a Sn/Methylene Blue/p-Si Schottky diode. *Synthetic metals*, 159, 1603–1607.
 85. Aydoğan, Ş., İncekara, Ü. and Türüt, A. (2010). Determination of contact parameters of Au/Carmin/n-Si Schottky device, *Thin solid films*, 518, 7156–7160.
 86. Singh, A.K. and Prakash, R. (2012). Organic Schottky diode based on conducting polymer–nanoclay composite. *RSC advances*, 2, 5277–5283.
 87. Rajagopal Reddy, V. (2014). Electrical properties and conduction mechanism of an organic-modified Au/NiPc/n-InP Schottky barrier diode. *Applied physics A*, 116, 1379–1387.

88. Aslan, F., Güllü, Ö., Ocak, Y. S., Rüzgar, Ş., Tombak, A., Özaydın, C. and Pakma, O. (2015). Organik Arayüzey Tabakalı Al/CuPc /p-InP Kontakların Fabrikasyonu Ve Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi. *Batman Üniversitesi yaşam bilimleri dergisi*, 5(2), 263-275.
89. Sevgili, Ö. (2013). *Au/n-4H-SiC (MS) Schottky Diyotların Hazırlanması ve Elektriksel Karakteristiklerinin Frekansa Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16-32.
90. Çetinkaya, H. G. (2011). *Au/(Bi-katkılı) Polivinil Alkol/n-Si Schottky Engel Diyotlarının Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa ve Aydınlatma Şiddetine Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7.
91. Kittel, C. (2014). *Katı hal fiziğine giriş*. (Çev. G. Önengüt ve D. Önengüt). Ankara: Palme yayınevi. (6. Baskıdan çeviri), 494.
92. Güzel, T. (2015). *6H-SiC Tabanlı Schottky Diyotların Hazırlanması ve Geniş Sıcaklık Aralığında Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7- 87.
93. Bilkan, Ç. (2013). *Perilensiz ve Perilenli Al/p-Si Schottky Engel Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Oda Sıcaklığında Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-66.
94. Özavcı, E. (2014). *Au/n-GaAs Schottky Diyotların Hazırlanması ve Akım-iletim Mekanizmalarının Geniş Bir Sıcaklık Aralığında İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-16.
95. Streetman, B. G. and Banerjee, S. K. (2014). *Katı hal elektroniği devre elemanları*. (Çev. M. Merdan). Ankara: Palme Yayınevi. (6. baskıdan çeviri), 227-231.
96. Aydın, S. G. (2010). *Al/PNpCIPhPPy/p-Si/Al Kontakın Elektronik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta 4-39.
97. Vural, Ö. (2011). *Al/Rhodamine-101/n-GaAs Schottky Engel Diyotlarının Hazırlanması ve İletim Mekanizmalarının Geniş Bir Sıcaklık Aralığında İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 27.
98. Hill, W.A. and Coleman, C.C. (1979). A single-frequency approximation for interface-state density determination. *Solid-state electronics*, 23, 987-993.
99. Nalbant, A. (2012). *Cu-Katkılı Spin Kaplama Yöntemiyle Üretilmiş ZnO İnce Filmler*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 16-17.
100. Dönmez, M. (2015). *V2O5 İnce Filmlerin Yapısal, Morfolojik ve Optiksel Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 30.

101. Durak, G. (2010). *CoMnGe_{1-x}Ga_x Sistemlerin 0 ≤ x ≤ 0.1 Bileşikleri için Yapısal, Isısal, Manyetik ve Manyetokalorik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 51-52.
102. Aydemir, U. (2014). *Au/PVA:zn/n-Si (MPS) Yapıların Hazırlanması ve Temel Elektriksel Özelliklerinin Işık Altında İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 46.
103. Tercan, S. (2003). *Stereoskopik Fotoğrafın Evrim Süreci ve Günümüzdeki Uygulamalar*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2-95.
104. Ünal Baş, A. (2013). *Mikroskop Kullanımında Ortaöğretim Öğrencilerinin Öz Yeterlik İnançlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37.
105. Başyigit Kılıç, G. and Karahan, A. G. (2010). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy and Its Usage In Identification of Lactic Acid Bacteria. *GIDA*, 35 (6), 445-452.
106. Liu, J., Li, Y., Wang, Y., Sun, H., Lu, Z., Wu, H., Peng, J. and Huang, Y. (2012). Synthesis and luminescent properties of blue sextuple-hydrogen-bond self-assembly molecular duplexes bearing 4-phenoxy-1,8-naphthalimide moieties. *Optical Materials*, 34, 1535–1542.
107. Bilgili, A. K. (2015). *N-InP Yariletkeni İle Hazırlanan TiO2 Arayüzey Tabakalı Metal Yariletken Kontakların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 25.
108. Turut, A., Sağlam, M., Efeoglu, H., Yalcın, N., Yıldırım, M. and Abay, B. (1995). Interpreting the nonideal reverse bias C-V characteristics and importance of the dependence of Schottky barrier height on applied voltage. *Physica B*, 205, 41-50.
109. Uyar, R. E. (2016). *Silisyum nitrat arayüzey yalıtkan tabakalı MIS yapının elektrik ve dielektrik parametreleri üzerine gama radyasyonunun etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 61-79.
110. Castagne, R. and Vapaille, A. (1971). “Description of the SiO₂-Si interface properties by means of very low frequency MOS capacitance measurements”, *Surface Science*, 28(1): 157-193
111. Sezgin, Ş. (2011). *Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) yapıların kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) karakteristiklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40.
112. Akın, B. (2015). *Au/ZnO/n-GaAs (MIS) Schottky engel diyotların (SBDs) elektriksel karakteristiklerinin frekans ve voltaja bağlı incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 65.

113. Ocak, S. B., Selçuk, A. B., Kahraman G. and Selçuk, A. H. (2014). Electrical characteristics of a Schottky device based on maleic anhydride deposited on p-type silicon by spin coating technique. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 16 (7-8), 956-963.
114. Aydın, M. E., Yakuphanoglu, F., Eom, J. H. and Hwang, D. H. (2007). Electrical characterization of Al/MEH-PPV/p-Si Schottky diode by current–voltage and capacitance–voltage methods. *Physica B: Condensed matter*, 387, 239-244.
115. Barış, B., Yüksel, Ö. F., Tuğluoğlu, N. and Karadeniz, S. (2013). Double barrier heights in 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene (rubrene) based organic Schottky diode. *Synthetic Metals*, 180, 38-42.
116. Tung, R. T. (1992). Electron transport at metal semiconductor interface: General Teor. *Physical Review, B*, 45 (23), 13509.
117. Aldemir, D. A. (2007). *Al/P2ClAn(C2H5(COOH))/P-Si/Al Yapılarda Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Isparta, 45.
118. Özdemir, A. F., Türüt, A. and Kökce, A. (2003). The interface state energy distribution from capacitance–frequency characteristics of goldyn-type Gallium arsenide Schottky barrier diodes exposed to air. *Thin Solid Films*, 425, 210-215.
119. Sullivan, J. P., Tung R. T., Pinto M.R. and Graham W. R. (1991). Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers; a numerical study. *Journal of Applied Physics*, 70, 7403-7407.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAGÖZ, Emine
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 27.03.1983/Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 352 57 48
 e-mail : eminekaragoz@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Eğitimi	2016

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Bahar	Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Laboratuvar Öğr. Asistanı
2018-Güz	Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi	Laboratuvar Öğr. Asistanı
2018-Bahar	Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Laboratuvar Öğr. Asistanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Karagöz, E., Fiat Varol, S., Merdan, Z., Sayın, S. and Tataroğlu, A. (2018, 21-23 Eylül). *Frequency dependence of dielectric properties of Al/N-T Nft/p-Si/Al Structure*, WITAM-2018 International Congress on the world of technology and advanced materials, Kırşehir.

Karagöz, E., Fiat Varol, S., Merdan, Z., Sayın, S. and Öztürk, M.K. (2018, 21-23 Eylül). *Structural and morphological characteristics of Al/p-Si/Al, Al/N-F Nft/p-Si/Al and Al/N-T Nft/p-Si/Al Schottky barrier diodes*. WITAM-2018 International Congress on the world of technology and advanced materials, Kırşehir.

Hobiler

Tezhip, Ebru, Bilim tarihi.





GAZİ GELECEKTİR..