



T.C.

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AU/P3HT:F4-TCNQ/N-Sİ SCHOTTKY BARIYER DİYOTLARIN
F4-TCNQ KONSANTRASYONUNA BAĞLI $C-V$ VE $G/w-V$
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslıhan DANACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ÖZGE TÜZÜN ÖZMEN

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AU/P3HT:F4-TCNQ/N-Sİ SCHOTTKY BARIYER DİYOTLARIN
F4-TCNQ KONSANTRASYONUNA BAĞLI $C-V$ VE $G/w-V$
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aslıhan DANACI tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 21/11/2019



BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Aslıhan DANACI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Özge TÜZÜN ÖZMEN'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmamdaki deneylerin yapılması ve analizleri kısmındaki yardımları dolayısıyla H. Muzaffer ŞAĞBAN'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.05.02.596 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

Aslıhan DANACI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL YARIİLETKEN (MY) KONTAKLAR.....	2
2.1. İDEAL MY KONTAKLARDA ENGEL OLUŞUMU (SCHOTTKY-MOTT TEORİSİ)	3
2.2. METAL-YALITKAN/POLİMER-YARIİLETKEN (MY/MPY) SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI.....	7
2.3. İDEAL MY TİPİ SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI	7
2.3.1. Yığılma Bölgesi	10
2.3.2. Tüketim Bölgesi.....	11
2.3.3. Terslenim Bölgesi.....	11
2.4. MY YAPILARDA İDEAL DURUMDAM SAPMALAR	12
2.4.1. Arayüzey Durumları.....	12
2.4.2. Arayüzey Yükleri.....	14
2.4.3. Hareketli İyonlar	15
2.4.4. İyonlaşmış Tuzaklar.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. GİRİŞ.....	16
3.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI.....	18
3.2.1. Si Altaşın Hazırlanması	18
3.2.2. Omik Kantağın Oluşturulması.....	18
3.2.3. P3HT:F4-TCNQ Polimer Karışımın Hazırlanması ve Kaplanması.....	19
3.2.4. Doğrultucu Kantağın Oluşturulması.....	20
3.2.5. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri.....	21

4. BULGULAR VE TARTIşMA.....	22
5. SONUÇ	35
6. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİş.....	40



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. $\Phi_m > \Phi_s$ (doğrultucu kontak) için elektron enerji bant diyagramı: (a) kontak oluşmadan önce ve (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu.	4
Şekil 2.2. MY doğrultucu kontak için enerji bant diyagramı: (a) ısısal denge, (b) doğru beslem, (c) ters beslem durumu..	6
Şekil 2.3. MYY/MPY yapının şematik gösterimi.	7
Şekil 2.4. Gerilim uygulanmamış ($V=0$) durumdaki ideal bir MYY Schottky diyotun (a) p-tipi yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramı.	8
Şekil 2.5. MYY yapının kapasitans eşdeğer devresi.	9
Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MYY yapının enerji-bant şeması (a) Yığılım, (b) Tüketim ve (c) Terslenim.....	10
Şekil 2.7. İdeal MYY yapının (a) yığılıma, (b) tüketim ve (c) terslenim bölgelerinin eşdeğer devreleri.	12
Şekil 2.9. MYY Yapısının (a) bir enerji seviyesi ve (b) birbirinden farklı enerji seviyeleri için eşdeğer devresi.	14
Şekil 3.1. MPY SBD'nin şematik gösterimi.	17
Şekil 3.2. (a) P3HT ve (b) F4-TCNQ organiklerinin kimyasal yapıları.....	17
Şekil 3.3. Termal buharlaştırma kaplama sistemi.....	19
Şekil 3.4. Spin kaplama sistemi.....	20
Şekil 3.5. SEM kesit alanı ölçümü.	20
Şekil 3.6. Üretilen MPY SBD'lerin görünümü.	21
Şekil 3.7. Düşük ve orta frekans empedans analizmetresi.	21
Şekil 4.1. P3HT:F4-TCNQ yüzeyleri üzerinde kullanılan (a) %0,5 F4-TCNQ ve (b) %2 F4-TCNQ konsantrasyonunun SEM görüntüleri.....	22
Şekil 4.2. %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip P3HT:F4-TCNQ/n-Si yapısının kesitsel SEM görüntüsü.	23
Şekil 4.3. 1MHz'de Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'leri için F4-TCNQ konsantrasyon bağımlı kapasitans-voltaj karakteristiği.	24
Şekil 4.4. %0,5 ve %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerinin 1	

MHz’de frekansa bağı R_f - V karakteristiklerinin karşılaştırması.	25
Şekil 4.5. %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerinin frekansa bağı N_{ss} karakteristiği.....	27
Şekil 4.6. %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD’sinin frekansa bağı kapasitans-voltaj karakteristiği	28
Şekil 4.7. %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD’sinin frekansa bağı iletkenlik-voltaj karakteristiği.....	28
Şekil 4.8. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotunun oda sıcaklığında çeşitli frekanslar için diyot direnci (R_i) karakteristiği.	30
Şekil 4.9. Oda sıcaklığındaki Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotunun voltajın bir fonksiyonu olarak C^{-2} - V grafikleri.	31
Şekil 4.10. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotunun farklı frekanslardaki ϕ_B (C - V) ve N_D parametreleri.	33
Şekil 4.11. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotu için N_{ss} ve R_s ’nin farklı frekanslardaki varyasyonları.....	33

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına göre kontak yapısı.....	3
Çizelge 4.1. Çeşitli frekanslar için elde edilen N_{ss} , R_s , V_D , N_D , W_D , ϕ_B , $\Delta\phi_B$ ve E_F değerleri.....	32



KISALTMALAR

FET	Alan etkili transistörler
LED	Işık yayan diyotlar
MY	Metal-Yarıiletken
MPY	Metal-Polimer-Yarıiletken
MYY	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
OFET	Organik alan etkili transistörler
OLED	Organik ışık yayan diyotlar
OPD	Organik foto-diyot
OPV	Organik fotovoltaiikler
SBD	Schottky Bariyer Diyot
TFT	İnce film transistörler

SİMGELER

A	Doğrultucu kontak alanı
ac	Alternatif akım
Ag	Gümüş Au Altın
$\text{\AA}$	Angstrom
C	Kapasitans
C_{ox}	Yalıtkan tabakanın oluşturduğu kapasitans
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
$C-V$	Kapasitans-voltaj
dc	Doğru akım
E_C	İletkenlik bant kıyısı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_g	Yasak bant aralığı
E_m	Maksimum elektrik alan
d	Arayüzey tabakanın kalınlığı
G	İletkenlik
$G/\omega-V$	İletkenlik-voltaj
I	Akım
I_0	Doyum akımı
$I-V$	Akım-voltaj
N_C	İletkenlik bandındaki etkin durumların yoğunluğu
N_D	Donör atomların yoğunluğu
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
q	Elektron yükü

qV_i	Yarıiletken den metale geen elektronların aşıması gereken potansiyel engeli
R_s	Seri diren
R_{sh}	Şant diren
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık
V	Gerilim
V_F	Doğru beslem
V_i	Kontak potansiyel farkı
V_R	Ters beslem voltaj
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
χ_s	Elektron yakınlığı
W_D	Tüketim tabakasının genişliği
Φ_{B0}	Bariyer yüksekliği

ÖZET

AU/P3HT:F4-TCNQ/N-Sİ SCHOTTKY BARIYER DİYOTLARIN F4-TCNQ KONSANTRASYONUNA BAĞLI $C-V$ VE $G/w-V$ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aslıhan DANACI

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Özge TÜZÜN ÖZMEN

21/11/2019, 40 Sayfa

Son yıllarda optoelektronik teknolojisinde organik malzemeler kullanılarak üretilen aygıtlar dikkat çeken alanlardan biri haline gelmiştir. Organik elektronik aygıtlarda kullanılan organik yarıiletkenlerin mekanik olarak esnek olmaları, yüzey üzerine basit tekniklerle büyütülebilmeleri ve sentezlemelerindeki çeşitliliğin çok olması nedeniyle çok tercih edilen malzemelerdir. Organik yarıiletken malzemeler kullanılarak elde edilen aygıtlar fonksiyonlarına göre organik ışık yayan diyot (OLED), organik ince film transistörler (OTFT) ve Schottky bariyer diyot (SBD) olarak sınıflandırılabilirler. Elektronik ve optoelektronik uygulamalardaki öneminden dolayı sıkça kullanılan Schottky bariyer diyotlar, doğru beslemde diğer diyotlara göre daha düşük gerilim değerinde dahi kolaylıkla ilettime geçebilmeleri, gürültü seviyelerinin düşük ve verimlerinin yüksek olması gibi avantajları dolayısıyla teknolojik alanda sürekli olarak ihtiyaç duyulan malzemelerdir. Metal-polimer-yarıiletken (MPY) SBD'ların üretiminde kullanılan polimer arayüzeyde polimer seçimi oldukça önemli olup bu polimerlerin yüksek iletkenliğe sahip, mekanik olarak dayanıklı ve hava ortamında kararlı olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu içeren Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si metal-polimer-yarıiletken (MPY) Schottky bariyer diyotlarının (SBD) elektriksel özellikleri, kapasitans-voltaj ($C-V$) ve iletkenlik-voltaj ($G/w-V$) ölçümleri ile araştırılmıştır. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerin $C-V$ ve $G/w-V$ analizleri geniş frekans aralığında (10 kHz – 2 MHz) ve -10,0 V'dan +10,0 V'a voltaj aralığında yapılmıştır. F4-TCNQ konsantrasyonunun fonksiyonu olarak $C-V$ ve $G/w-V$ ölçümlerini kullanarak, seri

direnç (R_s) ve arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) hesaplanmıştır. %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyot, daha düşük kapasitans, daha düşük seri direnç, daha yüksek şönt direnci ve daha düşük N_{ss} gibi daha iyi elektriksel sonuçlar vermiştir. Bu yüzden, daha detaylı $C-V$ ve $G/w-V$ analizleri sadece %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyot için gerçekleştirilmiştir. Difüzyon potansiyeli (V_D), donör konsantrasyonu (N_D), tüketim tabakasının genişliği (W_D), bariyer yüksekliği (Φ_B), Fermi enerji seviyesi (E_F), maksimum elektrik alan (E_m) ve Schottky bariyer düşmesi ($\Delta\Phi_B$) değerleri, %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD için C ve G/w ölçümleri ile elde edilmiştir. Sonuç olarak, frekans arttığında seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğu da artmıştır. Sonuç olarak, F4-TCNQ konsantrasyonunun Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerin elektriksel özellikleri üzerine önemli etkileri olduğu sonucuna varılabilir. İlave olarak, R_s ve N_{ss} değerleri Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerin $C-V$ ve $G/w-V$ profillerini doğrudan etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler F4-TCNQ konsantrasyonu, Frekans ve voltaj bağımlılığı, $C-V$ ve $G/w-V$ analizi, Arayüzey durumlarının yoğunluğu, Seri direnç

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF F4-TCNQ CONCENTRATION DEPENDENT $C-V$ AND $G/w-V$ CHARACTERISTICS OF AU/P3HT:F4-TCNQ/N-SI SCHOTTKY BARRIER DIODES

Aslıhan DANACI

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences,

Department of Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özge TÜZÜN ÖZMEN

21/11/2019, 40 pages

In recent years, devices produced using organic materials in optoelectronic technology have become one of the attractive areas. Organic semiconductors used in organic electronic devices are highly preferred because they are mechanically flexible, they can be grown on the surface with simple techniques and they have wide variety of syntheses. Devices obtained using organic semiconducting materials can be classified as organic light emitting diodes (OLED), organic thin film transistors (OTFT) and Schottky barrier diodes (SBD) according to their functions. Schottky barrier diodes, which are often used because of their importance in electronic and optoelectronic applications, are materials that are constantly needed in the technological space due to their advantages such as they can easily conduct even at lower voltage values than other diodes in the right supply, and they have low noise levels and high yields. The choice of polymer at the polymer interface used in the production of metal-polymer-semiconducting (MPS) SBDs is very important, and these polymers must be highly conductive, mechanically stable and stable in the air environment.

In this study, the electrical properties of Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si metal-polymer-semiconductor (MPS) Schottky barrier diodes (SBDs) with 0.5% and 2% F4-TCNQ concentrations were investigated using capacitance-voltage ($C-V$) and conductance-voltage ($G/w-V$) measurements. The $C-V$ and $G/w-V$ measurements of Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si

MPS SBDs were performed in the large frequency range (10 kHz – 2 MHz) and in the voltage range from -10.0 V to +10.0 V. By using C - V and G/w - V measurements as a function of F4-TCNQ concentration, series resistance (R_s) and interface states (N_{ss}) were calculated. 2% F4-TCNQ concentration used diode yielded better electrical results, such as lower capacitance, lower series resistance, higher shunt resistance and lower N_{ss} . Because of this, detailed C - V and G/w - V analysis were performed only for 2% F4-TCNQ concentration used diode. Diffusion potential (V_D), doping concentration of donors (N_D), depletion layer width (W_D), barrier height (Φ_B), Fermi energy level (E_F), maximum electric field (E_m) and Schottky barrier lowering ($\Delta\Phi_B$) values were obtained for 2% F4-TCNQ concentration used Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD with C and G/w measurements. As a result, when frequency increased, the series resistance and density of interface states decreased. Finally, it can be concluded that the concentration of F4-TCNQ has a great effect on the electrical properties of the Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBDs. Additionally, the values of R_s and N_{ss} directly affected the C - V and the G/w - V profiles of Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBDs.

Keywords F4-TCNQ concentration, Frequency and voltage dependence, C - V and G/w - V analysis, Density of interface states, Series resistance

1. GİRİŞ

Metal ve yarıiletken malzemelerin bağlantı oluşturması ile ortaya çıkan sistem 1874 yılında Braun tarafından keşfedilmiştir [1]. Bunun devamı yapılan faaliyetler sonucunda metal ve yarıiletken bağlantıların bant kuramına uygun tertiplenerek doğrultma mekanizması üstüne çalışmalar yapılmıştır [2]. Bunların ardından yapılan çalışmalarla Schottky Bariyer Diyot (SBD)'ların üretimi yapılabilmış olup metal/yarıiletken (MY) ve metal/yalıtkan/yarıiletken (MY) bağlantıların iletim mekanizması gösterilmiştir [3],[4]. Son dönemlerde bununla ilgili deneysel ve teorik pek çok çalışma yapılmaktadır [1]-[11].

Işık oluşturan diyotlar (LED), Si tabanlı alan etkili transistörler (FET) ve ince film transistörler (TFT) gibi optoelektronik ve elektronik teknolojisinde inorganikler aktif malzeme olarak kullanılmaktadırlar [2]. Diğer yandan, organik malzemelerin üretim aşamalarının kolaylığı, maliyetlerinin daha az olması ve kullanım alanlarının fazla olması gibi avantajları dolayısıyla elektronik ve optoelektronik teknolojilerinde inorganik malzemeler yerine organik malzemelerin tercih edilmeye başlamıştır [5]. Bu sebeplerden dolayı son zamanlarda pek çok yarıiletken malzemenin üretiminde inorganik malzemelerin kullanımı yerini organik içerikli malzemelere bırakmıştır. Günümüzde organik malzemeyle imal edilen cihazların en fazla tercih edilenleri, organik ışık üreten diyotlar (OLED), organik alanlı transistörler (OFET), organik fotodiyotlar (OFD), organik fotovoltaiikler (OFV) ve Schottky Bariyer Diyotlar (SBD)'dir [12].

SBD'lar bugünün elektronik cihazlarında en çok tercih edilen aygıtlardan biridir. Gösterdikleri yüksek performansın yanı sıra yüksek frekanslarda dahi hızlı anahtarlama kabiliyetlerinden dolayı önemli görölmektedirler [5]. Organik teknolojinin ilerlemesi diyotlarda organik temelli malzeme kullanarak üretilmeye başlanmıştır. SBD'ler de organik içerikli malzemeyle üretilerek performansları üst düzeye çıkarılabilmektedir [12].

Diyotlar, yüksek frekansa maruz kaldıklarında gerilim değişimi baskılarına karşılık verememektedirler. Başka bir deyişle frekans artırıldığında iletimden-yalıtıma ya da yalıtımdan-ilettime geçiş yapamazlar. Fakat SBD'ler alt frekanslardan üst frekanslara kadar yani bütün aralıklarda maruz kaldıkları gerilimlere çok çabuk karşılık verebilmektedirler. SBD'nin bir diğer özelliği ise başka tip diyotlar ile kıyaslandığında seri halde ilettime daha

düşük ileri besleme gerilimi ile geçebilmeleridir. Diğer yandan, SBD’lerde azınlık taşıyıcıları az görüldüğünden ters yön akımları daha küçük olmaktadır. Bu nedenle SBD’lerin verimleri diğer diyotlara göre fazladır [1].

MY kontak yapısı Schottky bariyer diyot şeklindedir. Metal ve yarıiletken arasında ince bir polimer katman olması durumunda ise yapı, metal/polimer/yarıiletken (MPY) SBD olarak adlandırılır. MPY SBD’nin oluşumunda kullanılan değişik yarıiletkenler ile arayüzey katmanı olarak değerlendirilen organik malzemeler, MPY SBD’nin elektriksel karakteristiğini fazlasıyla etkilemektedir [1],[2]. Bu sebeple, özellikle son zamanlarda MPY tipi SBD’lerle ilgili yapılan çalışmalar hem teorik hem de deneysel alanlarda oldukça yoğunluk kazanmıştır. MPY yapıların MY ve MYY’ye kıyasla daha fazla tercih edilmesinin en önemli nedenleri ise; organik arayüzey tabakanın kolay üretim teknikleri, farklı içerik ve konsantrasyondaki polimer malzemelerin kolay bir biçimde üretilip SBD’nin yüzeyine kolayca kaplanabilmesi ve bunun yanı sıra polimer malzemenin yarıiletkenin arayüzey durumlarını çok daha etkili bir biçimde pasivize etmesidir.

Toplam altı ana bölümden oluşan bu tez çalışmasında ilk bölümde kısa bir girişle tez konusu açıklanırken ikincide MY kontakların seçilme nedeni ve çalışma prensibi ele alınmıştır. Üçüncü bölümde ise tezde faydalanılan MPY gereçlerin hazır hale getirilmesi ve değerlendirmeler için faydalanılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan deneylerdeki kazanımlar ve sonuçlar yer almaktadır. Beşinci bölümde de elde edilen sonuçlar detaylı bir biçimde değerlendirilerek literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise bu tez çalışmasında kullanılan kaynakların sıralı listesi yer almaktadır.

2. METAL YARIİLETKEN (MY) KONTAKLAR

MY kontak SBD yapıdadır. MY kontaklar doğrultucu ve omik kontaklar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kontak oluşturulurken kullanılan metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonları, meydana gelen kontağın omik ya da doğrultucu olmasını belirleyen unsurdur. Kullanılan metalin iş fonksiyonu (Φ_m) yarıiletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) büyük ise n-tipi, küçük ise p-tipi yarıiletken üzerine doğrultucu kontak yapılır. Metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engel oluşmadan taşıyıcıların metalden yarıiletkene kolayca geçmesini omik kontak ile mümkündür. Omik kontak hazırlamak için doğrultucu kontağın tersine n-tipi yarıiletkende $\Phi_s > \Phi_m$, p-tipi yarıiletkende ise $\Phi_m > \Phi_s$ olmalıdır.

Çizelge 2.1. Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına göre kontak yapısı.

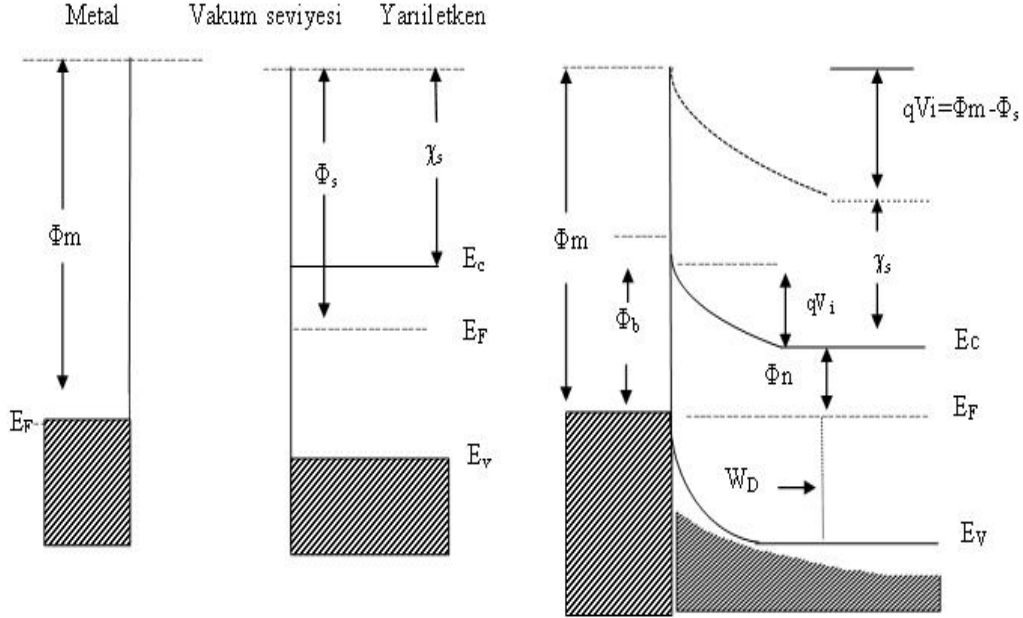
	n-tipi yarıiletken	p-tipi yarıiletken
Doğrultucu Kontak	$\Phi_m > \Phi_s$	$\Phi_s > \Phi_m$
Omik Kontak	$\Phi_s > \Phi_m$	$\Phi_m > \Phi_s$

2.1. İDEAL MY KONTAKLARDA ENGEL OLUŞUMU (SCHOTTKY-MOTT TEORİSİ)

Schottky-Mott teorisine göre metal yarıiletken kontak oluşturulduğunda metal ile yarıiletken arasında yüklerin birbirinden ayrışması sonucu potansiyel bir bariyer meydana gelir. Bu teoriye göre kullanılan malzemelerin iş fonksiyonlarının farklı olmasından dolayı bu bariyer meydana gelir [4]. Şekil 2.1’de Φ_m iş fonksiyonlu metal ile Φ_s iş fonksiyonlu bir yarıiletkenin doğrultucu kontak durumundaki enerji bant diyagramı gösterilmektedir. Fermi enerji seviyesinde bulunan bir elektronun koparılıp vakum seviyesine çıkarılması için gerekli enerji miktarı Φ_m (metal iş fonksiyonu) ile ifade edilir. Aynı şekilde Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu da Fermi seviyesindeki bir elektronun vakum seviyesine

çıkarılması için gerekli enerjidir. Gözden kaçırılmaması gereken yarıiletkenlerdeki Fermi seviyesi katkı atom yoğunluğuna bağlı olarak değişebilen bir parametredir.

Yarıiletkenlerde elektron yakınlığı (χ_s) Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. $\Phi_m > \Phi_s$ (doğrultucu kontak) için elektron enerji bant diyagramı: (a) kontak oluşmadan önce ve (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu.

Fermi enerji seviyesinde bulunan bir elektronun koparılıp vakum seviyesine çıkarılması için gerekli enerji miktarı Φ_m (metal iş fonksiyonu) ile ifade edilir. Aynı şekilde Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu da Fermi seviyesindeki bir elektronun vakum seviyesine çıkarılması için gerekli enerjidir. Gözden kaçırılmaması gereken yarıiletkenlerdeki Fermi seviyesi katkı atom yoğunluğuna bağlı olarak değişebilen bir parametredir. Şekil 2.1'deki χ_s parametresi yarıiletkenlerde elektron yakınlığını göstermektedir. Yarıiletken maddelerde iletkenlik bantının en üst seviyesinde bulunan bir elektronu vakum seviyesine yükseltmek için gereken enerji miktarına elektron yakınlığı denir.

Şekil 2.1(a)'da daha kontak oluşmadan önceki bant yapısı görülmekte olup enerji bantlarında herhangi bir bükülme saptanmamıştır. Şekil 2.1(b)'de ise metal yarıiletken kontak oluştuktan sonra denge durumunun enerji bant diyagramı görülmektedir. Metal ile yarıiletken madde kontak haline geldiğinde yarıiletkendeki daha yüksek enerjili elektronlar, E_F Fermi seviyeleri eşitlenene kadar yarıiletken maddeden metale doğru akar. Yarıiletken maddedeki elektron yoğunluğu azaldıkça Fermi seviyesi iletkenlik bantından uzaklaşarak yasak enerji aralığının ortalarına doğru kayar. Bundan dolayı iletkenlik bantı

E_C ile Fermi seviyesi E_F arasındaki fark artar. Termal dengede E_F sabit kalacağı için Şekil 2.1(b)'de görüldüğü gibi iletkenlik ve valans bantları bükülmeye başlar. Yarıiletkenden metale doğru akan elektronlardan dolayı elektronların gerisinde elektrondan fakir bir alan oluşur ve burada pozitif yüklü iyonlar kalır. Kontağın metal bölümünde ise yarıiletken maddeden gelen elektronlardan dolayı negatif yük birikir. Bu hadisenin neticesi olarak yarıiletken kısımdan metal kısma doğru bir elektrik alan oluşur.

Metal yarıiletken kontak meydana geldiğinde termal denge durumunda, yarıiletkendeki bant bükülme miktarı (qV_i) metal ile yarıiletken maddelerin iş fonksiyonlarının farkına eşittir.

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

Denklem 2.1'deki qV_i , yarıiletkendeki elektronların metal kısma kayabilmesi için geçilmesi gereken potansiyel bariyerdir. Metal madde tarafındaki engel ise;

$$\Phi_B = \Phi_m - \chi_s \quad (2.2)$$

denklemleri ile verilir. Φ_s ise

$$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n \quad (2.3)$$

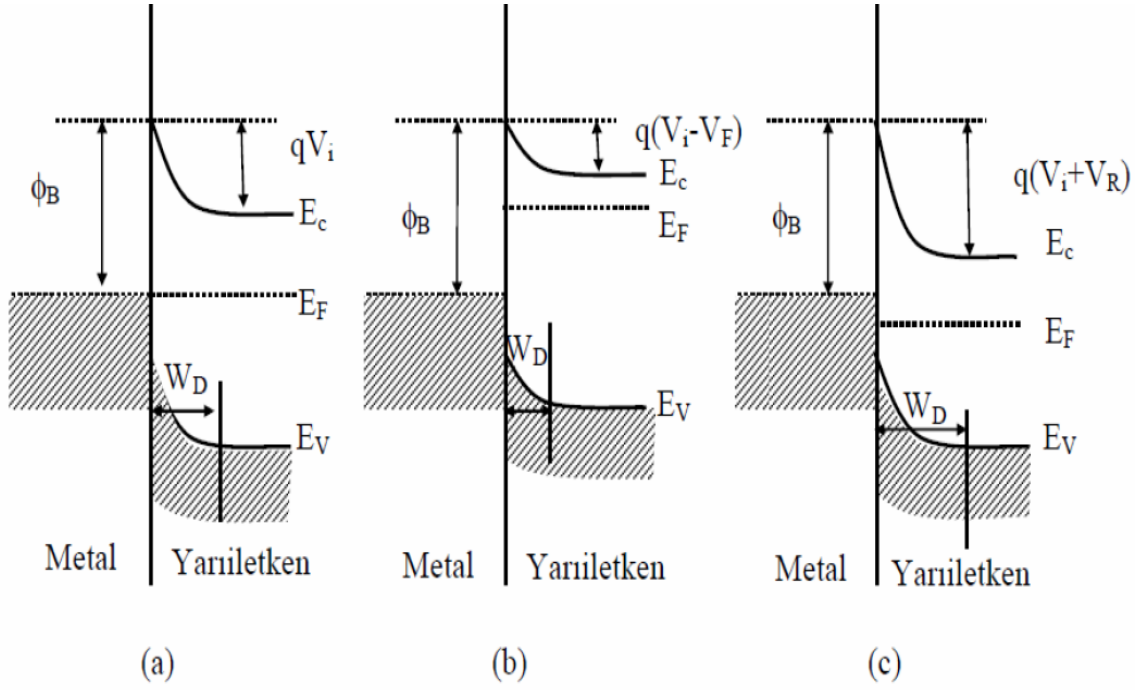
olduğundan,

$$\Phi_B = qV_i + \Phi_n \quad (2.4)$$

denklemleri elde edilir.

Denklem 2.4'te gösterilen $\Phi_n (= E_C - E_F)$ parametresi ise Fermi seviyesinin yasak bant aralığındaki yerini ifade eder. Denklem 2.2'de bulunan denklem 1938 yılında Schottky ve Mott tarafından aynı zamanda birbirlerinden habersiz bir şekilde bulunmuştur [1].

Şekil 2.1(b)'deki metal yarıiletken kontakta Φ_B potansiyeli, kT/q termal enerjisinden daha fazladır. Ayrıca yarıiletken kısımdaki yüklerin olmadığı bölge dirençli bir bölgeye dönüşür. Bunların neticesinde bu kontağın doğrultucu bir kontak olduğu anlaşılır. Meydana gelen metal yarıiletken kontağın doğru beslem ve ters beslem durumlarındaki enerji bant diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



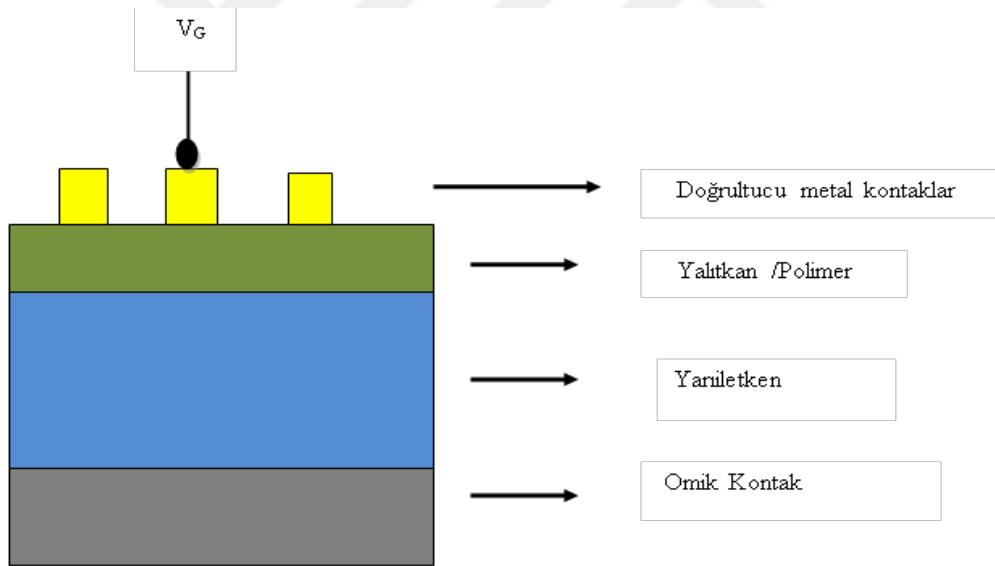
Şekil 2.2. MY doğrultucu kontak için enerji bant diyagramı: (a) ısısal denge, (b) doğru beslem, (c) ters beslem durumu.

Metal yarıiletken kontak oluştuktan sonra termal denge sağlandığında metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale geçen yükler birbirini dengeleyeceği için net bir akım meydana gelmez. Fakat kontağa haricen uygulanacak bir potansiyel ile birlikte termal dengedeki bant diyagramı değişir. Metal yarıiletken kontağa uygulanacak yerinde beslem sonucunda Şekil 2.2(b)'de görüldüğü gibi qV_i olan engel yüksekliği $q(V_i - V_F)$ 'ye düşecektir. Bu düşme neticesi yarıiletkenden metale transfer olacak yükler daha düşük bir potansiyel bariyer ile karşılaşacaktır. Buna rağmen metal kısımdaki potansiyel bariyer (Φ_B) dışarıdan uygulanan gerilimden bağımsızdır. Bundan dolayı, metalden yarıiletkene yük akışı termal denge durumundaki gibi kalacak; fakat yarıiletkenden metale yük akışı artacaktır. Metal yarıiletken kontağa uygulanacak olan ters beslem neticesinde ise Şekil 2.2(c)'de görüldüğü üzere qV_i olan engel yüksekliği $q(V_i + V_R)$ olacaktır. Bunun neticesinde, yarıiletkenden metale geçecek olan yükler daha güçlü bir bariyerle karşılaşır ve termal denge durumundaki geçişe kıyasla çok daha az yük geçişi olur. Doğru beslemdekine benzer şekilde ters beslemde de Φ_B bariyer yüksekliğinde bir fark olmayacak ve metalden yarıiletkene geçen yük miktarı değişmeyecektir. Bu özelliklerinden dolayı, yani akımı tek istikamette geçirip diğer tarafa geçirmeyen bir yapı olması neticesinde doğrultucu kontak meydana gelir.

2.2. METAL-YALITKAN/POLİMER-YARIİLETKEN (MYY/MPY) SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI

Metal yarıiletken Schottky diyotların imalatı sırasında metal ile yarıiletken madde arasına yalıtkan veya polimer bir tabaka eklendiğinde, sırasıyla, metal yarıiletken yapı metal-yalıtkan-yarıiletken ya da metal-polimer-yarıiletken yapı durumuna gelir. Metal ile yarıiletkenin arasında bulunan bu arayüzey tabaka nedeniyle metal ile yarıiletken arasında yük akış dengesi sağlanmış olur, aynı zamanda metal ile yarıiletken yapılar birbirinden ayrılmış olur. Bu yöntemle arayüzey tabakası kaplanarak imal edilen metal-yalıtkan-yarıiletken ve metal-polimer-yarıiletken tip Schottky diyotlara tatbik edilecek gerilim ise arayüzey tabakası, seri direnç ve diyot tarafından paylaşılır ($V_G = V_D + V_{RS} + V_I$).

Bu özelliklerinden ötürü metal-yalıtkan-yarıiletken ve metal-polimer-yarıiletken yapıların akım iletim mekanizması metal-yarıiletken maddelere kıyasla oldukça farklılık göstermektedir. Şekil 2.3'te MYY/MPY yapının şematik gösterimi verilmektedir.

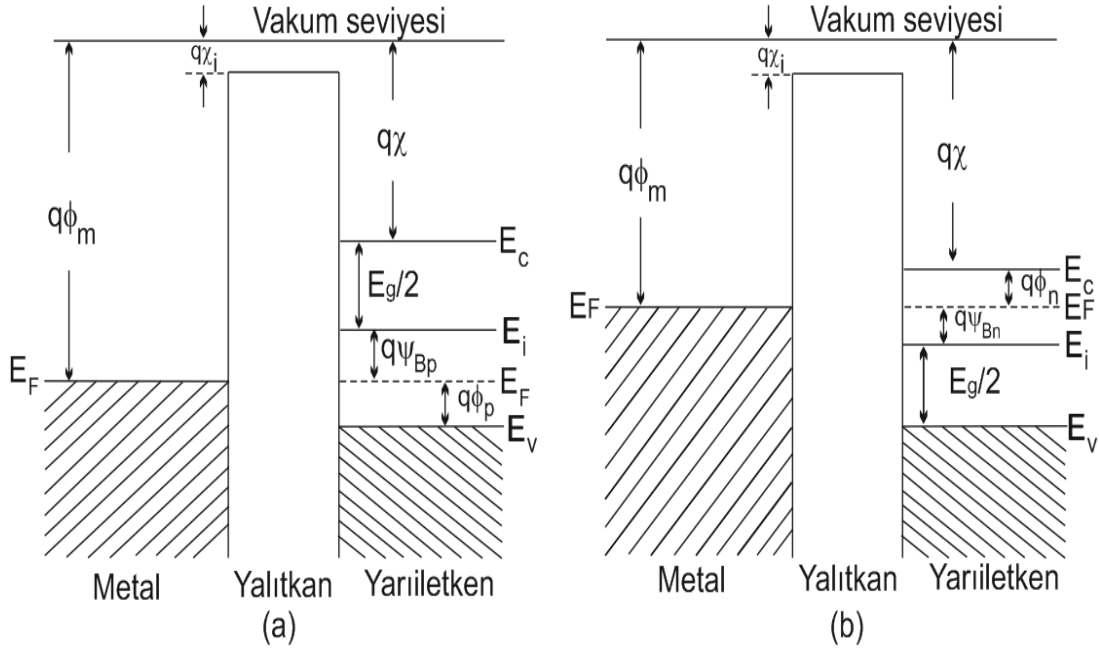


Şekil 2.3. MYY/MPY yapının şematik gösterimi.

2.3. İDEAL MYY TİPİ SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI

Metal-yalıtkan-yarıiletken tip Schottky diyotların ideal olması için gereken koşullar seri direncin (R_s) ve arayüzey durumlarının diyotu etkilemeyecek kadar küçük olması ve kısa devre direncinin (R_{sh}) ise çok yüksek ($\sim M\Omega$) olmasıdır [1],[2],[7]. Bu tür ideal metal-yalıtkan-yarıiletken Schottky diyotlarda idealite faktörü 1 olarak kabul edilir. Gerilim

tatbik edilmemiş ($V=0$) durumdaki ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken Schottky diyotun hem n-tipi yarıiletken hem de p-tipi yarıiletkenler için enerji bant diyagramları Şekil 2.4'te belirtilmiştir.



Şekil 2.4. Voltaj uygulanmamış ($V=0$) durumdaki ideal bir MYY Schottky diyotun (a) p-tipi yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramı.

MYY yapıya bir voltaj uygulanmadığı durumlarda Φ_m metalin iş fonksiyonu ve Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu yani Φ_{ms} birbirini ile aynıdır.

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_{Bn} \right) \quad (\text{n-tipi}) \quad (2.5)$$

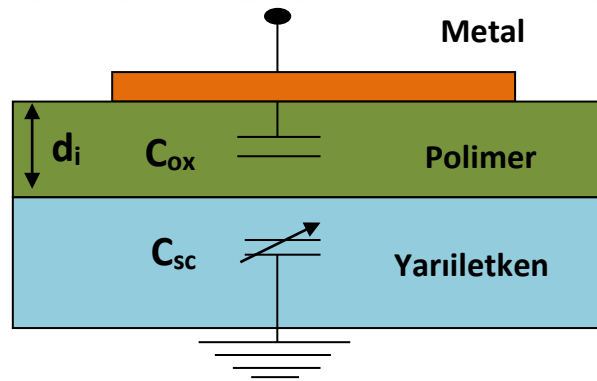
$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_{Bp} \right) \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.6)$$

Bu formüllerde, χ yarıiletken yapının elektron afinitesini, E_g yarıiletkenin yasak enerji bant aralığını, ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.

Yarıiletken yapılarda serbest yük yoğunluğu metallerdeki serbest yük yoğunluğuna nazaran daha azdır ve dışarıdan uygulanacak olan gerilimle doğrudan irtibatlıdır. Optimal bir metal-yalıtkan-yarıiletken yapıda, metal elektroda tatbik edilecek beslem neticesinde yarıiletkenin yük kaymaları oluşur. Yarıiletkenin arayüzeyindeki bantların bükülmesine yol açan Q_{sc} uzay yükü meydana gelir. Yarıiletken madde termal denge vaziyetindeyken, potansiyelin yüksekliği arayüzeydeki uzay yükü olan Q_{sc} 'yi belirler. Yarıiletkenlerde

çoğunluk ve azınlık yük taşıyıcılarını katkı atomlarının cinsi belirler. Si kristalinin 3A elementlerinden biri (bor vb.) ile katkılanması neticesinde p-tipi Si meydana gelir ve bu maddede çoğunluk yük taşıyıcıları holler, azınlık yük taşıyıcıları ise elektronlardır. Si kristaline n-tipi katkılama oluşturmak için ise periyodik cetvelin 5A elementlerinden biri (fosfor vb.) ile katkılama yapmak gerekir. Böyle oluşturulan n-tipi silisyumda çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlar, holler ise azınlık yük taşıyıcılarıdır. Yarıiletken diyotlarda iletim yalnızca elektronlarla değil hollerle de gerçekleşir. Yarıiletken maddenin cinsine göre azınlık ve çoğunluk yük taşıyıcıları tespit edilir ve çoğunluk yüklerin meydana getirdiği akıma çoğunluk yük akımı, azınlık yüklerin meydana getirdiği akıma da azınlık yük akımı adı verilir.

Metal-yalıtkan-yarıiletken maddeler paralel plakalı bir kondansatöre benzetilebilir. Metal ile yarıiletken madde arasına konulan yalıtkan veya polimer tabaka metal ile yarıiletken arasında bir kapasitans (C) meydana getirir. Metal ile yarıiletken arasında meydana gelen bu kapasitansa metal-yalıtkan-yarıiletken kapasitansı denilir. Metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin kapasitansı, yalıtkan tabakadan oluşan kapasitans C_{ox} (veya C_i) ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} 'den meydana gelir. Şekil 2.5'de metal-yalıtkan-yarıiletken kapasitansına karşılık gelen eşdeğer devre gösterilmiştir.



Şekil 2.5. MYY yapının kapasitans eşdeğer devresi.

Şekil 2.5'te gösterilen eşdeğer devrenin çözülmesiyle meydana gelen toplam kapasitans değeri Denklem 2.7'de ifade edilmiştir [7]:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_i} \quad (2.7)$$

Bu denklemde ifade edildiği gibi metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin kapasitans eşdeğeri, uzay yük kapasitansı ve yalıtkan/polimer tabakanın kapasitansının seri bağlanmasıyla

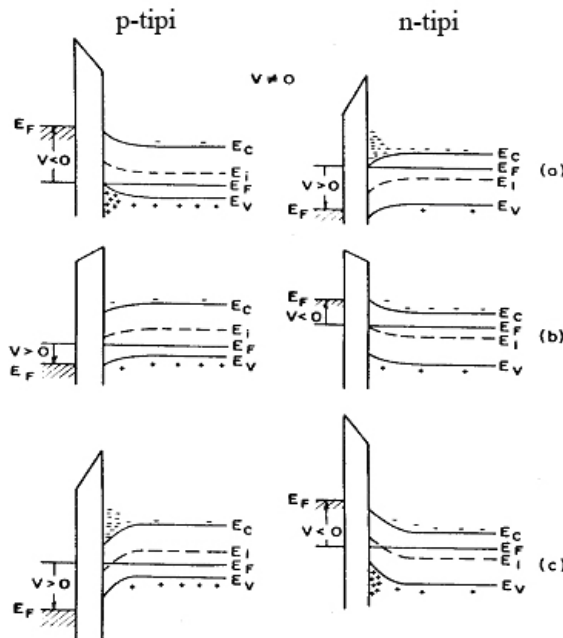
oluşturulur. Yalıtkan/polimer tabakanın kapasitansı Denklem 2.8’de gösterilmiştir [1],[2],[5]:

$$C_i = \frac{\epsilon_{ox}}{d_i} A \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte ϵ_{ox} yalıtkan levhanın dielektrik sabitini, d_i arayüzey levhanın kalınlığını, A ise doğrultucu kontağın alanını ifade eder. Metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin kapasitansını değiştirebilecek tek kantite ise uzay yükü kapasitansıdır. Metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin kapasitans-voltaj ($C-V$) eğrisi üç farklı bölgede ele alınır. Bunlar yığılma bölgesi, tüketim bölgesi ve terslenim bölgesidir.

2.3.1. Yığılma Bölgesi

Metal-yalıtkan-yarıiletken bir maddede, metale pozitif ($V_G > 0$) beslem uygulanması durumunda meydana gelen elektrik alan sebebiyle çoğunluk yük taşıyıcısı elektronlar yarıiletken arayüzeyine toplanmaya başlar ve bunun neticesinde bantların yukarı yönlü bükülmesi meydana gelir (Şekil 2.6(a)). Bantlarda oluşan bu bükülme yüzeye yakın kısımlarda gerçekleşir. Çoğunluk yük taşıyıcısı olan elektronların arayüzeydeki birikme olayına “yığılma” adı verilir.



Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MYY yapının enerji-bant şeması (a) yığılma, (b) tüketim ve (c) terslenim.

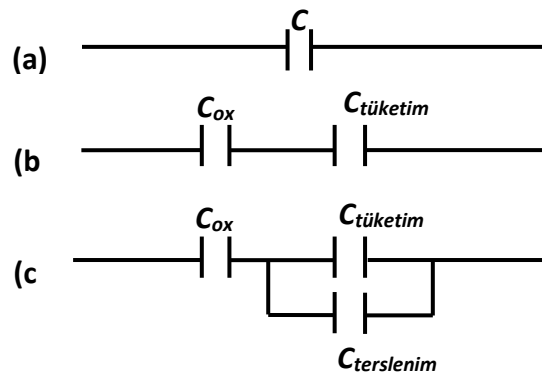
2.3.2. Tüketim Bölgesi

Metal-yalıtkan-yarıiletken bir maddede, metale negatif ($V_G < 0$) beslem uygulaması durumunda meydana gelen elektrik alan sebebiyle çoğunluk yük taşıyıcısı elektronlar yarıiletken arayüzeyinden uzaklaşır ve arkada pozitif yük kalır. Bunun neticesinde yarıiletkenin iç bölümlerindeki elektron yoğunluğu, yarıiletken yüzeyindeki elektron yoğunluğunu aşmaya başlar. Sonuç olarak enerji bantları aşağı yönlü bükülmeye başlar (Şekil 2.6(b)). Uygulanan negatif gerilim ile tüketim tabakasının (W_D) genişliğinde bir alanda elektronların sayısının düşmesi nedeniyle bir tüketim bölgesi meydana gelir. Dielektrik sabiti ϵ_s olan bir yarıiletkenin tüketim bölgesinin genişliği şu şekilde ifade edilir:

$$W_D = \epsilon_s A_{ox} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (2.9)$$

2.3.3. Terslenim Bölgesi

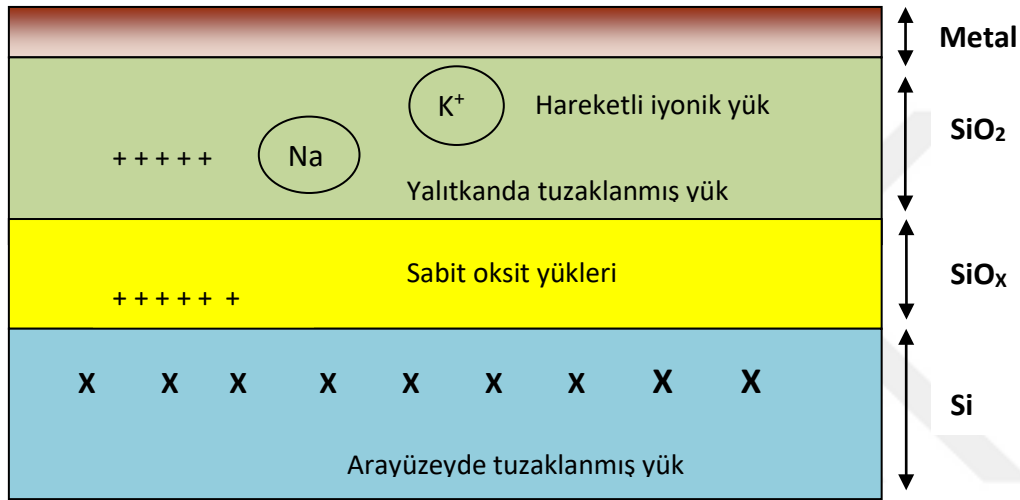
Metal-yalıtkan-yarıiletken bir maddede, metale uygulanacak olan oldukça büyük negatif gerilim ($V_G \ll 0$) neticesi enerji bantlarında daha fazla bükülme olmaya başlar. Yarıiletkenin yüzeyinde çoğunluk taşıyıcı olan elektronların sayısının düşmesi neticesinde azınlık taşıyıcı olan hollerin yoğunluğu artmaya başlar. Meydana gelen bu durum neticesinde Fermi enerji seviyesi, saf vaziyetteki E_i enerji seviyesinin altına doğru düşer (Şekil 2.6(c)). N-tipi yarıiletken yüzeyi bundan sonra p-tipi yarıiletken yüzeyi gibi davranır. Meydana gelen bu hadiseye yarıiletken yüzeyinin terslenimi denir. İdeal bir metal-yalıtkan-yarıiletken maddede yükler yarıiletken içerisinde ve metalin yalıtkan yapıya yakın bölümünde konumlanırlar. Bu yapıya tatbik edilecek olan doğru akım (dc) neticesinde yalıtkan kısımdan yük geçişi mümkün olmaz.



Şekil 2.7. İdeal metal-yalıtkan-yarıiletken yapının (a) yığılma, (b) tüketim ve (c) terslenim bölgelerinin eşdeğer devreleri.

2.4. MYY YAPILARDA İDEAL DURUMDAN SAPMALAR

Gerçek metal-yalıtkan-yarıiletken yapılarda yarıiletken ile yalıtkan arasında kalan alan elektriksel olarak nötr değildir. Maddenin imalatı esnasında ortaya çıkan safsızlıklar, kırık bağlar, tuzaklanmış yükler, hareketli iyonlar, sabit oksit yükleri ve arayüzey yüklerinin olması gibi olaylar maddenin elektriksel özelliklerinin ideal metal-yalıtkan-yarıiletken yapıdan farklı olmasına neden olur [2]. Gerçek bir metal-yalıtkan-yarıiletken yapı için ideal vaziyetten sapmalara sebep olan kusurlar Şekil 2.8’de belirtilmiştir. Bunlar, arayüzey durumları, sabit yüzey yükleri, hareketli iyonlar ve iyonize tuzaklardır.



Şekil 2.8. Gerçek bir MYY yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması.

2.4.1. Arayüzey Durumları

Arayüzey durumu, yarıiletken ile yalıtkan arasında kalan maddelerin arayüzeyinde bir enerji seviyesidir. Arayüzey durumları verici veya alıcı seviyeler olabilir, aynı zamanda valans bantı ve iletim bantı ile yük alışverişi yapabilmektedir. Arayüzey durumlarındaki Q_{ss} yük yoğunluğu, yalıtkan maddenin kalınlığından ve yarıiletken yapı içerisindeki katkı yoğunluğundan etkilenmez. Arayüzey durumları metal-yalıtkan-yarıiletken malzemenin kapasitansını etkiler ve ideal MYY’den sapmalara neden olur.

Arayüzey durumlarının elektriki etkileri aşağıdadır:

Kapasite: Yapı içerisindeki bir arayüzey durumlarına, yine yapı içerisinde izinli ayrı bir arayüzey durumlarının ilave edilmesi sonucu meydana gelir. Bu ilave neticesinde temel yük başına bir kapasite ilave edilmesi meydana gelir. Tatbik edilen gerilim doğrultusunda bu kapasite değeri net bir zirve şeklinde meydana gelecektir. Arayüzey durum seviyesi,

Fermi enerji seviyesinden daha aşağıda olacağı için ortaya çıkan bu zirveler gerilim için görülür.

İletim: Yük taşıyıcılarının arayüzey durumları ile tuzaklanması ve bırakılması döngüsü gerçekleşirken bir zaman gecikmesi oluşur. Arayüzey durumlarında oluşan bu gecikme eşdeğer bir RC devresi ile tanımlanabilir. Meydana gelen bu zaman gecikmesi dolma-boşalma zamanıdır ve $\tau = 1/(R_{ss}C_{ss})$ ile ifade edilir. Bu eşitlikte ifade edilen R_{ss} değeri arayüzey direncidir [2]. Arayüzey kapasitansı olan C_{ss} ise şu şekilde ifade edilir:

$$C_{ss} = \frac{\partial C_{ss}}{\partial \psi_{ss}} A_{ox} \quad (2.10)$$

Arayüzey potansiyeli: Yukarıda ifade edilen arayüzey durumlarının kapasite ve iletme etkileri ac sinyal etkisi altındadır. Fakat bu duruma ilaveten arayüzey durumlarının dc etkisi de mevcuttur. Arayüzey durumlarında mevcut yükler sebebiyle arayüzeyin elektrik alanı değişmektedir. Bu nedenle arayüzey durumlarının bulunduğu zamanlarda arayüzey potansiyelini değiştirmek için ideal durumda yeterli olacak potansiyelden daha fazlası gerekir. Bu durum kapasitegerilimin zorunlu genişlemesi (stretchout) etkisidir.

Arayüzey durumları ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken meydana gelecek C-V eğrilerinde bir kaymaya yol açar. Arayüzey durum yoğunluğu şu şekildedir:

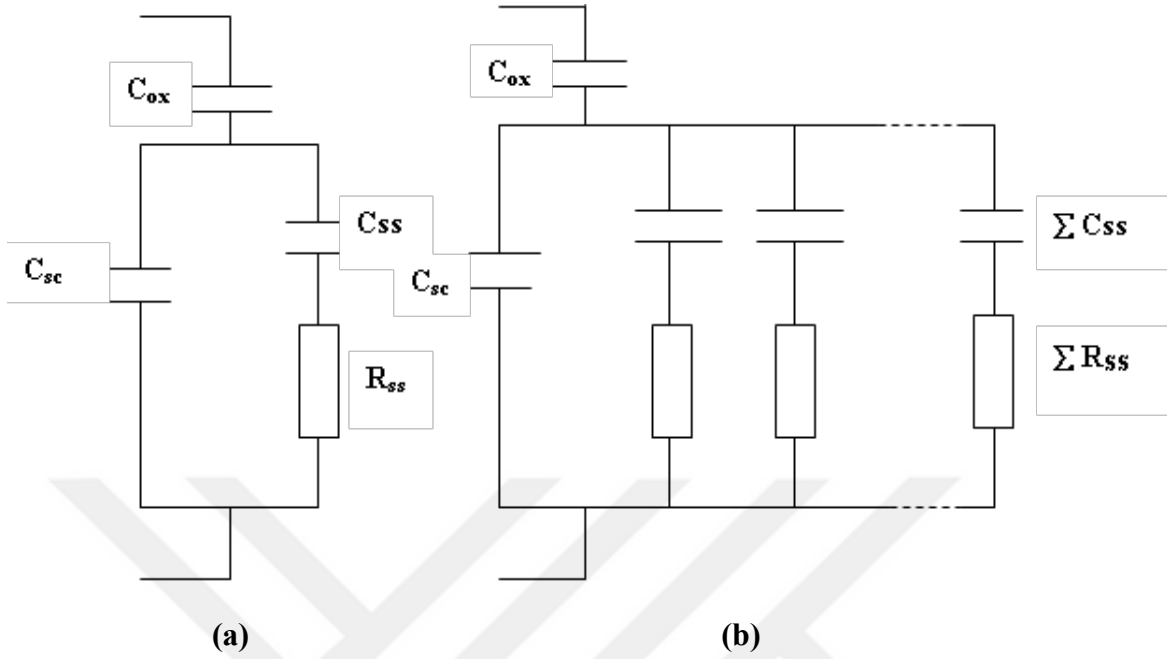
$$N_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial E} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11’de gösterildiği gibi N_{ss} durum yoğunluğu birim enerji başına birim arayüzey durum yüküdür. Denklemdeki E enerjidir ve $E = q\psi_s$ şeklinde ifade edilir. E ’nin diferansiyeli alınıp Denklem 2.12’de yerine konduğunda durum yoğunluğu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$N_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial E} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \psi_s} \frac{\partial \psi_s}{\partial E} = \frac{1}{q} \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \psi_s} \quad (2.12)$$

Yük taşıyıcıların bir arayüzey hali ile kaplanması ihtimali, maddenin Fermi seviyesi ile tespit edilir. Maddenin yüzey potansiyeli değiştikçe arayüzey enerji seviyesinde de değişiklik olur. Neticede bağıl Fermi seviyesi değişikliği, bir yük taşıyıcısının arayüzey halini zaptetme ihtimalini değiştirecektir.

Arayüzey hallerinin Q_{ss} 'ye paralel bir kapasitans ve aynı anda seri bir direnç etkisi yaptığında meydana gelen halin eşdeğer devresi Şekil 2.9'da ifade edilmiştir [13].



Şekil 2.9. MYY yapısının (a) bir enerji seviyesi ve (b) birbirinden farklı enerji seviyeleri için eşdeğer devresi.

2.4.2. Arayüzey yükleri

Arayüzey yükleri metal-yalıtkan-yarıiletken maddede yalıtkan içinde ve yarıiletken-yalıtkan arayüzeylerindedirler. Metal-yalıtkan-yarıiletken madde oluşturulurken kullanılan yarıiletken ile yalıtkan maddenin kristal formlarının aynı olmamasından dolayı bu bölgede yerel yüklere yol açarlar.

Bu yükler genellikle pozitif yüklerdir ancak bazen negatif de olabilir. Metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin arayüzeyinde negatif veya pozitif yüklerinin olması halinde yüksek frekanslarda yapılan ölçümlerde gerilim ekseninde $C-V$ eğrilerinde kaymalar oluşur. Bu yükler elektriksel ölçümlerde yarıiletken-yalıtkan arayüzeyine tabaka halinde konumlanmış yükler olarak müşahade edilir. Maddenin $C-V$ eğrilerinin tatbik edilen gerilimin negatif yönünde kaymasına pozitif yükler yol açar. Aynı şekilde $C-V$ eğrisinin tatbik edilen gerilimin pozitif yönüne doğru kaymasına neden olan yükler ise negatif yüklerdir [7]-[14].

2.4.3. Hareketli iyonlar

Hareketli iyonlar umumiyetle yalıtkan filmde metal-yalıtkan veya yarıiletken-yalıtkan arayüzeylerindedir. Bunlar 100 °C'den daha sıcak ortamlarda hareketli olan Na^+ , K^+ , Li^+ , H^+ , H_3O^+ gibi iyonlardır [15]. Bu iyonlar, ekseriyetle maddelerin imalatı esnasında kullanılan kimyasallarda bulunmaları, tutucuların kirli olması, oksitleme fırını, oksitleme gazlarındaki safsızlıklar gibi vaziyetlerden ortaya çıkar. Burada ifade edilen farklı durumlardan dolayı ortaya çıkan iyonlar kristal yüzeye yapışarak maddeye uygulanacak olan elektrik alan etkisi ile hareket etmeye başlayıp metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin ideal halden sapmasına sebep olan kusurlardır [16].

2.4.4. İyonlaşmış tuzaklar

İyonlaşmış tuzaklar kimyasal yapı bozukluklarına bağlı olarak meydana gelen ve yalıtkan tabakada bulunan tuzaklardır. İyonlaşmış tuzaklar verici ya da alıcı tipte olabilir ve yarıiletken arayüzeyi ile yük alışverişinde bulunabilirler. Bu alışveriş neticesinde burada fazladan bir yük meydana getirirler. Elektron-hol çiftinin iyonize radyasyon tesiri sonucu yalıtkan tabaka içinde oluşması neticesinde bunların bir bölümü oksit tabaka içinde tuzaklanabilirler. Maddenin imalatı sırasında oluşan elektron-hol tuzakları ise maddenin imalatı sonrasında uygulanacak olan tavlama işlemi ile yok edilebilmektedir. Madde içerisindeki iyonlaşmış tuzaklar elektron hapsederek veya elektron serbestleştirerek yüksüz olurlar ve metal-yalıtkan-yarıiletken maddenin $C-V$ eğrilerine etki ederler. Malzemeye uygulanacak gerilim değerinin negatiften pozitif doğru artırılıp ölçülen $C-V$ değeri ile bunun tam tersi tatbik edilen gerilimin pozitif değerden negatife doğru artırıp ölçülen $C-V$ değerleri arasında farklılıklar meydana gelir [17]. İki taraflı yapılan ölçümlerden elde edilen kapasitans değerlerinde meydana gelen kayma miktarı, metal-yalıtkan-yarıiletken yapının yalıtkan maddedeki tuzaklarının miktarını işaret eder.

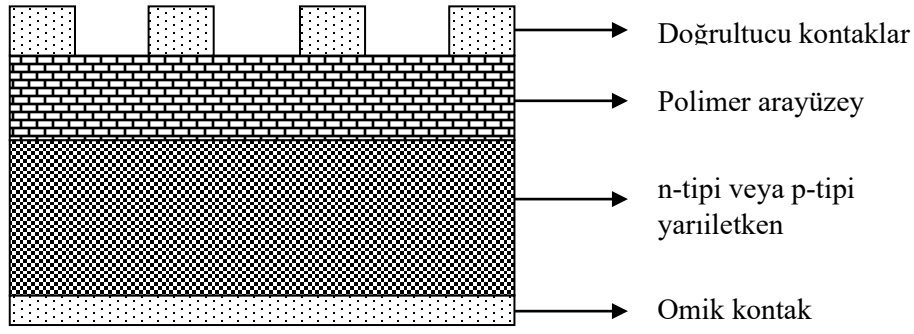
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. GİRİŞ

Günümüzde optoelektronik ve elektronik alanlarında kullanılan SBD'ler sahip oldukları bir çok avantajlarından dolayı çok fazla tercih edilen devre elemanlarından biridir. Bu avantajlarının başında hızlı anahtarlama yapabilme yetenekleri, uygulanan düşük gerilim değerlerinde dahi iletme geçebilme kabiliyetleri, gösterdikleri yüksek verim ve çalışma esnasında düşük gürültü seviyelerine sahip olmaları gelmektedir [18].

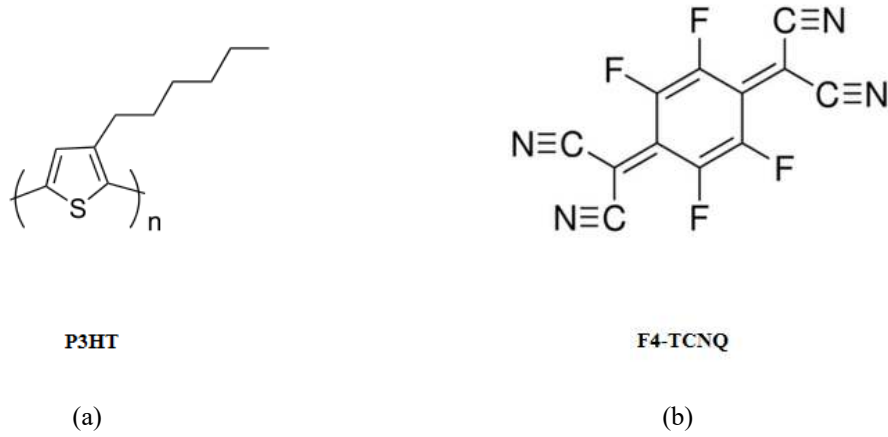
SBD yapıların elde edilebilmesi için MY kontak oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan MY kontağın arasına yerleştirilecek olan polimer bir tabaka varlığında ise MPY yapı elde edilir. MPY yapıların üretimi sırasında arayüzey tabakası olarak kullanılan organik polimer malzemeler üretilen elektronik cihazın elektriksel özelliklerini etkilemektedir [19]. Organik arayüzey tabakası olarak kullanılan polimer malzemeler, inorganik malzemeler ile karşılaştırıldığında üretim yöntemlerinin kolaylığı, istenilen yüzeye kolayca kaplanabilmesi, yarıiletken arayüzey durumlarını efektif bir şekilde pasivize etmesi ve farklı yapılardaki SBD'lere göre elektriksel sonuçların daha iyi olması gibi özelliklerinden dolayı daha çok tercih edilmektedir.

MPY yapıdaki yarıiletken malzemeler, yarıiletken bir alttaşın üzere spin kaplama, spreycaplama gibi yöntemler kullanılarak organik polimerin kaplanması ile oluşan yarıiletken/polimer yapının altına ve üstüne metal kontakların büyütülmesi ile SBD haline getirilmesi ile elde edilmektedir (Şekil 3.1). MPY yapıdaki SBD'lerin üretiminde metal ile yarıiletken arasına yük geçişini düzenleyecek ve üretilecek olan cihazın performansını arttıracak dielektrik sabiti yüksek olan polimer malzeme kaplanır. Arayüzeye kaplanan bu polimer tabaka yüzeyi pasivize ederek ve de oluşacak sızıntı akımlarını engelleyerek akım iletim mekanizmasını iyileştirir. Son olarak MPY tipi SBD'lerin oluşturulması için gerekli kontaklar uygun iş fonksiyonları dikkate alınarak seçilen metaller ile doğrultucu ve omik kontak olacak şekilde büyütülürler.



Şekil 3.1. MPY SBD'nin yapısı.

Bu tez çalışmasında, yukarıda belirtilen avantajları dolayısıyla MPY SBD yapılar çalışılmıştır. Bu çalışmada yarıiletken ile metal yüzeylerin arasına poly(3-hexylthiophene):2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane (P3HT:F4-TCNQ) organik karışımı kaplanarak arayüzey tabakası olarak kullanılmıştır. Arayüzey tabakası oluşturmak için kullanılan polimer malzemelerden P3HT yüksek kristallenebilirlik oranına sahip olması ve iletkenlik değerlerinden dolayı tercih edilmiştir Şekil 3.2(a) [20]. F4-TCNQ ise güçlü elektron eğilimi nedeniyle polimer-katkı sistemleri için etkili bir katkılama reaktiflerinden birisidir Şekil 3.2(b) [21].



Şekil 3.2. (a) P3HT ve (b) F4-TCNQ organik polimerlerin kimyasal yapıları.

Bu tez çalışmasında, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'ler %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonlarında üretilerek elektriksel özelliklerinin analizleri, kapasitans-voltaj ($C-V$) ve iletkenlik-voltaj ($G/w-V$) ölçümleri ile yapılmıştır. $C-V$ ve $G/w-V$ ölçümleri -10 V – +10 V gerilim ve 10 kHz – 2 MHz frekans aralığında, oda sıcaklığında ve karanlıkta gerçekleştirilmiştir. $C-V$ ve $G/w-V$ ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen seri direnç (R_s)

ve arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) kıyaslandığında daha iyi sonuçlar veren %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip SBD için difüzyon potansiyeli (V_D), Fermi enerjisi (E_F), tüketim tabakasının genişliği (W_D) ve potansiyel bariyer yüksekliği (Φ_B), donör taşıyıcı yoğunluğu (N_D), maksimum elektrik alan (E_m) ve Schottky engel alçalması ($\Delta\Phi_B$) gibi temel elektriksel parametreler frekansa bağlı olarak elde edilmiştir.

3.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Bu tez çalışmasında kullanılan P3HT ve F4-TCNQ organik polimerleri Sigma Aldrich Ltd.'den alınmıştır. Organik arayüzey tabakası olarak kullanılmak üzere %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip karışımlar hazırlanarak Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında aşağıdaki üretim ve ölçüm aşamaları takip edilmiştir:

3.2.1. Si Alttaşın Hazırlanması:

Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerin üretim aşamasında <100> yöneliminde tek krsital n-tipi silisyum (n-Si) pullar alttaş malzemesi olarak kullanılmıştır. Tek kristal Si pullar 350 ± 25 μm kalınlığında ve birer yüzleri fabrikasyon olarak parlatılmıştır. Si pulların temizlik işlemlerinin aşamaları daha etkili ve hızlı bir temizlik imkanı sunmasından dolayı ultrasonik banyo içinde gerçekleştirilmiştir. Temizlik işlemi RCA adı verilen kimyasal temizlik prosedürü takip edilerek gerçekleştirilmiştir ve temizlik sonrası Si pulların yüzeyinde oluşabilecek oksit tabakalarını engellemek amacıyla Helyum (He) inört gazı ile kurutulmuştur.

3.2.2. Omik Kontakın Oluşturulması:

Üretilen Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerin omik kontakları için uygun iş fonksiyonuna (omik kontak için gümüş) sahip metaller seçilerek büyütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir önceki aşamada belirtildiği üzere temizlik işlemi gerçekleştirilmiş olan Si pulların mat yüzeylerine omik kontak oluşması için herhangi bir maskeleme işlemi yapılmaksızın ~ 2500 Å kalınlığında gümüş (Ag) kaplanmıştır. Kaplama işlemi için Şekil 3.3'te görseli bulunan ve Düzce Üniversitesi Fizik Bölümü Numune Hazırlama Laboratuvarı'na ait NANOVAK NVBJ-300TH marka termal buharlaştırma kaplama sistemi kullanılmıştır. Kontakın büyütülmesi esnasında istenilen kalınlığa ulaşabilmek için termal buharlaştırma kaplama sisteminde bulunan kalınlık ölçüm monitörü kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Termal buharlaştırma kaplama sistemi.

3.2.3. P3HT:F4-TCNQ Polimer Karışımın Hazırlanması ve Kaplanması:

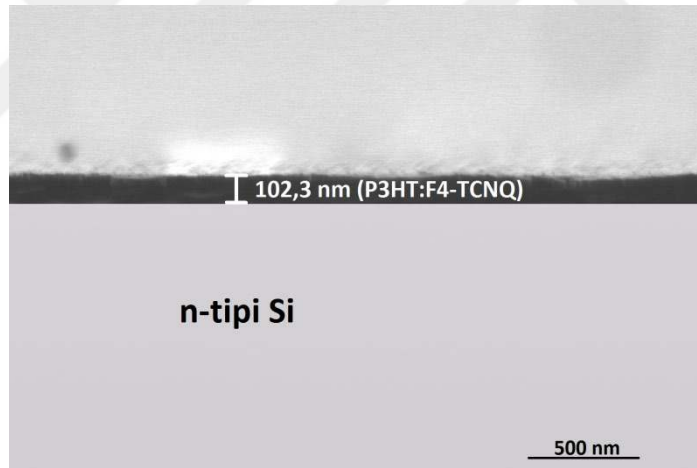
Tez çalışmasında üretilen MPY SBD'lerin aktif katmanını %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip P3HT-F4-TCNQ organik polimerler oluşturmaktadır. Organik karışımları hazırlamak için satın alınmış olan toz haldeki polimerler sıvı hale getirilmiştir. P3HT ve F4-TCNQ organik polimerlerin ortak çözücüsü olan klorobenzen kullanılarak her bir polimer ayrı şişelerde 25 mg/ml'lik çözeltiler oluşturacak şekilde yaklaşık 3 saat süreyle manyetik karıştırıcıda 60 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra tez çalışmasında kullanılacak olan %0,5 ve %2'lik F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip karışımlar hazırlanıp yine manyetik karıştırıcı kullanılarak 60 °C'de bir gece boyunca karışmaya bırakılmıştır.

Elde edilen P3HT:F4-TCNQ organik polimer karışımları Düzce Üniversitesi Fizik Bölümü Numune Hazırlama Laboratuvarı'nda bulunan spin kaplama cihazı (Şekil 3.4) ile daha önceki aşamada belirtildiği şekilde temizlenmiş olan Si pulların parlatılmış yüzeyine kaplanmıştır. Kaplama işlemi 1500 devir/dakika sabit dönme hızıyla 30 saniyede tamamlanarak yaklaşık 1000 Å kalınlık elde edilmiştir. Kaplanan organik polimerin kalınlığı Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT)' de bulunan Quanta FEG Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yardımıyla kesit alanı görüntü alma yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen SEM

görüntüsü Şekil 3.5’de verilerek yaklaşık 102 nm olduğu gösterilmiştir. Kaplama işleminin tamamlanmasından sonra organik yüzeyde bulunan çözücünün buharlaşması amacıyla numuneler 80 °C’de yaklaşık 15 dakika ısıt işlem gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Spin kaplama sistemi.

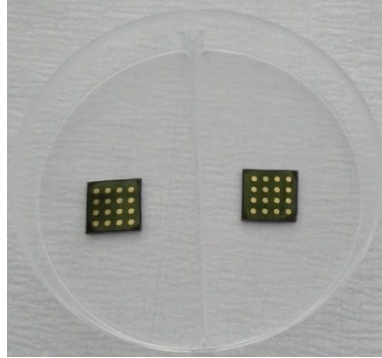


Şekil 3.5. SEM kesit alanı ölçümü.

3.2.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması:

Doğrultucu kontakların oluşturulabilmesi için metallerin iş fonksiyonu dikkate alınarak altın (Au) seçimi yapılmıştır. Kontakların kaplanması için paslanmaz çelikten üretilmiş ve üzerinde 1 mm çapa sahip delikler olan maske kullanılmıştır. Maske yardımıyla numunelerin üzerine dairesel kontaklar yaklaşık olarak 2500 Å kalınlığında büyütülmüşlerdir (Şekil 3.6). Doğrultucu kontakların büyütülmesinde de omik kontaklarda olduğu gibi Şekil 3.3’te görseli bulunan ve Düzce Üniversitesi Fizik Bölümü Numune Hazırlama Laboratuvarı’na ait NANOVAK NVBJ-300TH marka termal buharlaştırma

kaplama sistemi kullanılmıştır. Kontakların kalınlıkları termal kaplama sisteminde bulunan dijital ekrandan takip edilerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Üretilen MPY SBD'lerin görünümü.

3.2.5. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri:

Tez kapsamında üretimi gerçekleştirilen MPY SBD'lerin elektriksel parametreleri (C , G/w , R_s , N_{ss} , v.b) gerilime bağlı olarak 10 kHz – 2 MHz frekans aralığında, $C-V$ ve $G/w-V$ ölçümleri kullanılarak elde edilmiştir.

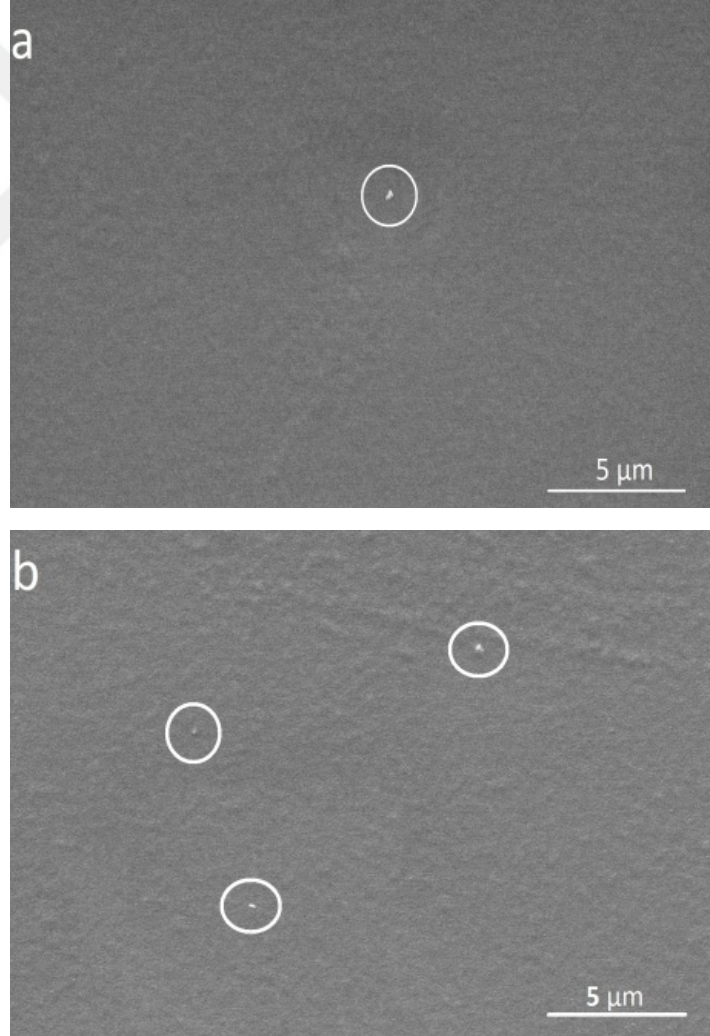
Frekansa bağlı $C-V$ ve $G/w-V$ ölçümleri -10,0 V – +10,0 V gerilim aralığı ve 10 kHz – 2 MHz frekans aralığında Şekil 3.7'de görülen ve Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) laboratuvarlarında bulunan Novocontrol Technologies Alpha-AN marka düşük ve orta frekans empedans analizmetre (impedance analyzer) yardımıyla bilgisayara takılan bir ac/dc çevirici kart kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Düşük ve orta frekans empedans analizmetresi.

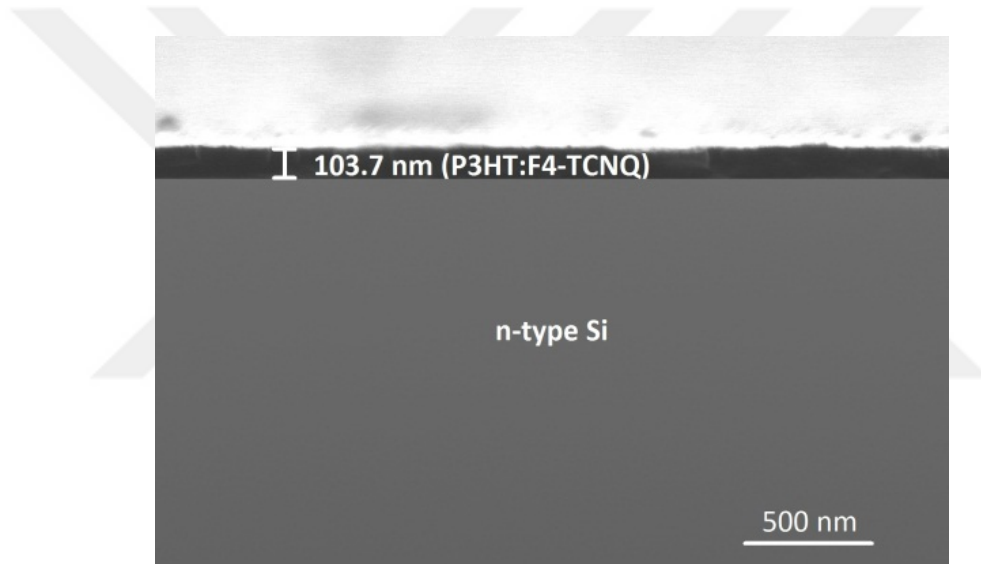
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip MPY SBD'lerin yüzey morfolojileri, Quanta FEG Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile araştırıldı. Çalışma mesafesi ve çalışma gerilimi sırasıyla 4,8 mm ve 10 kV olarak belirlenmiştir. SEM ölçümleri esnasında direnci azaltmak için, diyotların P3HT:F4-TCNQ yüzeyleri, numuneleri SEM odasına yüklemekten önce altın kat ile kaplandı. P3HT: F4-TCNQ yüzeylerinin F4-TCNQ konsantrasyonuna bağlı SEM görüntüleri 10 kV hızlanma voltajı altında 5 μm ölçeğiyle Şekil 4.1(a) ve 4.1(b) 'de gösterilmiştir.



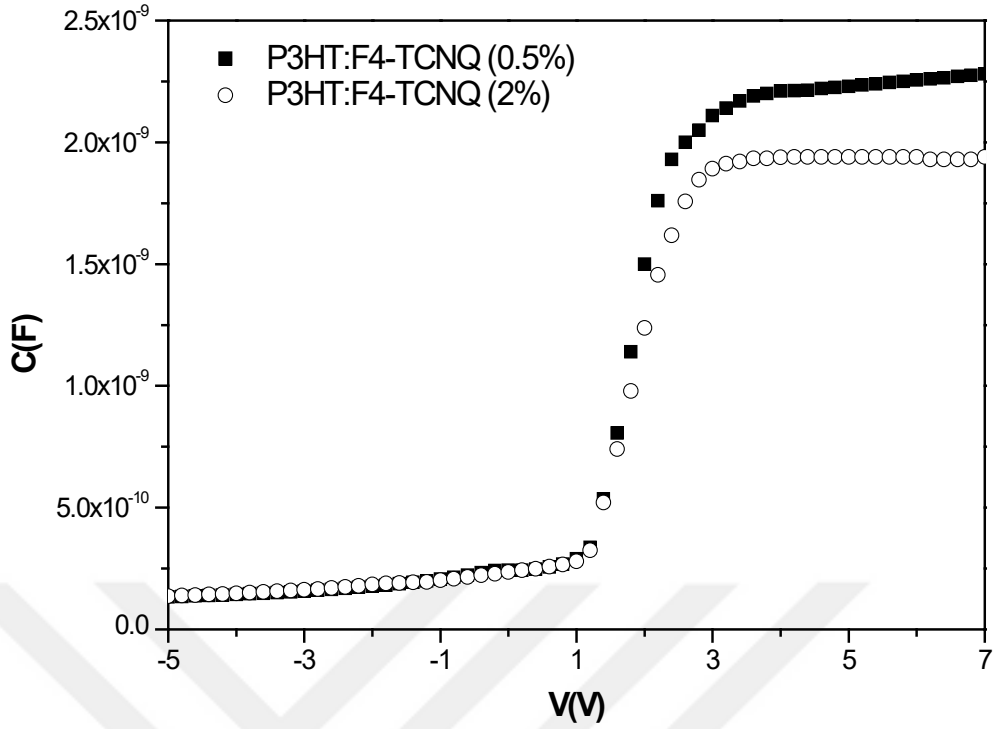
Şekil 4.1. P3HT:F4-TCNQ yüzeyleri üzerinde kullanılan (a) %0,5 F4-TCNQ ve (b) %2 F4-TCNQ konsantrasyonunun SEM görüntüleri.

Bu şekillerde gri alanlar P3HT polimer tabakası [22] ve parlak kümeler yaklaşık 200 nm çapında F4-TCNQ takviyesidir [15]. Şekil 4.1(a) 'da gösterildiği gibi, SEM görüntüsünde 5 μm ölçeği için P3HT:F4-TCNQ organik harmanında %0,5 F4-TCNQ kullanılarak yalnızca bir F4-TCNQ kısmı tespit edildi. Bununla birlikte, Şekil 4.1(b) 'de, MPY diyot kullanılan %2 F4-TCNQ konsantrasyonu için aynı SEM görüntü skalası ile F4-TCNQ'nun 3 kısmı tespit edildi. MPY diyotları kullanılan %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu için SEM görüntülerinin farkı literatürle uyumludur [23],[24]. Ek olarak, %3 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip P3HT:F4-TCNQ/n-Si yapısı, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi P3HT:F4-TCNQ polimer tabakasının kalınlığını ölçmek için kesitsel olarak SEM ile izlenmiştir. Kesitsel SEM görüntüsünü kullanarak, P3HT:F4-TCNQ polimer tabakasının kalınlığı yaklaşık 103 nm bulundu.



Şekil 4.2. %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip P3HT:F4-TCNQ/n-Si yapısının kesitsel SEM görüntüsü.

Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'leri için C , N_{ss} ve R_s özellikleri, F4-TCNQ konsantrasyonuna (%0,5 ve %2) bağlı olarak oda sıcaklığında, 1 MHz frekansta ve -10V ile +10V voltaj aralığında araştırılmıştır. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD kullanılan %0,5 ve %2 F4-TCNQ için $C-V$ analizinin karşılaştırmalı eğrileri Şekil 4.3'de verilmiştir.



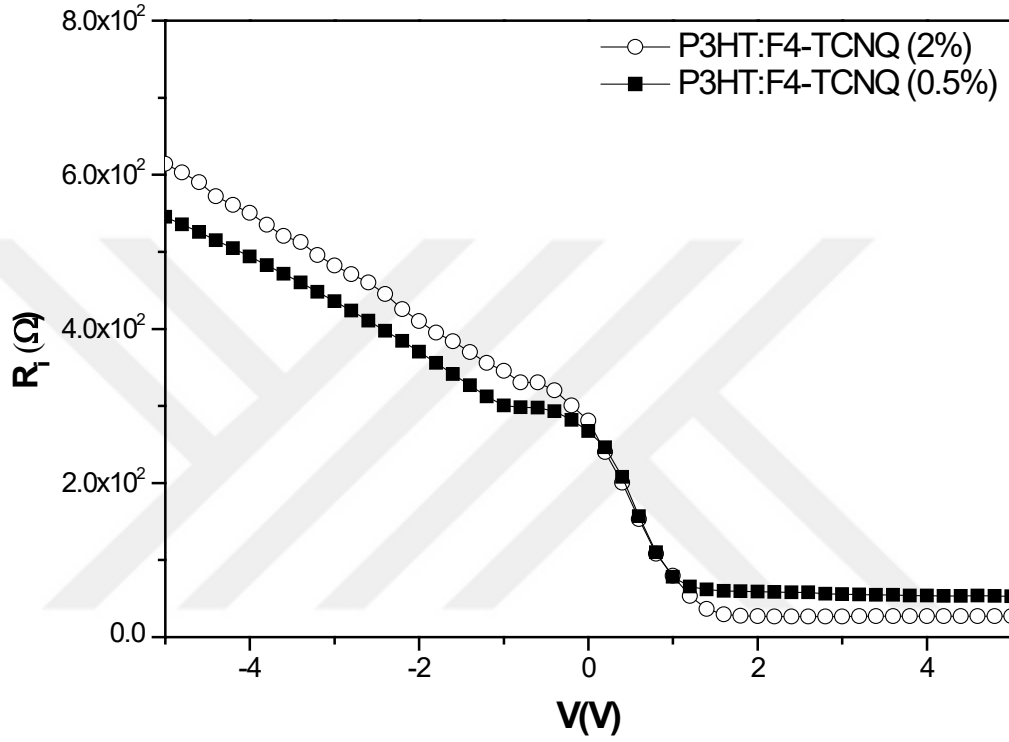
Şekil 4.3. 1 MHz'de Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'leri için F4-TCNQ konsantrasyon bağımlı kapasitans-voltaj karakteristiği.

Şekilde gösterildiği gibi, F4-TCNQ konsantrasyonu, ileri doğru önyargı yoluyla Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerinin $C-V$ profilinde büyük bir etkiye sahiptir. Kapasitans değeri, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerindeki F4-TCNQ konsantrasyonunun artması ile azaldı. Bu, F4-TCNQ katkı moleküllerini, yani F4-TCNQ konsantrasyonunu arttırarak, MPY yapısında yarı iletken ve organik polimer arasındaki arayüzey durumlarının pasifleştirilmesinden kaynaklanıyor olabilir. P3HT:F4-TCNQ organik harmanındaki F4-TCNQ konsantrasyonunu arttırarak, iletkenliğe katkıda bulunan yük sayısındaki azalmaya bağlı olarak daha fazla tuzak durumu kaybolabilir. Dolayısıyla, bu kaybolan yükler MPY SBD kullanılan %2 F4-TCNQ konsantrasyonu için daha düşük kapasitans değerine neden olabilir.

SBD'lerin elektriksel özellikleri, seri direnci (R_s) ve şant direncini (R_{sh}) içeren diyot direncinden (R_i) etkilenir ve SBD'lerin performansını belirlemek için önemlidir. R_i , aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir [25]:

$$R_i = \frac{G_m}{G_m^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.1)$$

Burada G_m ve C_m iletkenlik ve kapasitans değerlerini ve w ise aısal frekansı ifade eder. İdeal diyotlarda R_s değeri düşük (~ 0), R_{sh} değeri oldukça yüksek olmalıdır. R_s ve R_{sh} değerleri, sırasıyla, ileri beslem ve ters beslemde SBD direncini (R_i) tarif eder. R_s ve R_{sh} değerleri, voltajın bir fonksiyonu olarak 1 MHz frekansta Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'leri kullanılan %0,5 ve %2 F4-TCNQ iin Şekil 4.4'de gsterilen R_i - V şemasını kullanarak belirlenebilir.



Şekil 4.4. %0,5 ve %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerinin 1 MHz'de frekansa bağlı R_i - V karakteristiklerinin karşılaştırması.

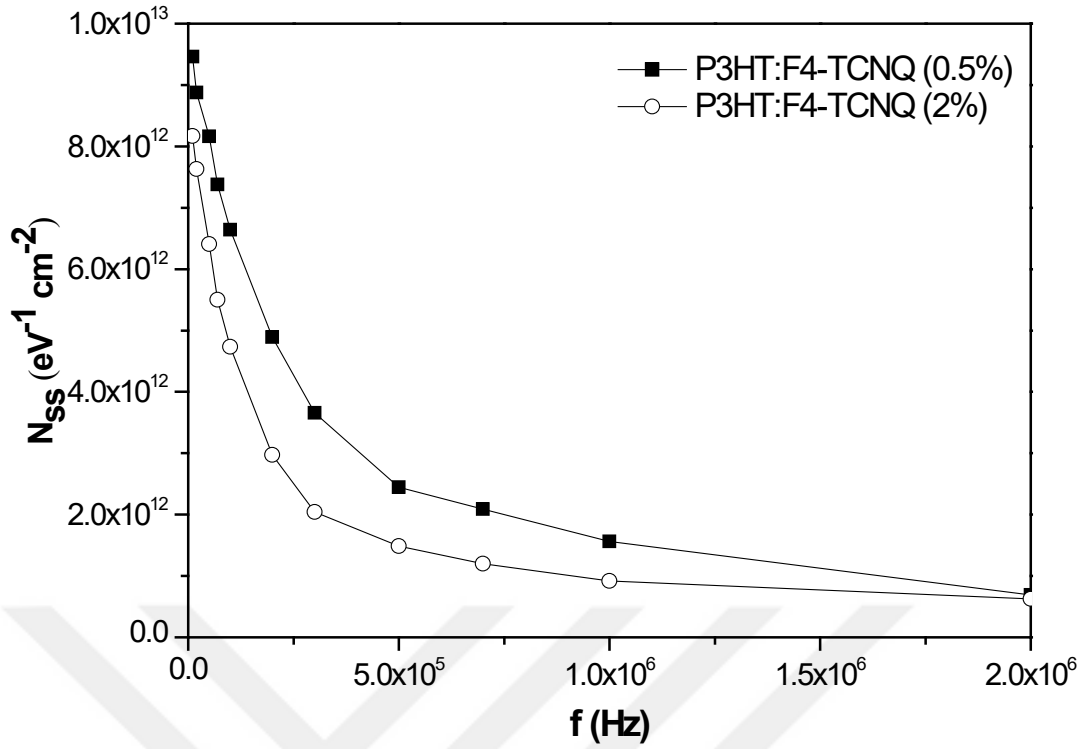
Bu şekli kullanarak, %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan MPY SBD'nin R_s değeri 25,51 Ω , %0,5 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan MPY SBD'nin R_s değeri ise 47,59 Ω olarak bulundu. Bununla birlikte, %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan MPY SBD'lerin şant direnci değerleri sırasıyla -5 V'de 545,38 Ω ve 613,95 Ω olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'deki F4-TCNQ konsantrasyonunun arttırılmasının, daha düşük R_s ve daha yüksek R_{sh} ile daha ideal diyot oluşturduğunu gstermektedir. Son olarak, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'de F4-TCNQ konsantrasyonunun artmasının, düşük kapasitans ve daha düşük seriler direncine neden olduğu ve SBD'lerin N_{ss} değerlerini düşürebileceği sonucuna varılabilir [26].

Bu çalışmada MPY SBD'de kullanılan farklı F4-TCNQ konsantrasyonlarının N_{ss} değerlerini hesaplamak için Hill-Coleman yöntemi kullanılmıştır [27].

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{\left(\frac{G_m}{w}\right)_{max}}{[(G_m/w)_{max} C_{ox}]^2 + (1 - \frac{C_m}{C_{ox}})^2} \quad (4.2)$$

Burada, C_m ve (G_m/w) sırasıyla ölçülen kapasitans ve iletkenliktir, w açısal frekans ($=2\pi f$), A diyot alanı ve C_{ox} ise polimer tabakasının kapasitansıdır. Denklem 4.2 kullanılarak hesaplanan N_{ss} değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyotun N_{ss} değerleri 10 kHz ve 2 MHz arasında artan frekans ile $8,16 \times 10^{12} \text{ cm}^2/\text{eV}$ 'den $6,26 \times 10^{11} \text{ cm}^2/\text{eV}$ 'ye azalırken, aynı frekans aralığı için % 0,5 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyot için N_{ss} değerleri artan frekans ile $9,46 \times 10^{12} \text{ cm}^2/\text{eV}$ ile $6,90 \times 10^{11} \text{ cm}^2/\text{eV}$ değerine azalmıştır.. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında N_{ss} değerlerinin frekansa kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu görülmüştür. Bu bağlılığın nedeni bütün arayüzey durumlarındaki taşıyıcıların ac sinyalinin düşük frekanslarda kolaylıkla takip edebilirken frekans değeri arttıkça arayüzey durumlarındaki taşıyıcıların ac sinyalinin takip edememesi yani arayüzey durumlarındaki taşıyıcıların ac uyarılmaya cevap verememesi olarak açıklanabilir.

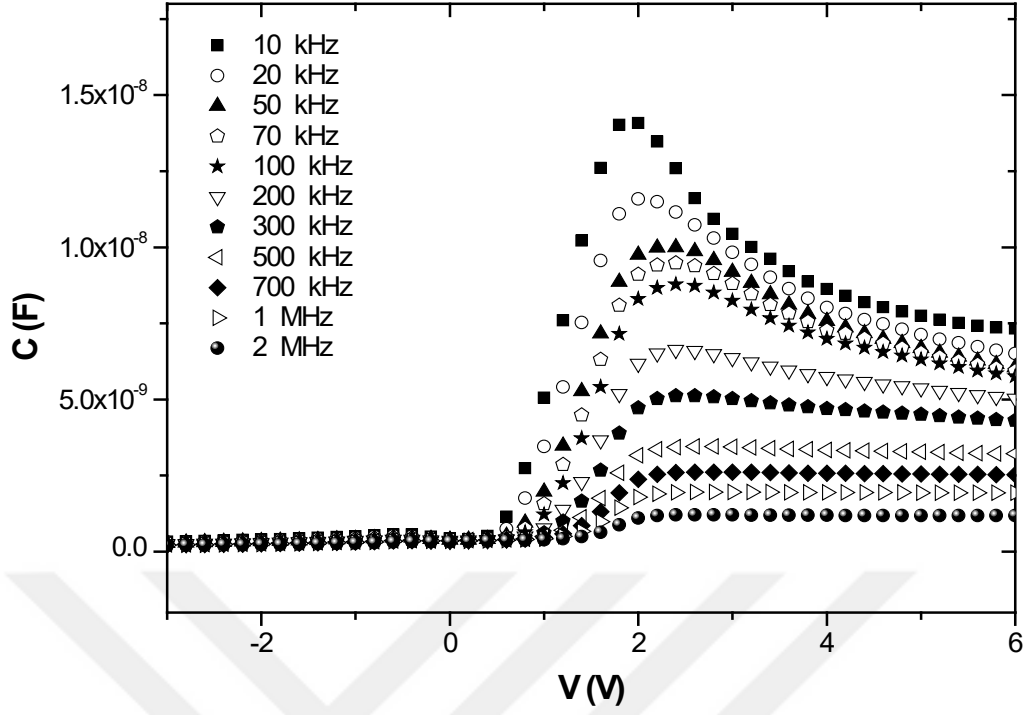
Farklı F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'ler için katkı miktarının N_{ss} profiline olan etkisi incelendiğinde F4-TCNQ konsantrasyonunun arttırılmasının N_{ss} değerlerini düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Organik arayüzey tabakasındaki F4-TCNQ konsantrasyonunun arttırılması ile N_{ss} değerlerinde meydana gelen bu düşüş, bariyer yüksekliği düşürme, MPY yapısındaki yüklerin hareketliliğini arttırma ve yarıiletken ve organik polimer arasındaki pasifleştirmeyi yakalamakla açıklanabilir. Ek olarak, bu sonuçlar N_{ss} değerlerinin Şekil 4.5'de gösterildiği gibi sıklıkla frekansa bağlı olduğunu göstermektedir.



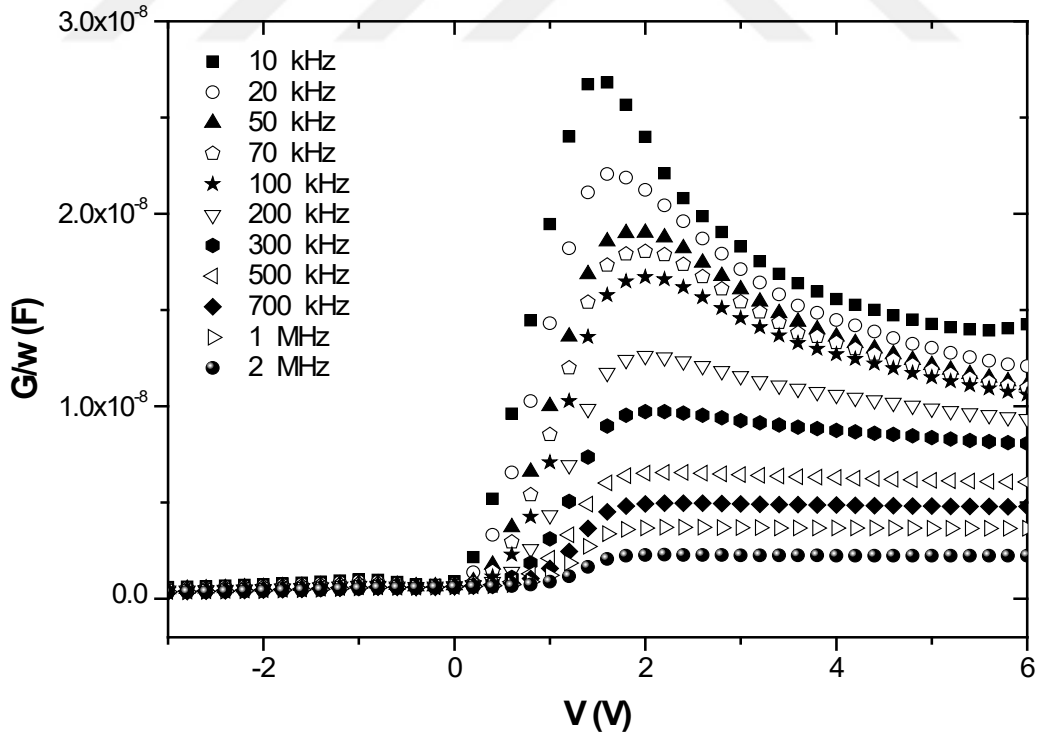
Şekil 4.5. %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerinin frekansa bağlı N_{ss} karakteristiği.

Farklı F4-TCNQ konsantrasyonlarının C_V , R_i ve N_{ss} analizine etkisinin ilk deneysel gözlemlerini içeren sonuçlar, F4-TCNQ konsantrasyonunun artırılmasının Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'nin kalitesini arttırdığını göstermektedir. Bu nedenle, %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD için tercih edilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, aşağıdaki araştırmalar sadece yüksek F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip SBD için gerçekleştirildi.

Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'nin frekans bağımlı (10 kHz – 2 MHz) $C-V$ ve $G/w-V$ özellikleri oda sıcaklığında ölçülmüş ve sırasıyla Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6. %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'nin frekansa bağlı kapasitans-voltaj karakteristiği.



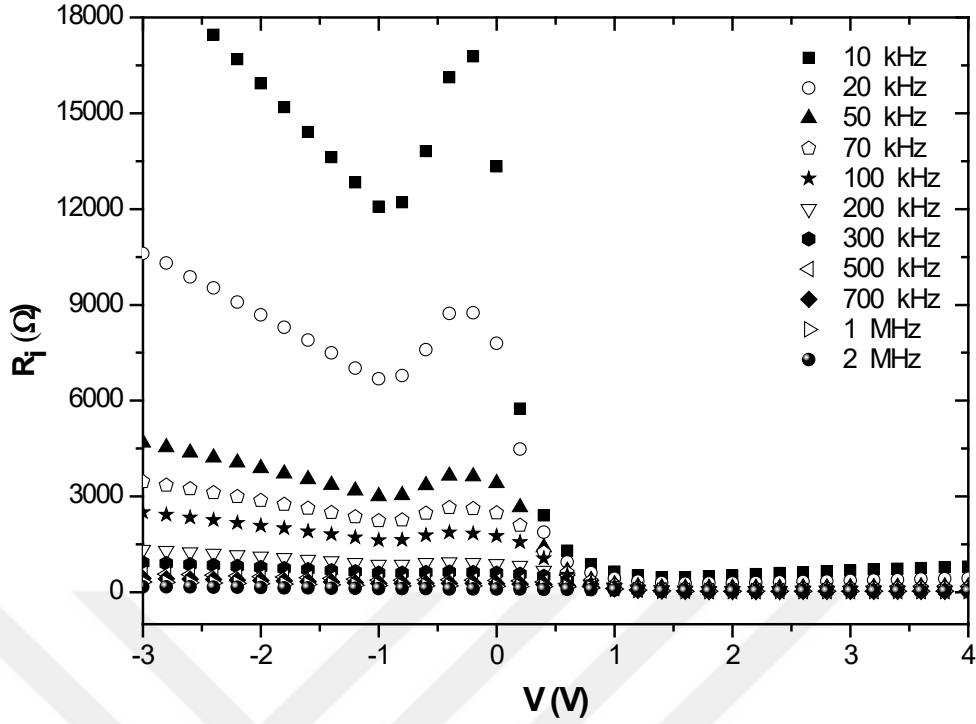
Şekil 4.7. %2 F4-TCNQ kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'nin frekansa bağlı iletkenlik-voltaj karakteristiği.

Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterildiği gibi, C ve G/w parametreleri frekansın ve voltajın fonksiyonudur. Diğer yandan, %2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'lerin $C-V$ ve $G/w-V$ eğrilerinden frekansa bağlı yarılmalar olduğu görülmektedir. Kapasitans ve iletkenlikteki frekansa bağlı olarak oluşan bu yarılmalar arayüzey durumlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Bu tez çalışmasında, metal ile yarıiletken arasına kaplanan arayüzey polimer tabakasının yaklaşık 100 nm olan kalınlığı dolayısıyla arayüzey durumları metale geçemezler ve arayüzey durumları ile yarıiletken dengede olurlar. Ancak, metal ile yarıiletken arasına kaplanan arayüzey tabakanın kalınlığı 30 Å'dan daha küçük olduğunda, arayüzey durumları metale geçebilirler.

Şekil 4.6 ve 4.7'de görüldüğü üzere frekansı düşürmek, özellikle birikim bölgesi olarak adlandırılan düşük gerilim aralığında ($\sim 0 \text{ V} - 2 \text{ V}$) kapasitans ve iletkenlik değerlerini artırır. Ara yüzey polimer tabakasında yüklerin izlediği ac sinyali frekans bağımlı kapasitans ve iletkenlik dağılımlarına neden olur. Bununla birlikte, frekans yüksek frekans sınırlarına ($> 500\text{kHz}$) yükseldiğinde, ac sinyali yükler tarafından kolaylıkla takip edilemez. Bu nedenle, kapasitans değerleri yüksek frekanslarda ($> 500\text{kHz}$) azalma eğilimi gösterir. Dahası, $C-V$ ve $G/w-V$ noktaları pozitif voltaj aralığında pikler sergilemektedir. Bu pikler, frekans 500 kHz'den 2 MHz'e arttıkça giderek kayboldu. $C-V$ ve $G/w-V$ karakteristiklerindeki bu zirvelerin muhtemel sebepleri, bant aralığındaki derin durumların, seri direncin ve arayüzey polimer tabakasındaki yüklerin varlığına bağlı olabilir [28],[29].

%2 F4-TCNQ konsantrasyonuna sahip Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'nin frekansa bağımlı (10 kHz – 2 MHz) direnç- voltaj grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Şekil 4.8'de gösterildiği gibi, R_i değerleri, frekansa kuvvetle bağlı olan küçük gerilim aralığında ($-1 \text{ V} - 1 \text{ V}$) oldukça belirgin piklere sahiptir. Bununla birlikte, bu pikler artan frekans ile azalmaktadır. Frekans değerinin artmasıyla birlikte bu piklerin şiddetinde bir azalma olduğu gözlemlenmekte ve hatta yüksek frekans değerlerinde ($>500 \text{ kHz}$) doğru gidildikçe bu piklerin ortadan kaybolmaya başladığı görülmektedir. R_i 'nin frekansa bağlı davranışı yarıiletken ve polimer arayüzey tabakası arasındaki arayüzey durumlarının lokal yoğunluğuna bağlanabilir [30]-[32].

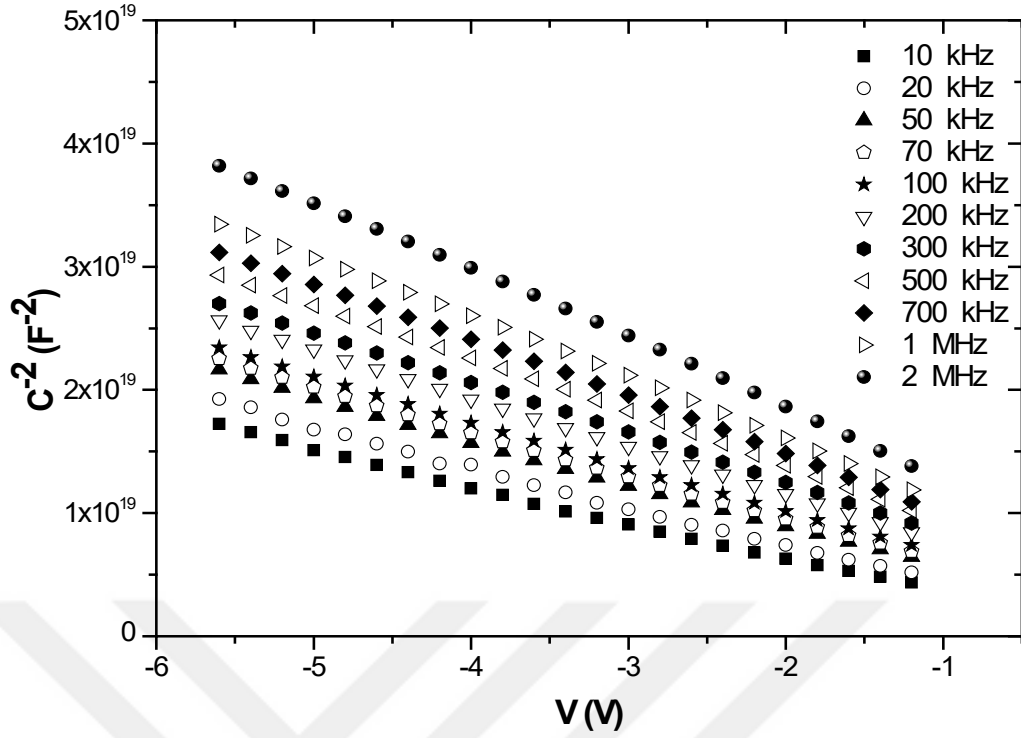


Şekil 4.8. Au/P3HT: F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotunun oda sıcaklığında çeşitli frekanslar için diyot direnci (R_i) karakteristiği.

Kullanılan %2 F4-TCNQ konsantrasyonunun ayrıntılı kapasitans analizi için Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'ler için C^{-2} - V bağıntısı aşağıdaki ilişki kullanılarak elde edilmiştir [32]-[35]:

$$C^{-2} = \frac{2(V_R + V_o)}{q\epsilon_s N_D A^2} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'de, V_R ters beslem voltajı, V_o sıfır beslemde yerleşik voltaj, q elektronik yük, ϵ_s dielektrik sabiti, N_D donör konsantrasyonu ve A diyot alanıdır. Şekil 4.9, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY yapısının frekansa bağlı C^{-2} - V çizimlerini göstermektedir. 10 kHz ile 2 MHz frekans aralığında incelenen her bir frekans değeri için yaklaşık -6 V ile -1 V arasında çizilen C^{-2} - V eğrilerinin lineer bir davranış gösterip neredeyse birbirlerine paralel oldukları görülmektedir. Çizilen bu grafikte lineer davranış gösteren eğrilerin eğimleri alınarak doğru denklemleri elde edilmiştir. Bu doğruların uzatılması sonucunda gerilim eksenini kestiği noktalar V_o kesişim voltajını vermektedir. Grafikten elde edilen V_o kesişim potansiyeli yardımıyla incelenen her bir frekans değeri için V_D difüzyon potansiyeli, N_D donör taşıyıcı yoğunluğu, E_F Fermi enerji seviyesi ve W_D tüketim tabakası genişliği elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Oda sıcaklığındaki Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotunun voltajın bir fonksiyonu olarak C^{-2} - V grafikleri.

Şekil 4.9 kullanılarak, tüm frekans değerleri için aşağıdaki denklemlerle Fermi enerji seviyesi (E_F), tükenme tabakası genişliği (W_D) ve donör atomların taşıyıcı yoğunluğu (N_D) hesaplanmıştır [35]:

$$V_o = V_D - \frac{kT}{q} \quad (4.4)$$

Burada, V_D sıfır beslem difüzyon potansiyelidir. E_F ve N_C şu ifadeler ile elde edilir [34,35]:

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_C}{N_D} \right) \quad (4.5)$$

$$N_C = 4.82 \times 10^{15} T^{3/2} \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right)^{3/2} \quad (4.6)$$

Burada, N_C malzemenin iletkenlik bandı içindeki etkin durum yoğunluğu, m_e^* elektronun etkin kütlesi, m_0 elektronun geri kalan kütlesi ve kT/q ise termal enerjidir [36]. N_D değerleri ise C^{-2} - V grafiğindeki eğimden elde edilir ve aşağıdaki şekildedir:

$$N_D = \frac{2}{q\epsilon_s A^2} \left[-\frac{1}{d(\frac{1}{C^2})/dV} \right] = \frac{2}{q\epsilon_s A^2 \tan(\theta)}$$

(4.7)

Buna ek olarak, $\phi_B(C-V)$ bariyer yüksekliği $C^{-2}-V$ eğrisi kullanılarak ile aşağıdaki ilişki ile hesaplanabilir:

$$\phi_B(C - V) = V_D + E_F - \Delta\phi_B \quad (4.8)$$

Burada $\Delta\phi_B$ görüntü kuvvet bariyerinin düşürülmesidir; ve şu şekilde hesaplanabilir [31,34]:

$$\Delta\phi_B = \left[\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_o} \right]^{1/2} \quad (4.9)$$

Denklem 4.8'de, E_m elektrik alanını ifade etmekle birlikte ve aşağıdaki ilişki ile hesaplanabilir:

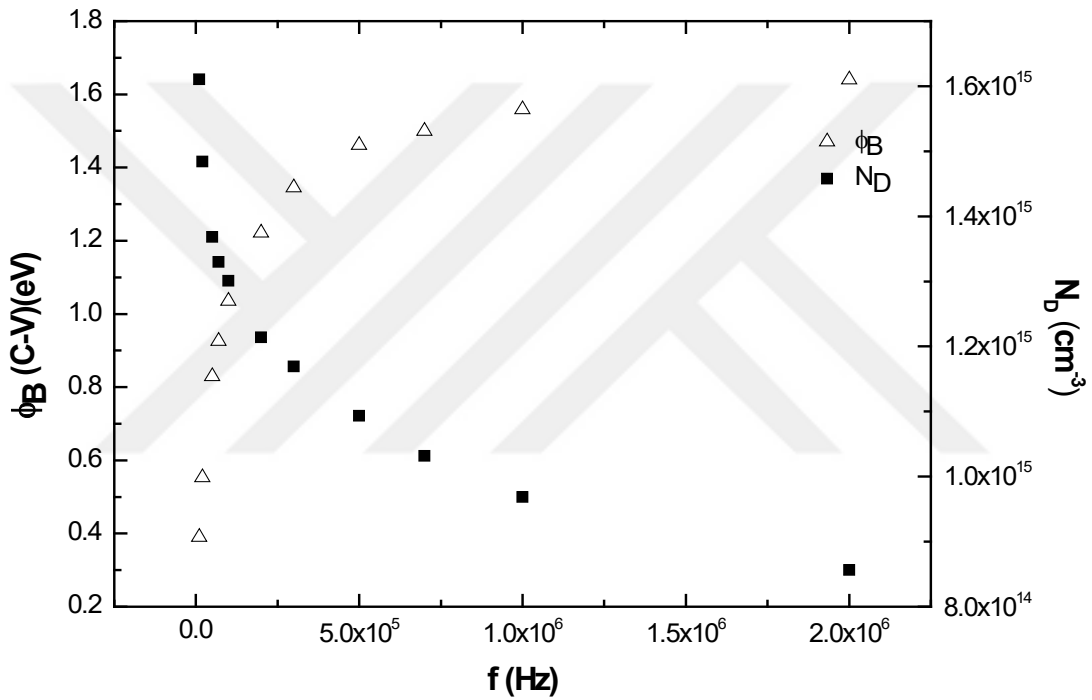
$$E_m = \left[\frac{2qN_D V_D}{\epsilon_s\epsilon_o} \right]^{1/2} \quad (4.10)$$

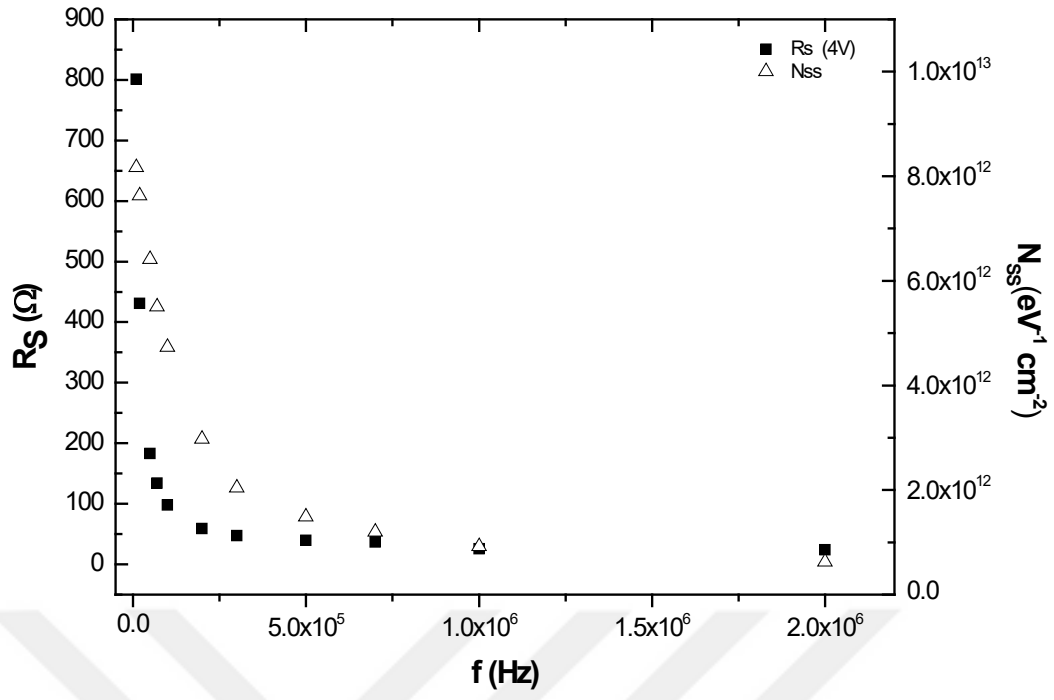
Bu denklemleri kullanarak, 10 kHz ve 2 MHz arasındaki frekans aralığında N_D , V_D , E_F , ϕ_B , $\Delta\phi_B$, R_s ve N_{ss} değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çeşitli frekanslar için elde edilen N_{ss} , R_s , V_D , N_D , W_D , ϕ_B , $\Delta\phi_B$ ve E_F değerleri.

f (kHz)	N_{ss} ($eV^{-1}cm^{-2}$)	R_s (Ω)	V_D (eV)	N_D (cm^{-3})	W_D (cm)	ϕ_B (eV)	$\Delta\phi_B$ (eV)	E_F (eV)
10	$8,16 \times 10^{12}$	$8,01 \times 10^2$	0,16	$1,61 \times 10^{15}$	$3,64 \times 10^{-5}$	0,39	$1,06 \times 10^{-2}$	0,227
20	$7,63 \times 10^{12}$	$4,31 \times 10^2$	0,32	$1,48 \times 10^{15}$	$5,34 \times 10^{-5}$	0,55	$1,23 \times 10^{-2}$	0,229
50	$6,40 \times 10^{12}$	$1,83 \times 10^2$	0,60	$1,37 \times 10^{15}$	$7,55 \times 10^{-5}$	0,83	$1,41 \times 10^{-2}$	0,231
70	$5,50 \times 10^{12}$	$1,34 \times 10^2$	0,69	$1,33 \times 10^{15}$	$8,26 \times 10^{-5}$	0,93	$1,45 \times 10^{-2}$	0,231
100	$4,73 \times 10^{12}$	$9,81 \times 10^1$	0,80	$1,30 \times 10^{15}$	$8,98 \times 10^{-5}$	1,04	$1,49 \times 10^{-2}$	0,232
200	$2,97 \times 10^{12}$	$5,88 \times 10^1$	0,99	$1,21 \times 10^{15}$	$1,03 \times 10^{-4}$	1,22	$1,55 \times 10^{-2}$	0,234
300	$2,04 \times 10^{12}$	$4,75 \times 10^1$	1,11	$1,17 \times 10^{15}$	$1,11 \times 10^{-4}$	1,34	$1,58 \times 10^{-2}$	0,235
500	$1,48 \times 10^{12}$	$3,96 \times 10^1$	1,22	$1,09 \times 10^{15}$	$1,21 \times 10^{-4}$	1,46	$1,59 \times 10^{-2}$	0,237
700	$1,19 \times 10^{12}$	$3,66 \times 10^1$	1,26	$1,03 \times 10^{15}$	$1,26 \times 10^{-4}$	1,50	$1,58 \times 10^{-2}$	0,238
1000	$9,19 \times 10^{11}$	$2,55 \times 10^1$	1,32	$9,68 \times 10^{14}$	$1,33 \times 10^{-4}$	1,56	$1,57 \times 10^{-2}$	0,240
2000	$6,26 \times 10^{11}$	$2,38 \times 10^1$	1,40	$8,56 \times 10^{14}$	$1,46 \times 10^{-4}$	1,64	$1,54 \times 10^{-2}$	0,243

Tablo 4.1'e göre, frekansı arttırarak N_{ss} ve R_s değerleri düşmektedir. Bu davranışın nedeni, ac sinyalinin arayüzey durumlarında bulunan yüklerle kolayca takip edilememesidir. Bu nedenle, yüksek frekans bölgesinde, R_s değerleri frekanstan bağımsız hale gelir ve N_{ss} değerleri azalır. Dahası, frekansı arttırarak N_D değerlerinde azalma ve $\phi_B(C-V)$ değerlerinde artış sağlandı (Şekil 4.10). Bu beklenen davranış, arayüzey durumlarının ve organik ara yüz tabakasının varlığına bağlı olabilir [37]. Şekil 4.11, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD için frekansa bağlı R_s ve N_{ss} değerlerinin değişimini göstermektedir. Bu şekilde gösterildiği gibi, R_s ve N_{ss} değerleri frekansı arttırarak azalma eğilimi gösterir. Frekansa bağlı olan bu aynı davranış, R_s ve N_{ss} arasındaki ilişkiyi ifade emektedir.





Şekil 4.11. Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si Schottky bariyer diyotu için N_{ss} ve R_s 'nin farklı frekanslardaki varyasyonları

5. SONUÇ

Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'lerin kullanıldığı %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonlarının $C-V$ ve $G/w-V$ özellikleri oda sıcaklığında 10 kHz – 2 MHz frekans aralığında araştırılmıştır. Au/P3HT kullanılmış olan %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonunun elektriksel performansı -10 V ile + 10 V arasındaki voltaj aralığında ve 1 MHz frekansında $C-V$ analizi ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyot, %0,5 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan diyottan daha düşük kapasitans değerlerine sahiptir. Kapasitans değerlerinin azaltılması, F4-TCNQ katkı konsantrasyonunun artırılarak tuzak durumlarının pasifleştirilmesindeki gelişmeden kaynaklanıyor olabilir. Dahası, F4-TCNQ konsantrasyonunun artırılması, daha düşük R_s ve daha yüksek R_{sh} 'ye neden olur, bu da daha ideal diyot davranışını gösterir. Öte yandan, Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si SBD'leri kullanılan %0,5 ve %2 F4-TCNQ konsantrasyonu için frekansa bağımlı N_{ss} değerleri karşılaştırıldı. F4-TCNQ konsantrasyonunun artırılması, bariyer yüksekliğinin düşürülmesine, MPY yapısındaki yüklerin hareketliliğinin artırılmasına ve yarı iletken ve organik polimer arasındaki pasifleşmeyi zorlamasına neden olabilecek N_{ss} değerlerini düşürür.

Deneysel sonuçlar, F4-TCNQ konsantrasyonunun artırılmasının Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si diyot kalitesini arttırdığını göstermektedir. Bu nedenle, diyot kullanılan %2 F4-TCNQ konsantrasyonu için tercih edilen elektriksel sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, R_s , N_{ss} , V_D , N_D , W_D , BB, E_F , E_m ve $\Delta\phi_B$ hesaplamalardan oluşan detaylı $C-V$ ve $G/w-V$ analizi sadece 10kHz-2MHz frekans aralığında %2 F4-TCNQ konsantrasyonu kullanılan Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD için gerçekleştirildi.

Au/P3HT:F4-TCNQ/n-Si MPY SBD'nin kapasitans ve iletkenlik değerleri voltaj ve frekans bölgelerine çok bağlıdır. Frekansa bağlı kapasitans ve iletkenlik değerlerinin dağılması, yarı iletken ve polimer arasındaki ara tabakanın R_s ve ara yüzey polimer tabakasındaki yüklerin varlığına bağlanabilir.

C ve G/w 'ye benzer şekilde, R_s voltaj ve frekansı değiştirerek değişir. R_s değerlerinde azalma frekansı artırılarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek frekans bölgesinde

(>500 kHz) R_s değerleri, N_{ss} 'in R_s üzerinde hiğbir etkisinin olmadığı frekans bۆlgesinden bağımsız hale geldiği bulunmuştur.



REFERANSLAR

- [1] E.H. Rhoderick, R.H. Williams, “Surfaces, Interfaces and Schottky Barriers, Metal-Semiconductor Contacts,” 2nd Ed., Oxford, England, Clarendon Press, 1988.
- [2] S.M. Sze, “Physics of Semiconductor Devices,” 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, USA, 1981.
- [3] A. Wilson, “The Theory of Electronic Semiconductors,” Proceeding of the Royal Society A, 1931.
- [4] B.L. Sharma, “Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their Applications”, New York and London, Plenum Press, 1984.
- [5] G. Lu, “Organic Semiconductor”, University of Rochester 2006.
- [6] D.A. Neamen, “Semiconductor Physics and Devices,” 2nd ed., New York, USA, Mc Graw-Hill, 1997.
- [7] E.H. Nicollian, J.R. Brews, “MOS Physics and Technology,” New York, USA, John Wiley & Sons, 1982.
- [8] A.A.M. Farag, I.S. Yahia, M. Fadel, “Electrical and photovoltaic characteristics of Au/n-CdS Schottky diode”, *International Journal of Hydrogen Energy*, c. 34, sayı 11, ss. 4906-4913, 2009.
- [9] A.A.M Farag., A. Ashery, E.M.A. Ahmed, M.A. Salem, “Effect of temperature, illumination and frequency on the electrical characteristics of Cu/p-Si Schottky diode prepared by liquid phase epitaxy”, *Journal of Alloys and Compounds*, c. 495, sayı 1, ss. 116-120 , 2010.
- [10] F. Yakuphanoglu, “The current-voltage characteristics of FSS/n-Si heterojunction diode under dark and illumination”, *Physica B*, c. 388, sayı 1-2, ss. 226-229, 2007.
- [11] B. Akkal, Z. Benamara, N.B. Bouiadjra, S. Tizi, B. Gruzza, “Illumination dependence of I-V and C-V characterization of Au/InSb/InP (100) Schottky structure”, *Applied Surface Science*, c. 253, sayı 3, ss. 1065-1070, 2006.
- [12] Ö. Tüzün Özmen, “Effects of PCBM concentration on the electrical properties of the Au/P3HT:PCBM/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes”, *Microelectronics Reliability*, c. 54, sayı 12, ss. 2766-2774, 2014.
- [13] U. Aydemir, “Au/SrTiO₃/n-Si (MFS) Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin I-V, C-V ve DLTS metodu ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2009.

- [14] A. Goetzberger, E. Klausmann, M.J. Schulz, "Interface states on semiconductor /insulator surfaces," *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, c. 6, sayı 1, ss. 226-233, 1976.
- [15] D.K. Schroder, "Semiconductor Material and Device Characterization," 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, pp. 337-379, 1998.
- [16] S.K. Ghandhi, "VLSI Fabrication Principles," John Wiley & Sons, New York, pp. 401-405, 1983.
- [17] S.R. Hofstein, G. Warfield, "Physical limitations on the frequency response of a semiconductor surface inversion layer", *Solid-State Electronics*, c. 8, sayı 3, ss. 321-341, 1965.
- [18] R. Hackam, P. Harrop, "Electrical properties of nickel-low-doped n-type gallium arsenide Schottky-barrier diodes", *IEEE Transactions On Electron Devices*, c. 19, sayı 12, ss. 1231-1238, 1972.
- [19] F. Yakuphanoglu, "Determination of electronic properties of Al/p-Si/composite organic semiconductor (MIOS) junction barrier by current-voltage and capacitance-voltage methods", *Synthetic Metals*, c. 158, sayı 3-4, ss. 108-112, 2008.
- [20] T.J. Prosa, M.J. Winokur, R.D. McCullough, "Evidence of a novel side chain structure in regioregular poly (3-alkylthiophenes)", *Macromolecules*, c. 29, sayı 10, ss. 3654-3656, 1996.
- [21] X. Han, Z. Wu, B. Sun, "Enhanced performance of inverted organic solar cell by a solution-based fluorinated acceptor doped P3HT:PCBM layer," *Organic Electronics*, c. 14, sayı 4, ss. 1116-1121, 2013.
- [22] Y. Hames, Z. Alpaslan, A. Kösemen, S.E. San, Y. Yerli, "Electrochemically grown ZnO nanorods for hybrid solar cell applications," *Solar Energy*, c. 84, sayı 3, ss. 426-431, 2010.
- [23] F. Deschler, D. Riedel, A. Deák, B. Ecker, E. Von Hauff, E. Da Como, "Imaging of morphological changes and phase segregation in doped polymeric semiconductors," *Synthetic Metals*, c. 199, ss. 381-387, 2015.
- [24] İ. Taşcıoğlu, Ö. Tüzün Özmen, H.M. Şağban, E. Yağlıoğlu, Ş. Altındal, "Frequency dependent electrical and dielectric properties of Au/P3HT:PCBM:F4-TCNQ/n-Si Schottky barrier diode," *Journal of Electronic Materials*, c. 46, sayı 4, ss. 2379-2386, 2017.
- [25] E.H. Nicollian, A. Goetzberger, "MOS conductance technique for measuring surface state parameters," *Applied Physics Letters*, c. 7, sayı 8, ss. 216-219, 1965.

- [26] Ö. Tüzün Özmen, E. Yağlıoğlu, “Electrical and Interfacial Properties of Au/P3HT:PCBM/n-Si Schottky Barrier Diodes at Room Temperature,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, c. 26, ss. 448-454, 2014.
- [27] W.A. Hill, C.C. Coleman, “A single-frequency approximation for interface-state density determination,” *Solid-State Electronics*, c. 23, sayı 9, ss. 987-993, 1980.
- [28] H.C. Card, E.H. Rhoderick, “Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, c. 4, sayı 10, ss. 1589-1601, 1971.
- [29] R. Sahingöz, H. Kanbur, M. Voigt, C. Soykan, “The determination of interface states and series resistance profile of Al/polymer/PEDOT-PSS/ITO heterojunction diode by I–V and C–V methods,” *Synthetic Metals*, c. 158, sayı 17-18, ss. 727-731, 2008.
- [30] B. El-Kareh, R.J. Bombard, “Introduction to VLSI Silicon Devices: Physics, Technology and Characterization,” Kluwer Academic Publishers, Boston, 1986 .
- [31] E.H. Rhoderick, “Monographs in Electrical and Electronic Engineering: Metal-Semiconductor Contacts,” Oxford University Press, Oxford, 1978.
- [32] M.M. Bülbül, S. Zeyrek, “Frequency dependent capacitance and conductance–voltage characteristics of Al/Si₃N₄/p-Si(100) MIS diodes,” *Microelectronic Engineering*, c. 83, sayı 11-12, ss. 2522-2526, 2006.
- [33] F. Parlaktürk, A. Agasiev, A. Tataroğlu, Ş. Altındal, “Current-Voltage (I-V) and Capacitance-Voltage (C-V) Characteristics of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SnO₂ Structures,” *G.U. Journal of Science*, c. 20, sayı 4, ss. 97-102, 2007.
- [34] S.M. Sze, “Semiconductor Devices: Physics and Technology,” John Wiley & Sons, USA, 1985.
- [35] S. Zeyrek, E. Acaroğlu, Ş. Altındal, S. Birdoğan, M. M. Bülbül, “The effect of series resistance and interface states on the frequency dependent C–V and G/w–V characteristics of Al/perylene/p-Si MPS type Schottky barrier diodes,” *Current Applied Physics*, c. 13, sayı 7, ss. 1225-1230, 2013.
- [36] C. Kittel, “Introduction to Solid State Physics,” John Wiley & Sons, USA, 2005.
- [37] F. Parlaktürk, Ş. Altındal, A. Tataroğlu, M. Parlak, A. Agasiev, “On the profile of frequency dependent series resistance and surface states in Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/n-Si(MFIS) structures,” *Microelectronic Engineering*, c. 85, sayı 1, ss. 81-88, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aslıhan DANACI
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.05.1984 / Elbistan
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aslihancimen2@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Fizik Bölümü	Düzce Üniversitesi	2009
Lise		İzmir Özel Çağdaş Eğitim Koleji	2002

YAYINLAR

1) A. DANACI, H. M. Şağban, T. Özdemir, Ö. Tüzün Özmen, “F4-TCNQ concentration dependent capacitance-voltage ($C-V$) and conductivity-voltage ($G/w-V$) characteristics of the Au/P3HT:F4-TCNQ/N-Si (MPS) Schottky barrier diodes”, *International Journal of Engineering Science Invention*, c. 7, sayı 7, ss. 17-25, 2018.

PROJELER

1) “Au/P3HT:F4TCNQ/n-Si Schottky Bariyer Diyotların F4-TCNQ Konsantrasyonuna Bağlı $C-V$ ve $G/w-V$ Karakterlerinin İncelenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, Proje No: BAP 2017.05.02.596, Araştırmacı, 2017-2019.