



**MPS YAPILARIN HAZIRLANMASI VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN
FREKANS VE VOLTAJA BAĞLI İNCELENMESİ**

Seda KARADAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Seda KARADAŞ tarafından hazırlanan “MPS YAPILARIN HAZIRLANMASI VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN FREKANS VE VOLTAJA BAĞLI İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Abdullah YILDIZ

Fizik Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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

.....

Üye: Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 07/07/2020

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.

Seda KARADAŞ

07/07/2020

MPS YAPILARIN HAZIRLANMASI VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN FREKANS VE VOLTAJA BAĞLI İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Seda KARADAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Al/(0.05Grafen-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapılar oluşturularak, empedans ($Z=1/Y=G+j\omega C$) ölçümleri ile kompleks dielektrik sabiti ($\epsilon^*=\epsilon'-j\epsilon''$), kompleks elektrik modülü ($M^*=M'+jM''$) ve elektriksel iletkenlik (σ_{ac}) geniş frekans (5kHz-5MHz) ve voltaj ($\pm 4V$) aralığında, oda sıcaklığında incelendi. Kapasitörde daha fazla yük/enerji depolamak için yüksek dielektrikli (0.05Gr-PVA) organik arayüzey tabakası Al ve p-Si arasında elektron-eğirme yöntemi ile büyütüldü. Bu ara katmanın kullanılmasıyla MPS'nin kapasitansının önemli ölçüde arttığını gözlemlendi. ϵ' değeri 32,586'dan (5 kHz'de) 1,132'ye (5 MHz'e) değişti. ϵ' ve ϵ'' değerlerinin artan frekans ile azalması yüzey/dipol polarizasyonu ve arayüzey durumlarının (N_{ss}) varlığına atfedildi. Düşük frekanslarda M'' 'nin gözlenen düşük değerleri, uzun mesafeli bir şarj taşıyıcı mobilitesi ile ilgilidir. Diğer yandan, $\tan\delta-V$ ve $M''-V$ 'de grafiklerinde pik gözlemlendi. Dipoller farklı yarıömürlere (τ) sahip arayüzey tuzakları ve düşük frekanslarda kolay bir şekilde takip edilebilir. Bu sebeple, büyüklük ve konumlarının frekansla değişir. Ek olarak, (0.05Gr-PVA) organik arayüzey tabakasının, geleneksel yolla kullanılan yalıtkan yerine, esnekliği, düşük enerji tüketimi ve kolay büyütme prosesi açısından başarıyla kullanılabileceği gösterildi.

Bilim Kodu : 20211
Anahtar Kelimeler : Dielektrik parametrelerin ve elektrik modülüsünün frekans-voltaj bağımlılığı; (Grafen-katkılı PVA), polimer arayüzey tabaka, N_{ss}
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

PREPARATION OF THE MPS STRUCTURES AND THE INVESTIGATION OF DIELECTRIC PROPERTIES AS A FUNCTION OF FREQUENCY AND VOLTAGE

(M. Sc. Thesis)

Seda KARADAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

Real and the imaginary components of complex dielectric ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$), complex electric modulus ($M^* = M' + jM''$), and electrical conductivity (σ_{ac}) of the fabricated Al/(0.05Graphene-PVA)/p-Si/Al (MPS) structures were investigated in the wide frequency (5kHz-5MHz) and voltage ($\pm 4V$) range by using impedance ($Z=1/Y=G+j\omega C$) measurements at room temperature. To get more storage charges/energy in capacitor, high-dielectric (0.05Gr-PVA) organic interfacial layer was grown between Al and p-Si by electrospinning method. We observed that capacitance of MPS is considerably increased by using this interlayer. The value of ϵ' was changed from 32.586 (at 5 kHz) to 1.132 (at 5 MHz). The decreases in ϵ' and ϵ'' with increasing frequency was attributed to the existence surface/dipole polarization and surface states (N_{ss}). The observed lower-values of M' at low-frequencies is related to a long-range mobility of charge carriers. On the other hand, the observed peak in the $\tan\delta$ -V and M'' -V plots and changes their magnitude and position with frequency because of at low frequencies, dipoles have enough time to orient themselves in the direction of the alternating field contrary to high frequency. Additionally, we show that organic interlayer can be successfully used instead of insulator in respect of its flexibility, low-energy consumption, and easy grown processes.

Science Code : 20211

Key Words : Frequency-voltage dependence of dielectric parameters and electric modulus; (Graphene-doped PVA) polymer interlayer, N_{ss}

Page Number : 67

Supervisor : Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI'na, bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan kaçınmayan sayın Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a sonsuz teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Eğitim öğretim hayatım boyunca ışığından faydalandığım Mustafa Kemal ATATÜRK'e sonsuz teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, çalışmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarıma, Oğuzcan TAŞDEMİR, Merve Nur AKYOL ve Nurcihan TÜBE GÜRÇAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	7
2.1. Metal- Yarıiletken Kontakların Schottky-Mott Teorisi	7
2.2. Metal-Silisyum (Metal-Yarıiletken) Yapılar	15
2.3. Schottky Diyotlarda Kapasitans / Kondüktans - Voltaj - Frekans (C/G-V-f) Özellikleri	17
2.4. Dielektrik Malzemeler	18
2.5. Paralel Plakalı Kondansatörler	19
2.6. Dielektrik Polarizasyon (Kutuplanma)	21
2.7. Dielektrik Malzemelerin Mekanizmaları	21
2.7.1. Elektronik veya optik polarizasyon	22
2.7.2. Atomik polarizasyon	23
2.7.3. Yönelme polarizasyonu	23
2.7.4. Arayüzey veya uzay yükü polarizasyonu	24
2.8. Literatür Araştırması	26

Sayfa

3. DENEYSEL YÖNTEM	31
3.1. Giriş	31
3.1.1. Polivinil Alkolün (PVA) temel özellikleri	31
3.1.2. Grafenin (Gr) temel özellikleri	32
3.2. p-Si Kristalinin Temizlenmesi	33
3.3. Ohmik Arka Kontakların Oluşturulması	34
3.4. Elektro-Eğirme Metodu	34
3.5. Schotkky/Doğrultucu Ön Kontak Oluşumu.....	36
4. DENEYSEL SONUÇLAR	39
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	57
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. n-tipi ve p-tipi Si Engelleri	16
Çizelge 4.2. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si için tek frekansta hesaplanan bazı elektriksel değerler	39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal ve n-tipi yarı iletken enerji bant diyagramları $\Phi_m > \Phi_s$ (a) birbirinden bağımsız nötr malzemeler (b) kontak edildikten sonra termal denge durumu	10
Şekil 2.2. Enerji bant diyagramları (a) Termal denge (b) doğru öngerilim (c) ters ön gerilim	12
Şekil 2.3. Metal ve n-tipi yarıiletkenin kontak durumu elektron enerji bant diyagramları $\Phi_m < \Phi_s$ (a) birbirinden bağımsız malzemeler (b) termal denge altında kontak durumu (c) yarıiletkendeki negatif öngerilim uygulanma durumu (d) yarıiletkendeki pozitif öngerilim uygulanma durumu	13
Şekil 2.4. Metal ve p-tipi yarıiletkenin kontak durumu elektron enerji bant diyagramları $\Phi_m < \Phi_s$ (a) birbirinden bağımsız malzemeler (b) kontak sonrası termal denge durumu	14
Şekil 2.5. Vakumlanmış temiz metal yüzeye sahip metalin iş fonksiyonunun atom numarasına karşı değişimi.....	15
Şekil 2.6. İdeale yakın durumdaki MIS yapının şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.7. MIS yapının gösterimi	18
Şekil 2.8. Zıt yüklü paralel plakalı kondansatör	19
Şekil 2.9. Dielektrik malzemeli paralel plakalı kondansatör	20
Şekil 2.10. Dipollerin dış elektrik alana maruz bırakıldıklarındaki yönelimleri	21
Şekil 2.11. Elektronik polarizasyonun şematik gösterimi (a) Elektrik alanın olmadığı durum (b) elektrik alanın uygulandığı durum dış elektrik alana maruz bırakıldıklarındaki yönelimleri	22
Şekil 2.12. Yönelme polarizasyonunun şematik gösterimi (a) elektrik alanının olmadığı durum (b) elektrik alanın uygulandığı durum.....	24
Şekil 2.13. Harmonik kuvvetin cevabı ve farklı sönüm değerlerindeki hareketler	25
Şekil 2.14. Elektrik alanın uygulanmadığı durumda arayüzey polarizasyonu.....	25
Şekil 2.15. Dielektrik bir malzemenin polarizasyon mekanizmalarının dielektrik sabiti ve logaritmik frekans değerine göre grafiğinin gösterimi.....	25
Şekil 3.1. Polivinil alkolün kimyasal yapısı.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2. Grafenin kimyasal yapısı	33
Şekil 3.3. Ohmik ve doğrultucu kontakların oluşturulmasında kullanılan bakır maskeler	34
Şekil 3.4. Elektro-eğirme yönteminin şematik gösterimi	36
Şekil 3.5. Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al yapının şematik gösterimi	36
Şekil 3.6. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si yapının ölçümlerinde kullanılan deneysel ölçüm sistemi	37
Şekil 4.1. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki ϵ' -V grafiği	41
Şekil 4.2. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki ϵ'' -V grafiği	41
Şekil 4.3. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki $\tan\delta$ -V grafiği.....	42
Şekil 4.4. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesindeki ϵ' -lnf grafiği	44
Şekil 4.5. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için terslenim-tüketim bölgesindeki ϵ' -lnf grafiği.....	44
Şekil 4.6. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesindeki ϵ'' -lnf grafiği	45
Şekil 4.7. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için terslenim-tüketim bölgesindeki ϵ'' -lnf grafiği.....	45
Şekil 4.8. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesindeki $\tan\delta$ -lnf grafiği.....	46
Şekil 4.9. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesindeki $\tan\delta$ -lnf grafiği.....	46
Şekil 4.10. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki M' -V grafiği.....	48
Şekil 4.11. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki M'' -V grafiği	49
Şekil 4.12. Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun yığılım bölgesi için M' -ln f grafiği.....	49
Şekil 4.13. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesi için M' -ln f grafiği.....	50
Şekil 4.14. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesi için M'' -ln f grafiği	50
Şekil 4.15. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için terslenim-tüketim bölgesi için M' -lnf grafiği.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki σ_{ac} -V grafiği.....	53
Şekil 4.17. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun σ_{ac} -lnf grafiği.....	53
Şekil 4.18. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun yığılım bölgesindeki σ_{ac} -lnf grafiği.....	54
Şekil 4.19. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesindeki σ_{ac} -ln f grafiği.....	54
Şekil 4.20. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun (-4V) degerindeki ln için terslenim-tüketim bölgesindeki σ_{ac} -lnf grafiği.....	55

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Hazırlanan Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al yapının kapasitans ve empedans ölçümlerinde kullanılan (a) Keithley 2400 Akım Kaynağı ve (b) HP4192A LF Empedans Analiz Cihazı	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
C_o (F)	Boş kondansatörün sığası
C_i (F)	Arayüzey tabakanın sığası
C_m	Ölçülen kapasite değeri
E	Elektrik alan
E_c (eV)	Yarıiletkenin iletkenlik bantı
E_g (eV)	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_F (eV)	Fermi enerji seviyesi
E_v (eV)	Yarıiletkenin valans bantı
F	Sığa birimi-Farad
G_m	Ölçülen iletkenlik değeri
Hz	Frekans birimi-Hertz
I (A)	Akım
I_o (A)	Ters beslem doyma akımı
J (A.cm ⁻²)	Ters beslem doyma akım yoğunluğu
M^*	Kompleks elektrik modülü
M'	Kompleks elektrik modülünün reel kısmı
M''	Kompleks elektrik modülünün sanal kısmı
n	İdealite faktörü
R_s (Ω)	Yapının seri direnci
R_{sh} (Ω)	Yapının kısa devre direnci
$\tan\delta$	Tanjant kayıp
V (V)	Devre üzerine uygulanan gerilim
V_D (V)	Diyot üzerine düşen gerilim
V_F (V)	Diyota uygulanan doğru beslem gerilimi
V_R (V)	Diyota uygulanan ters beslem gerilimi
ϵ_o (F/m)	Boşluğun elektrik geçirgenliği

Simgeler**Açıklamalar**

ϵ^*	Kompleks dielektrik sabiti
ϵ'	Kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ''	Kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmı
σ	Elektrik iletkenlik
$\sigma_{ac}(S/cm)$	AC elektriksel iletkenlik
$\sigma_{dc}(S/cm)$	DC iletkenlik
$\Phi_B(eV)$	Schottky engel yüksekliği
$\Phi_{Bo}(eV)$	Sıfır beslem engel yüksekliği
$\Phi_e(eV)$	Etkin engel yüksekliği
$\Phi_m(eV)$	Metalin iş fonksiyonu
$\Phi_s(eV)$	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
$\chi_e(eV)$	Elektron yakınlığı
τ	Yarı ömür
$\omega(=2\pi f)$	Açısal frekans

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AC	Alternatif akım
CMs	İletim mekanizmaları
C-V	Kapasitans- Voltaj
DC	Doğru akım
Gr	Grafen
G/ ω -V	İletkenlik- voltaj
I-V	Akım-Voltaj
MS	Metal-Yarıiletken (Metal-Semiconductor)
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken
MPS	Metal-Polimer-Yarıiletken
N_{ss}	Arayüzey durumları
PVA	Polivinil Alkol

1. GİRİŞ

Elektronik cihaz/aygıt teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, temel elektronik devre elemanı olarak kullanılan diyot teknolojisinde de hızlı gelişmelere yol açmaktadır. Elektronik cihaz teknolojisinde yaygın bir şekilde kullanılan diyotlar, elektriği belirli şartlar altında iletebilen; silisyum (Si), germanyum (Ge), galyum-arsenik (GaAs) gibi temel yarıiletken malzemeler kullanılarak üretilirler. Yarıiletkenler, belirgin elektriksel özelliklere sahip olan kristal katı malzemeler olup saf ve katkılı olmak üzere ikiye ayrılır. İletkenlerin aksine akım, hem elektronlar hem de deşikler tarafından sağlanır. Sahip oldukları direnç, yalıtkan malzemeler kadar yüksek değildir ve sıcaklıkla ters orantılıdır. Yarıiletken malzemelerin elektriksel özellikleri katkılama oranına, sıcaklığa, frekansa, uygulanan gerilim veya elektrik alanına, yönelimlerine ve aydınlatma şiddetine göre değişebilir.

Temel yarıiletkenlerden Si ve Ge periyodik cetvelin 4. sütununda bulunurlar. Ancak son yörüngesinde 5 elektron olan fosfor (P), arsenik (As) ve antimon (Sb) gibi metallerle katkıldığında; yarıiletkenin son yörüngesindeki 4 elektron kovalent bağ oluştururken 1 elektron fazlalığı oluşur. Bu tip yarıiletkenler n-tipi yarıiletken ve katkılanan atomlara ise donör (verici) katkı atomları denilir. Aksine, son yörüngesinde 3 elektron olan bor (B), indiyum (In) ve galyum (Ga) gibi atomlar katkıldığında ise yarıiletkenin dış yörüngesindeki 4 elektrondan sadece 3 tanesi kovalent bağ teşkil ederken 1 bağ açık kalır. Sistemde elektron eksikliği veya hole (deşik) fazlalığı olduğu için bu tip yarıiletkenler de p-tipi yarıiletkenler ve katkı atomları ise acceptor (alıcı) katkı atomları olarak bilinir. N-tipi yarıiletkenlerde akımın büyük bir çoğunluğu elektronlar tarafından sağlanırken bir kısmı da deşikler tarafından sağlanır. Bu yüzden n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk taşıyıcı elektronlar ve azınlık taşıyıcılar deşikler iken p-tipi yarıiletkenlerde ise durum tamamen bunun tersinedir. Son yörüngede bulunan elektronlar valans veya değerlik elektronları olarak adlandırılır. Çekirdeğe daha yakın yörüngelerde bulunanlar ise valans elektronları olarak adlandırılır. Yarıiletkenlerde iletimin olabilmesi için taşıyıcıların valans bandından iletim bandına optik veya termal yollarla uyarılması gerekir.

Bir n-tipi yarıiletken ile p-tipi yarıiletken, yüksek sıcaklık ve vakum altında kontak edildikten sonra; n-tipi yarı iletkenin ön yüzeyinde çoğunlukta olan elektronlar diffüzyon yoluyla p- tipi yarıiletkenin ön yüzeyine geçerlerken, p-tipi yarı iletkenin ön yüzeyinde

çoğunlukta olan deşikler ise n-tipi yarıiletkenin ön yüzeyine geçerek eklem/kavşak bölgesinde iç bir elektrik alan oluştururlar. Termal denge durumunda iki taraftaki taşıyıcı sayısı eşit olduğu için ($n=p$) bir dış devre üzerinde net bir akım oluşturmazlar. Ancak dış bir elektrik alana maruz bırakıldıklarında, elektronlar bu iç elektrik alan ile ters yönünde hareket ederken deşikler ise aynı yönde hareket ederek net bir akım oluştururlar. Bir p-tipi yarıiletkenle n-tipi yarıiletken kontak edilerek oluşan diyotlara PN eklem diyotları, bir metal ile n veya p-tipi yarıiletken kontak edilerek oluşan diyotlara ise metal-yarıiletken (MS) kontaklar veya diyotlar denilir.

Bir metal ile bir yarıiletken malzeme uygun şartlarda kontak edildiğinde ise metal-yarıiletken yapılar oluşur. Bu yapılara Schottky engel diyotları (SBD) da denir. Metal ile yarıiletken kontak edildiğinde aralarında iki taraftaki yükler eşit olana kadar yük geçişleri olur ve termal/elektrostatik denge durumuna gelindiğinde eklem bölgesinde (M/S) net bir elektrik alan ve dolayısıyla bir potansiyel engel yüksekliği oluşur. Bu mekanizma yarıiletkenin p-tipi ve n-tipi olmasına göre değişir.

Schottky engel diyotları, eklem her iki tarafında çoğunluk taşıyıcıları olarak elektronlara sahip olan tek kutuplu cihazlardır. Bu sebeple PN eklemlerinin tersine, eklem çevresinde tüketim tabakası oluşmaz. PN eklemleri ile karşılaştırıldığında, eklem boyunca çok daha az voltaj düşüşü sağlar. Schottky engel diyotlarında, akım iletimi sadece elektronların hareketi nedeniyle gerçekleşir ve ters yönde delik hareketi mevcut değildir. Bu durum kaçak akımının ihmal edilebilir olduğunu gösterir. PN eklemlerine göre SBD'lerin anahtarlama hızı ve sistem verimliliği çok daha yüksektir.

Elektronik cihaz teknolojisindeki gelişmelerin etkisi, günümüzde hala popüler bir konu olan metal yarıiletken (MS) yapılarda veya Schottky diyotlarında (SBD) gösterilmiştir. Bilim adamları son yıllarda, daha kaliteli Schottky diyotlar üretebilmek için MS yapılara organik/polimer bir arayüzey tabakası ekleyerek elektronik cihaz parametrelerini değiştirmeye çalışmaktadırlar. Günümüzde, temel bilimsel ve teknik problem, klasik metodlarla hazırlanan metal-yarıiletken (MS) yapıların performansının artırılması ve maliyetlerinin düşürülmesidir. Çünkü metal ile yarıiletken arasına termal oksidasyon gibi geleneksel yöntemlerle büyütülen SiO_2 gibi yalıtkanlar, yüksek kaçak akımlara, çok sayıda istenmeyen arayüzey durumların (N_{ss}) M/S arasında oluşması ve yüksek seri dirençlere (R_s) yol açar. Üstelik bu yalıtkan veya ferroelektrik gibi arayüzey tabakalarının termal ve

püskürtme gibi yöntemlerle büyütülmesi oldukça pahalı ve uzun bir süre almaktadır. Bu nedenle son zamanlarda klasik yalıtkanlar yerine daha ucuz, daha esnek, daha hafif ve sol-jel, elektro-eğirme (electro-spinning) gibi kolay yöntemlerle hazırlanabilen saf ya da uygun oranda metal veya metal-oksit katkılı polimerler kullanılmaya başlanmıştır [1-5]. Bilindiği gibi yarıiletken aygıtların (MS, MIS/MOS, MPS) performansı bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin başında; M/S arayüzeyinde büyütülen arayüzey tabakanın kalınlığı ve homojenliği, dielektrik sabiti, yine M/S arayüzeyinde oluşan engelin biçimi, genelde arayüzey tabaka ile yarıiletken arasında oluşan arayüzey durumları (N_{ss}) ve yaşam süreleri (τ), sıcaklık, frekans, voltaj ve yarıiletken katkılanan alıcı veya verici katkı atomlarının yoğunluğuna (N_A veya N_D) bağlıdır [6-9].

Bu nedenlerden dolayı, son zamanlarda yalıtkan veya oksitler yerine yüksek dielektrikli ferroelektrik, metal veya grafen katkılı polimer arayüzey tabakalı (MIS, MPS, MFS) yapılar önemli bazı fiziksel, optik ve kimyasal özellikleri nedeniyle yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [7-12]. Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan/polimer/organik tabaka büyütüldüğünde, MIS/MPS/MOS tipi yapılar oluşur. Yalıtkan malzemelerin iletkenliklerinin ve dielektrik sabitlerinin düşük olması bir dezavantaj gibi görünmesine rağmen yalıtkanların hem iletkenliği hem de dielektrik sabitleri belirli bir oranda (%1-10) uygun metallerin katkılanması ile artırılabilir. Yalıtkan malzemelere metal/kompozit malzemeler katkıldığında; arayüzey tabakası olarak kullanıldığı için metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder ve metal ile yarıiletken arasındaki difüzyon olayının gerçekleşmesini azaltarak yük geçişlerini düzenler. Özellikle polimer arayüzey tabakalı MPS yapıların hazırlanması ve elektrik ile dielektrik özelliklerinin geniş bir sıcaklık, frekans ve voltaj aralığında incelenmesi oldukça yeni bir konu olup büyük bir öneme sahiptir. Çünkü, son zamanlarda yapılan çok sayıda deneysel ve teorik çalışmalara rağmen, bu yapıların iletkenlik mekanizmaları (CMs), M/S arayüzeyinde oluşan engelin biçimi, elektrik ve dielektrik özellikleri henüz yeterince aydınlatılmamıştır. Diğer taraftan sadece tek veya dar bir frekans, sıcaklık ve voltaj aralığında ölçülen elektriksel ölçümler yapının iletim mekanizmaları, M/S arasında oluşan engelin yüksekliği ve biçimi, elektrik ve dielektrik parametreler hakkında detaylı bir bilgi sağlanamaz. Çünkü bu yapıların özellikle düşük sıcaklık ve frekanslardaki hem elektrik hem de dielektrik özelliklerinin incelenmesi oldukça karmaşık ve zordur. Bu nedenle; bu tez çalışmasında geleneksel MS veya MPS tipi yapılar yerine polimer arayüzey tabakalı Al/(0.05Grafen-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapılar oluşturulmuştur. (0.05Grafen-PVA) polimer arayüzey tabakası elektro-eğirme yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yapıların

temel elektriksel parametreleri olan diffüzyon potansiyeli (V_D), alıcı (acceptor) katkı atomların yoğunluğu (N_A), Fermi enerji seviyesi (E_F), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) değerleri doğru ve ters ön gerilim C-V ve G/w-V ölçümlerinden hesaplanmıştır. Ayrıca temel dielektrik parametreler olan kompleks dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları (ϵ' ve ϵ''), kompleks dielektrik modülüsün yine reel ve sanal kısımları (M' ve M'') ve elektriksel iletkenliğin (σ) parametreleri geniş bir frekans ve voltaj aralığında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Metal ile yarıiletken arasında özellikle yüksek dielektrik arayüzey tabakanın oluşması MS yapıların iletim mekanizmalarının ve elektrik/dielektrik özelliklerinin kalitesini ve performansını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Örneğin, metal ve grafen katkılı organik/polimer gibi yüksek dielektrik sabitine (ϵ') sahip olan ince bir arayüzey tabakanın kullanılması, elektrik yüklerinin depolanmasını ve enerjisini arttırarak MS yapıya ultra-kapasitör etkisi kazandırır [3,7,9]. Bu durumun temel sebebi, kapasitans değerinin tabakalar arası kalınlık ile değil, dielektrik sabiti (ϵ') ile orantılı olmasıdır. Dış elektrik alan veya gerilim uygulandığında, metal/grafen katkılı polimer tabaka kolay bir şekilde polarize olur ve yükleri/dipolleri denge konumundan yer değiştirebilir. Bu şekilde hem elektrik hem de dielektrik özellikler frekansın güçlü bir fonksiyonu haline gelir ve özellikle düşük açısallık frekanslarda ($\omega=2\pi f=2\pi/T$) öngerilim voltajı uygulanır. Bilindiği üzere, harici ac sinyali farklı yarıömürlere (τ) sahip arayüzey tuzakları ve düşük frekanslarda kolay bir şekilde takip edilebilir ve bu durum sonucunda kompleks dielektrik parametrelerinin reel ve sanal kısımları oluşur (ϵ' and ϵ'') [10-15].

Saf organik/polimer malzemeler, inorganik yarı iletkenlerle karşılaştırıldığında karşılaşılan temel problemlerden biri, organik veya polimer malzemenin zayıf iletken olmasıdır. Ancak iletkenlikleri uygun doping metalleri veya grafen ile arttırılabilir. Böylece istenilen düşük seviyedeki seri direnç (R_s), arayüzey tuzakları (D_{it}) ve kaçak akım sağlanabilir.

Termal veya ıslak oksidasyon ve atom tabakası biriktirme (ALD) gibi yalıtkan kullanılan geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında, hacim oranı, molekül başına hafif ağırlık, yüksek mekanik veya dielektrik dayanımı, enerji / şarj depolama kapasitesi ve esneklik açısından organik/polimer malzemeler daha avantajlıdır, ayrıca elektron-eğirme, püskürtme ve sol-gel gibi ucuz ve kolay üretim yöntemleri için yüksek bir yüzey alanına sahiptir [16-

18]. Özellikle poli-vinil-alkol (PVA) su içerisinde yüksek çözünürlük, proses yeteneği, yüksek film oluşturma kapasitesi gibi ilgi çekici özelliklere sahiptir. Ayrıca PVA'nın yapısında bulunan hidroksil (OH^-) grubu ve hidrojen (H) bağlarından dolayı çok önemli uygulama alanlarına sahiptir [17,18]. Diğer taraftan, Grafen çok yeni bir malzemedir ve Geim tarafından 2004 yılında keşfedilmiştir. Geim keşfettiği Grafen malzemesi ile 2010 yılında Nobel Ödülü'nü kazanmıştır. Grafen tabakasında bulunan karbon (C) atomları, sp^2 hibritleşmesi yapar ve böylece yüksek spesifik yüzey alanı, mükemmel elektrik iletkenliği ve üstün mekanik stabilite sayesinde birçok alanda ümit verici bir malzeme olmuştur [19,20]. Uygun oranda kullanılan Grafen, PVA'ya katkılандığında iletkenlik ve dielektrik sabiti (ϵ') artırılarak ultra ve süper kapasitörler elde edilebilir.

Bu yüksek lisans tezi beş bölüm başlığı altında toplanmıştır. İlk bölümde, MS yapılar, elektriksel ve dielektriksel özellikleri hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, metal-yarıiletken Schottky diyotlar hakkındaki teorik bilgiler sunulmuş, temel elektriksel özellikler ve dielektriksel özellikleri ve literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, $\text{Al}/(0.05\text{Gr-PVA})/\text{p-Si}$ (MPS) yapıların hazırlanması adım adım anlatılarak deneysel yöntem ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, deneysel olarak, geniş voltaj ve frekans aralığında alınan empedans-voltaj ve kapasitans-voltaj ölçümleri sonucu, yapının elektriksel ve dielektriksel özellikleri hakkında detaylı bir bilgiye ulaşmak için gerekli tablolar ve grafikler oluşturulmuştur. Son bölümde ise, deneysel sonuçlar hakkında, mevcut literatür de göz önünde bulundurularak, genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

Bu tez çalışmasında, hazırlanan Al/(0.05Grafen-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapıların temel elektriksel ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Ancak bu çalışmada özellikle dielektrik özellikleri, elektrik modülü ve ac iletkenlik değerleri geniş bir voltaj ve frekans aralığında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar mevcut literatür ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Bu nedenle ilk etapta, arayüzey polimer tabakalı ve tabakasız (MPS, MS) yapıların temel elektriksel özellikleri mevcut literatürden de faydalanılarak incelenmiştir. Daha sonra MPS yapılarda temel dielektrik, elektrik modülü ve ac iletkenlik değerleri empedans ölçümlerinden (C-V-f, G/ ω -V-f) yararlanılarak geniş bir voltaj ve frekans aralığında incelenmiştir.

2.1. Metal-Yarıiletken Kontakların Schottky-Mott Teorisi

Bir metal ve yarıiletken yüksek sıcaklık ve vakum altında kontak edildikten sonra, metal ve yarıiletken arasında bir potansiyel engeli (bariyer) oluşur. Bu engelin yüksekliği ve biçimi genelde, seçilen metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonlarına (Φ_m , Φ_s), metal ile yarıiletken ya da yarıiletken ile arayüzey tabakası arasında oluşan arayüzey durumlarına ve voltaja bağlıdır. Metal ile yarıiletken kontak edildikten sonra; aralarında iki taraftaki yükler eşit olana kadar yük geçişleri oluşur ve termal/elektrostatik denge durumuna geldiğinde eklem bölgesinde (M/S) net bir elektrik alan ve dolayısıyla bir potansiyel engel yüksekliği oluşur. Bu mekanizma yarıiletkenin p-tipi ve n-tipi olmasına göre değişir. Ancak, genelde teorik açıklama metal ile n-tipi yarıiletken için açıklanır. Buna rağmen, bu çalışmada hem n-tipi hem de çalışmada kullanılan p-tipi yarıiletkenin metal ile kontak edilmesinden sonraki denge durumu açıklanmıştır.

Yarıiletkendeki yüklerin (elektron ve deşiklerin) metal tarafına ve metal tarafındaki yüklerin de yarıiletken tarafına geçmesi sonucunda, metal ile yarıiletken arasında hareketli yüklerden arındırılmış yüksek dirençli bir bölge oluşur. Bu bölgeye, bu konudaki ilk detaylı çalışmalarından dolayı bilim adamı W. Schottky'ye atfen Schottky tabakası da denilmektedir. Metal ile yarıiletken arasında oluşan engel yüksekliğini ve biçimini açıklamak için öne sürülen modellerden ilki Schottky ve Mott'a aittir. Onlar tarafından sürülen modele göre; engel yüksekliği, iki maddenin (metal ve yarıiletken) iş fonksiyonları

arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Şekil 2.1'de gösterilen enerji bandı diyagramları, bu engelin oluşum sürecini adım adım anlatmaktadır. Şekil 2.1.a, metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olan metal/n-tipi yarıiletken (MS) için elektron enerji bant diyagramları gösterilmektedir. MS, MIS veya MPS tipi diyotlarda, doğrultucu kontak elde etmek için n-tipi yarıiletkenlerde $\Phi_m > \Phi_s$ ve p-tipinde ise tersi olmalıdır ($\Phi_m < \Phi_s$).

Şekil 2.1a'da yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan küçüktür ve bu şartın sağlanması için n-tipi yarıiletkenlerde doğrultucu kontak olarak Altın (Au) tercih edilirken, p-tipi olanlarda ise metal seçilir. Si, Au ve Al'nin iş fonksiyonları sırasıyla yaklaşık olarak 4,5 eV, 5,1 eV ve 4,1 eV'tur. Şekil 2.1.a'da görüldüğü gibi; metalin iş fonksiyonu, bir elektronu Fermi enerji seviyesinden ($E_F = \Phi_m$) vakum seviyesine çıkartmak için gereken enerji miktarı iken yarıiletkende ise yarıiletkenin E_F seviyesinden vakum seviyesine çıkartmak için gerekli enerji olarak tanımlanmıştır. Başka bir ifade ile, bir elektronu metal veya yarıiletkenden kopartmak için ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarı iş fonksiyonu olarak tanımlanır. Vakum seviyesi, metalin hemen dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesidir ve Şekil 2.1.a'da referans olarak verilmiştir. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , kristal kafesin periyodik potansiyeline bağlı olarak bir hacim katkısına ve yüzeydeki bir dipol tabakasının muhtemel varlığına bağlı olarak bir yüzey katkısına sahiptir. Şekil 2.1a'da temsil edilen elektron yakınlığı (χ_s) ise yarıiletkenin katkılama oranına bağlı olmayan diğer önemli bir yüzey parametresidir ve bir elektronun vakum seviyesi ile iletim bandının alt kenarı (E_c) arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır (n-tipi için). İş fonksiyonları (Φ_m , Φ_s) ve elektron yakınlığı (χ_s) genellikle elektron volt (eV) olarak ifade edilir. Şekil 2.1.a'da gösterilen hem yarıiletken hem de metal birbirinden bağımsız olup (kontak edilmeden önceki durum) enerji bantlarında herhangi bir bükülme yoktur. Ancak, kontak yapıldıktan sonra durum oldukça değişmekte olup aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

Şekil 2.1.b, metal ve n-tipi yarıiletken kontak edildikten ve dengeye ulaşıldıktan sonraki enerji bandı diyagramını göstermektedir. Metal ile yarıiletken kontak edildiği zaman, yarıiletkenin iletim bandındaki elektronlar metale göre daha yüksek enerjiye sahip oldukları için metale doğru geçerken arkalarındadeşikler bırakırlar ve bu yük geçişleri denge sağlanana kadar devam eder. Yarıiletkenden metale elektronların geçmesinden dolayı yarıiletkenin özellikle ön yüzeyinde serbest elektron konsantrasyonu azalır. Elektron konsantrasyonunun azalması ile iletim bandı kenarı (E_c) ile Fermi enerji seviyesi (E_F) arasındaki fark artar ($|E_c - E_F| = E_F = kT/q \cdot \ln(N_c/N_d)$).

Termal dengeli Fermi enerji seviyesi, sabit kalırken iletken bant kenarı E_c , Şekil 2.1.b'de gösterildiği gibi E_c , E_v ve vakum enerji seviyeleri eklemde yukarı doğru bükülür. Çünkü yasak enerji aralığı ($E_g=E_c-E_v$) yük geçişlerinden dolayı değişmez. Yarıiletkenden metale elektronlar geçtikçe yarıiletken tarafındaki elektronların azalması nedeniyle bu bölgeye tükenim bölgesi (depletion layer) denilmektedir ve azalan yüklerle birlikte yapının sığası ($C=Q/V$) da azalmaktadır. Metalden yarıiletkene geçen elektronlardan dolayı arayüzey tabakanın yarıiletken tarafında pozitif bir uzay yük bölgesi oluşur. Metalden yarıiletkene geçen elektronlar aynı zamanda arayüzeyden Thomas-Fermi tarama mesafesi içinde bulunan ve metalin ön yüzeyinde ince bir negatif uzay yük tabakası oluşturur ($\sim 0.5\text{\AA}$). Sonuç olarak, Şekil 2.1.b'de gösterildiği gibi yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alan oluşur. Yarıiletkende bulunan enerji bantlarının ne kadar büküleceğine bakılacak olursa; yarıiletkenin bant boşluğu metal ile temas ettirilerek değiştirilmediğinden, değerlik bant kenarı E_v 'nin iletken bant kenarı E_c 'ye paralel olarak hareket edeceği açıkça görülmektedir. Ayrıca yarıiletkenin sahip olduğu vakum seviyesi, iletken bant kenarı (E_c) ile aynı değişiklikleri izleyecektir. Bunun nedeni, yarıiletkenin elektron yakınlığının, metal teması yapıldıktan sonra bile değişmeden kaldığı varsayımıdır. Bu nedenle, termal dengede bir metal-yarıiletken (MS) yapı/diyot için engel yüksekliğini belirleyen önemli nokta, vakum seviyesinin geçiş bölgesi boyunca sürekli kalması gerektiridir. Bu nedenle, yarıiletken tarafındaki vakum seviyesi, sürekliliği korumak için metal taraftaki vakum seviyesine kademeli olarak yaklaşmalıdır. Yani metal ile yarıiletkenin Fermi enerjileri eşit olana kadar yük geçişleri devam eder ve termal denge durumunda $n=p$ 'dir. Değerlik ve iletken bantlarında görülen bükülmenin büyüklüğü, metal ile yarıiletken malzemelerin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir. Bu fark, Eş.2.1'de verildiği gibidir:

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

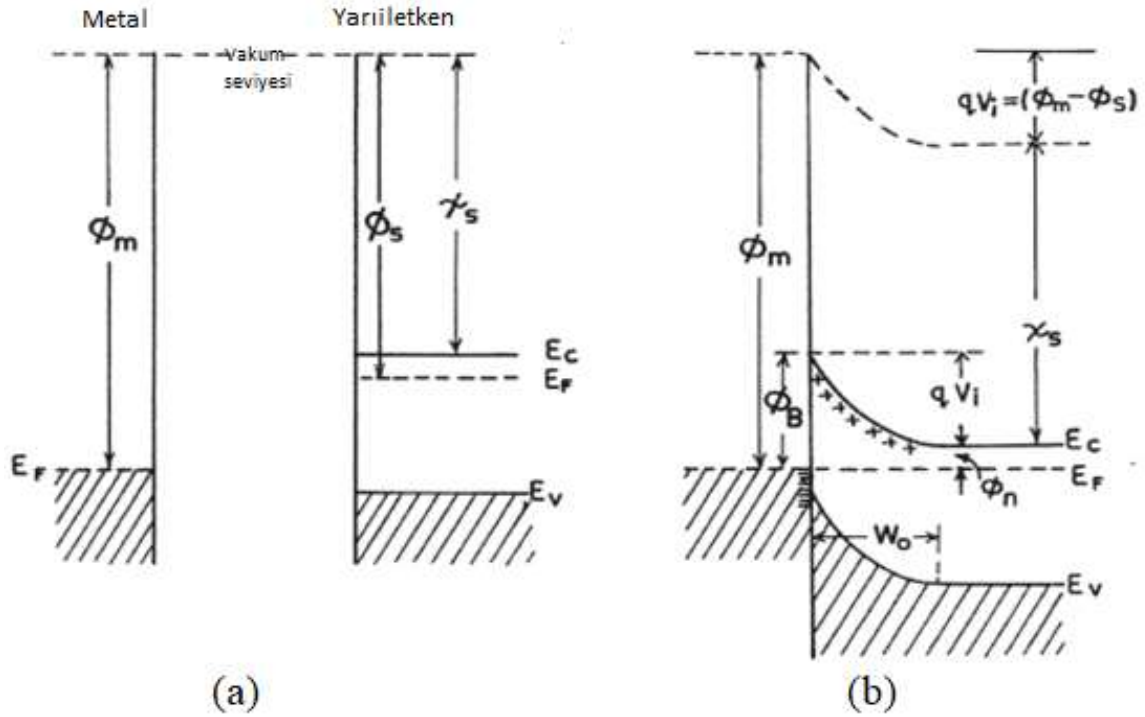
Burada, Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s ise yarıiletkenin iş fonksiyonu olarak tanımlanır. Eşitlik 2.1'de belirtilen V_i değeri, Volt cinsinden ifade edilir ve potansiyel farkı veya kurulma voltajı (built-in) olarak bilinir. qV_i değeri, yarıiletkenden metale hareket eden bir elektronun aşmak zorunda olduğu engel yüksekliğidir. Bununla birlikte, metalden yarıiletkene doğru bakıldığında bariyer değeri farklıdır ve sırasıyla Eş.2.2 ve Eş.2.3 ile ifade edilir:

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

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

Metalden yarıiletken geçecek taşıyıcıların karşılaştıkları Φ_B değeri aşağıdaki eşitlik 2.4 ile ifade edilebilir:

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



Şekil 2.1. Metal ve n-tipi yarı iletken enerji bant diyagramları $\Phi_m > \Phi_s$ (a) birbiriinden bağımsız nötr malzemeler (b) kontak edildikten sonra termal denge durumu

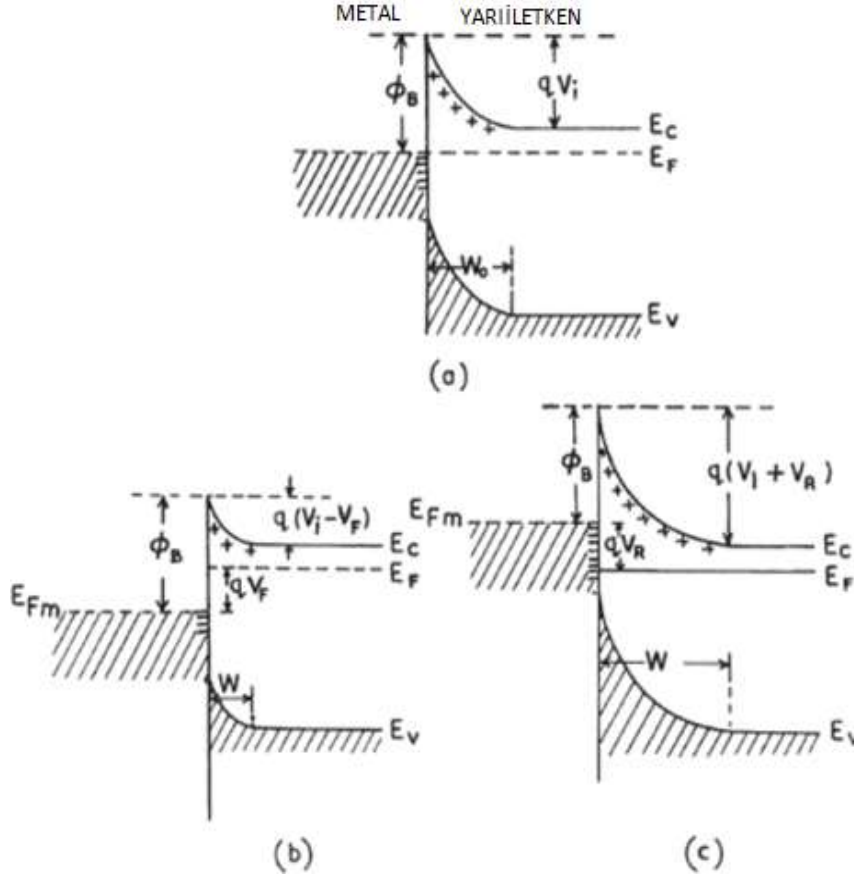
Eşitlik 2.4'te verilen Φ_n değeri Fermi enerji seviyesi olarak tanımlanır ve literatürde Fermi enerji seviyesi bazen E_F , bazen de n-tipi yarıiletken için Φ_n ve p-tipi yarıiletken için Φ_p ile temsil edilmektedir. Fermi enerji seviyesi, yarıiletken bant boşluğundaki diffüzyonu gösterir. Eşitlik 2.4, eş zamanlı olarak hem Schottky hem de Mott tarafından birbirlerinden bağımsız olarak verilmiştir ve Schottky sınırı olarak da adlandırılmaktadır. Bu denklemin elde edilmesinde, metalin yarıiletkenle temas ettikten sonra yüzey dipolünün bariyer yüksekliği olan Φ_B ve yarıiletkenin iş fonksiyonu olan Φ_s 'ye katkısının değişmediği varsayılmıştır.

Potansiyel engelin tam şekli, yüzeydeki yük dağılımından hesaplanabilir. Çoğu durumda, engelin yüksekliği (Φ_B), termal enerji kT/q 'dan daha büyüktür ve yarıiletkendeki alan yük bölgesi, hareketli taşıyıcılardan yoksun, yüksek dirençli bir tüketim bölgesi haline gelir.

Engelin şekli daha sonra yarıiletkendeki verici (donor) katkı atomlarının (N_D) dağılımından belirlenir. Schottky, yarıiletkenin homojen biçimde katkılındığını varsaymaktadır, bu da, tükenme bölgesinde düzgün bir yük yoğunluğuna yol açmaktadır. Bu sabit yüzey yükü için elektrik alan kuvveti, yüzey yük katmanının kenarından uzaklıkla doğrusal olarak yükselir ve sonuçta ortaya çıkan engel Şekil 2.1.b’de görüldüğü gibi parabolik bir yapıdadır ve bu engel bir Schottky engeli olarak tanımlanır. Mott, düzgün biçimde katkılanmış bir yarıiletken ile yüksek saflıktaki metal arasında, herhangi bir yükü olmayan ince bir yarıiletken tabakası kabul etmiştir. İnce tabakadaki elektrik alan kuvveti sabittir ve bu bölge boyunca potansiyel doğrusal olarak artar. Bu engelin türü Mott engeli olarak bilinir.

Hem Şekil 2.1.b hem Şekil 2.2.a, metal ve yarıiletken kontağı sonrasındaki termal denge enerji bant diyagramını göstermektedir. Denge, elektronların yarıiletkenden metale karşı bariyerden geçme hızı, elektronların engeli ters yönde geçtiği ve net akımın akmadığı hızla dengelenir. Yarıiletkendeki tükenme bölgesi çok az hareketli taşıyıcıya sahip olduğu için, metal ve nötr yarıiletkenlerin dirençlerine kıyasla bu bölgenin direnci oldukça yüksektir. Uygulanan voltaj, enerji bantlarının toplam eğriliğini ve tükenme bölgesi boyunca potansiyel düşüşü değiştirerek denge bantı diyagramını değiştirir. Yarıiletken, metale göre $V=V_F$ voltajı ile negatif hale getirildiğinde, tükenme bölgesi genişliği iç ve dış elektrik alanın zıt yönlerde olmasından dolayı azalır ve bu bölgede bulunan voltaj değeri Şekil 2.2.b’de gösterildiği üzere V_i ’den (V_i-V_F) ’ye düşer. Termal denge durumunda, yarıiletken tarafındaki elektronlar artık azaltılmış bir engel görmektedir. Bu durum sonucunda yarıiletkenden metale doğru elektron akışı, azalan engel yüksekliğinden dolayı artmaktadır. Bununla birlikte, metalden yarıiletkene doğru elektron akışı, denge durumunda önemli bir değişiklik olmaz. Bunun nedeni, pratikte metal boyunca voltaj düşüşü olmamasıdır. Yarıiletken üzerindeki negatif bir öngerilim için, yarıiletkenden metale doğru net bir elektron akışı, metalden yarıiletkene akım geçmesine neden olur. Bu polarite için, bağlantının ileri gerilim olduğu söylenir. Doğru gerilim V_F voltajı ile üstel olarak artar. Ters öngerilim altında enerji bantı diyagramı, Şekil 2.2.c’de gösterildiği gibidir. Burada yarıiletken, metale göre $V= -V_R$ gerilimi ile pozitif ön gerilimdir ve tükenme bölgesi boyunca görülen potansiyel, iç ve dış elektrik alanların aynı yönde olması nedeniyle (V_i+V_R) ’a yükseltilir. Başka bir ifade ile, doğru öngerilim altında tüketim bölgesinin (W_d) genişliği azalırken ters öngerilim altında ise artmaktadır. Bu yarıiletken aygıtların en belirgin özelliği olan “doğrultma oranı” olarak bilinir. Yani yarıiletken diyot doğru yönde akımı iletirken ters yönde ise neredeyse hiç iletmemektedir. Yarıiletkenden metale elektron akışı denge değerinin altına düşerken, metal

tarafından akış, pratik olarak değişmeden kalır. Bu durum, zıt doğrultuda akan ileri akıma kıyasla daha küçük bir akıma yol açar.

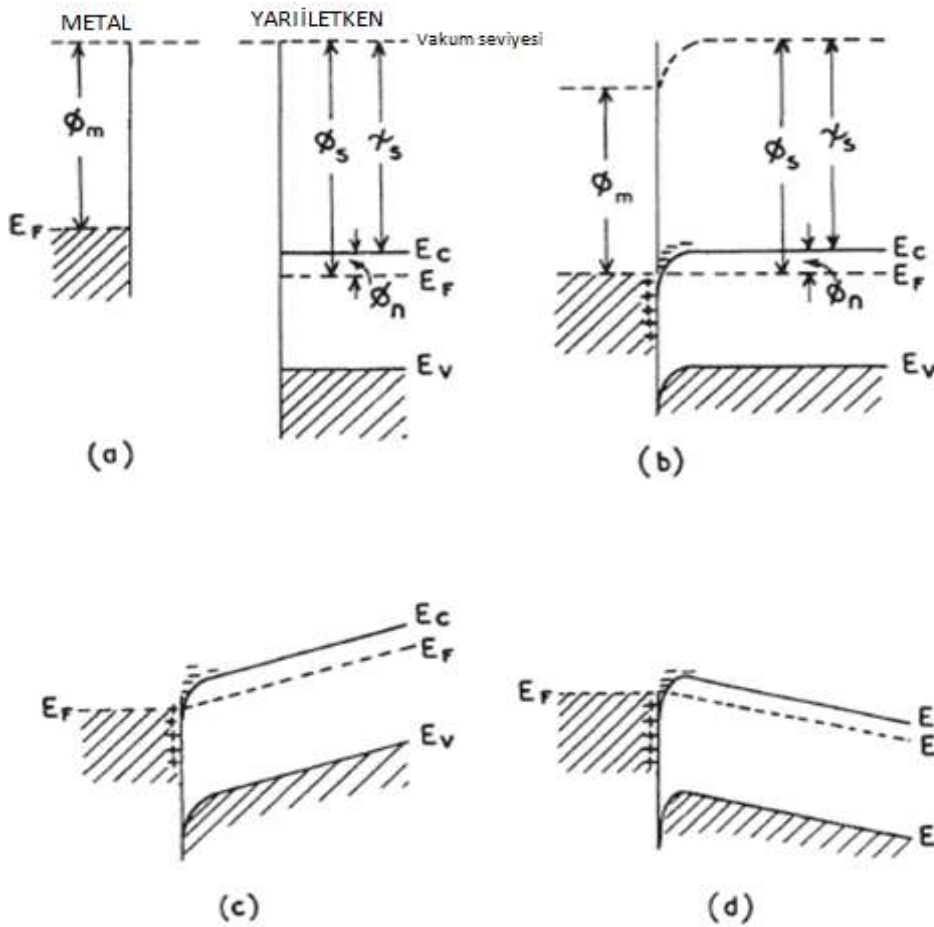


Şekil 2.2. Enerji bant diyagramları (a) Termal denge (b) doğru öngerilim (c) ters öngerilim

Şekil 2.2'de verilen elektron enerji bant şemalarında 2.2.b ve 2.2.c, denge koşullarına karşılık gelir ve tek bir E_F 'ye sahip değildir. Elektronların aktığı bölgedeki Fermi enerjisi, elektronların girdiği bölgedeki E_F 'den daha yüksektir.

Yukarıdaki açıklama sadece, yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) metalin iş fonksiyonundan (Φ_m) daha küçük olan n-tipi yarıiletkenler için geçerlidir. p-tipi yarıiletkenlerde ise durum tersinedir. $\Phi_m < \Phi_s$ olan p-tipi yarıiletkenler için elektron enerji bantı şemaları, Şekil 2.3'te verildiği gibidir. Şekil 2.3.a, metal ile yarıiletkenin birbirinden bağımsız (ayrık) olduğu durum için geçerli olan enerji bantlarını göstermektedir. Yarıiletken ile metal temas ettikten sonra, metaldeki elektronlar yarıiletkenin iletkenlik bandına doğru akmakta ve arkalarında metalin ön yüzeyinde pozitif bir yük bırakarak eklem kısmında yarıiletkenin ön yüzeyinde elektron birikmesine neden olmaktadır. Dengeye ulaşıldığında yarıiletkendeki Fermi seviyesi, Şekil 2.3.b'de gösterildiği gibi ($\Phi_s - \Phi_m$) kadardır.

Yarıiletkendeki birikme katmanı yükü, Debye uzunluğu sırasının kalınlığı ile sınırlandırılmıştır ve aslında bir yüzey yüküdür. Metaldeki elektron yoğunluğunun çok büyük olması nedeniyle, metalin pozitif yük bulunan bölgesi aynı zamanda metal-yarıiletken arayüzeyinden yaklaşık 0,05 nm uzaklığında bulunan bir yüzey yük tabakasıdır. Yarıiletkende bir tükenme bölgesinin oluşmadığı ve yarıiletkenden metale ve metalden de yarıiletkene doğru elektron akışını engelleyecek herhangi bir potansiyel engelinin oluşmadığı açıkça gözükmemektedir.



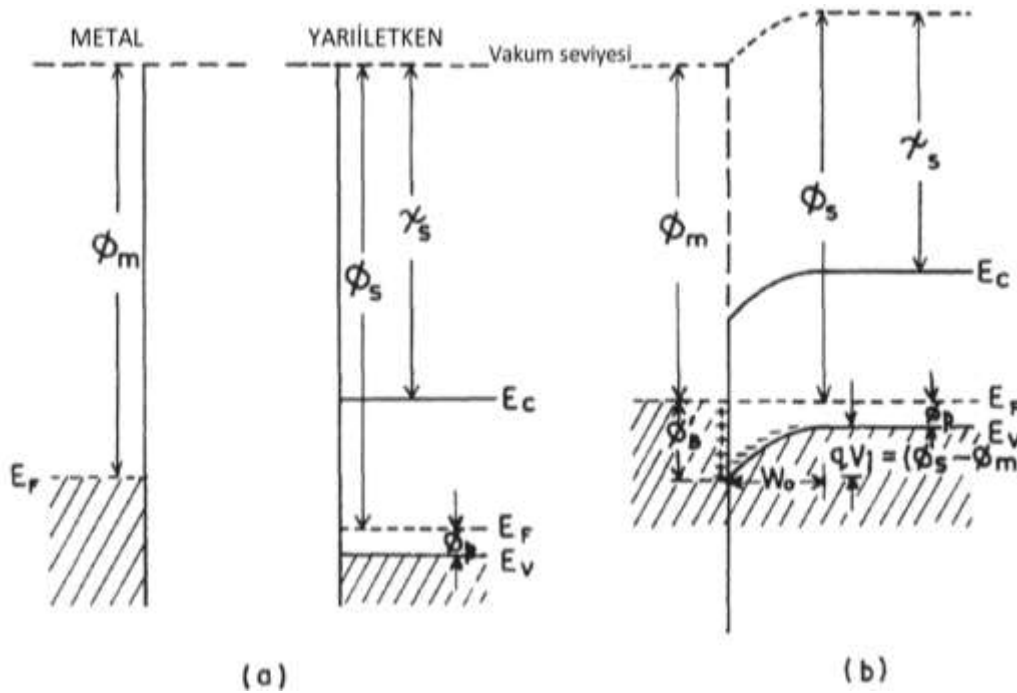
Şekil 2.3. Metal ve n-tipi yarıiletkenin kontak durumu elektron enerji bant diyagramları $\Phi_m < \Phi_s$ (a) birbirinden bağımsız malzemeler (b) termal denge altında kontak durumu (c) yarıiletkendeki negatif öngerilim uygulanma durumu (d) yarıiletkendeki pozitif öngerilim uygulanma durumu

Pratikte, uygulanan bir dış elektrik alan veya voltaj, akım akışı her iki yönde, Şekil 2.3.c ve 2.3.d'de gösterildiği gibi bu bölge boyunca görülür. Bu nedenle akım, yarıiletken bölgenin direnci ile belirlenir. Böylece doğrultucu olmayan bir kontak, genellikle ohmik kontak olarak bilinir. Başka bir ifadeyle, ohmik kontak oluşturmak için metal-yarıiletken (MS) uygun bir sıcaklıkta tavlansak metalin yarıiletkenin içine diffüze edilerek yeni bir alaşım

(alloy) oluşturulur. Doğrultucu kontakta ise tavlama işi yapılmamakta olup sadece metal kontaklar yarıiletkenin ön yüzeyi üzerine yüksek vakum ortamında büyütülür.

Kısacası, n-tipi bir yarıiletken için, metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük ise ($\Phi_m > \Phi_s$) Schotkky veya diğer adıyla doğrultucu kontak oluşur. P-tipi yarıiletkenlerde ise doğrultucu kontak oluşturmak için metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olmalıdır ($\Phi_m < \Phi_s$). Ohmik kontak oluşturmak için ise hem n-tipi ($\Phi_m < \Phi_s$) hem de p-tipi yarıiletken için ($\Phi_m > \Phi_s$) durum tersine olmalıdır.

p-tipi yarıiletken ile metalin birbirinden bağımsız/ayrık olduğu durum için enerji bant diyagramları Şekil 2.4.a'da gösterilmektedir. Metal, p-tipi yarıiletken ile kontak ettirildiğinde, elektronlar metalden yarıiletkene akmaya başlar ve iki taraftaki E_F seviyesi eşitlenir. Bu elektronlar, p-tipi yarıiletkende azınlık taşıyıcılarıdır. Yarıiletkene ulaştıktan sonra, iyonize alıcıların, alan yükü tabakasında yol açan deliklerle Şekil 2.4'te gösterildiği gibi birleşirler.



Şekil 2.4. Metal ve p-tipi yarıiletkenin kontak durumu elektron enerji bant diyagramları $\Phi_m < \Phi_s$ (a) birbirinden bağımsız malzemeler (b) kontak sonrası termal denge durumu

Alan doldurma bölgesindeki deliklerin konsantrasyonu, alıcı/donör konsantrasyonu ile kıyaslandığında önemsiz derecede küçük kalır. Bu nedenle, temasın yarıiletken tarafında,

uzay yük bölgesinin kalınlığı (W_0), iyonize edilmiş alıcı atomların konsantrasyonuna bağlı olan bir tükenme tabakasından oluşur.

Bu durum, iyonlaştırılmış donörlerin rolünün şimdi iyonlaştırılmış alıcılar tarafından üstlenilmesi dışında, Şekil 1 b'de gösterilen şekle benzerdir. Bir p-tipi yarıiletkendeki akım delikler tarafından taşındığından, bant diyagramındaki delikler için bariyer oluşmuştur. Delikler için bariyer yüksekliği aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir:

$$\Phi'_B = \chi_s + E_g - \Phi_m \quad (2.5)$$

Bu denklemde E_g yarıiletkenin enerji bant aralığını gösterir. Eş.2.1 ve Eş.2.5 ele alındığında $\Phi_B + \Phi'_B = E_g$ eşitliği elde edilir. Bu eşitlik kullanılarak Şekil 2.4'te belirtildiği üzere metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda ohmik kontak oluşur [21].

2.2. Metal-Silisyum (Metal-Yarıiletken) Yapılar

Schottky bariyer oluşumu, Si yüzeyine, metali $\sim 10^{-6}$ Torr'luk bir basınca sahip bir vakum bölmesinde buharlaştırmak suretiyle, Rhoderick tarafından detaylı olarak tartışılmıştır.

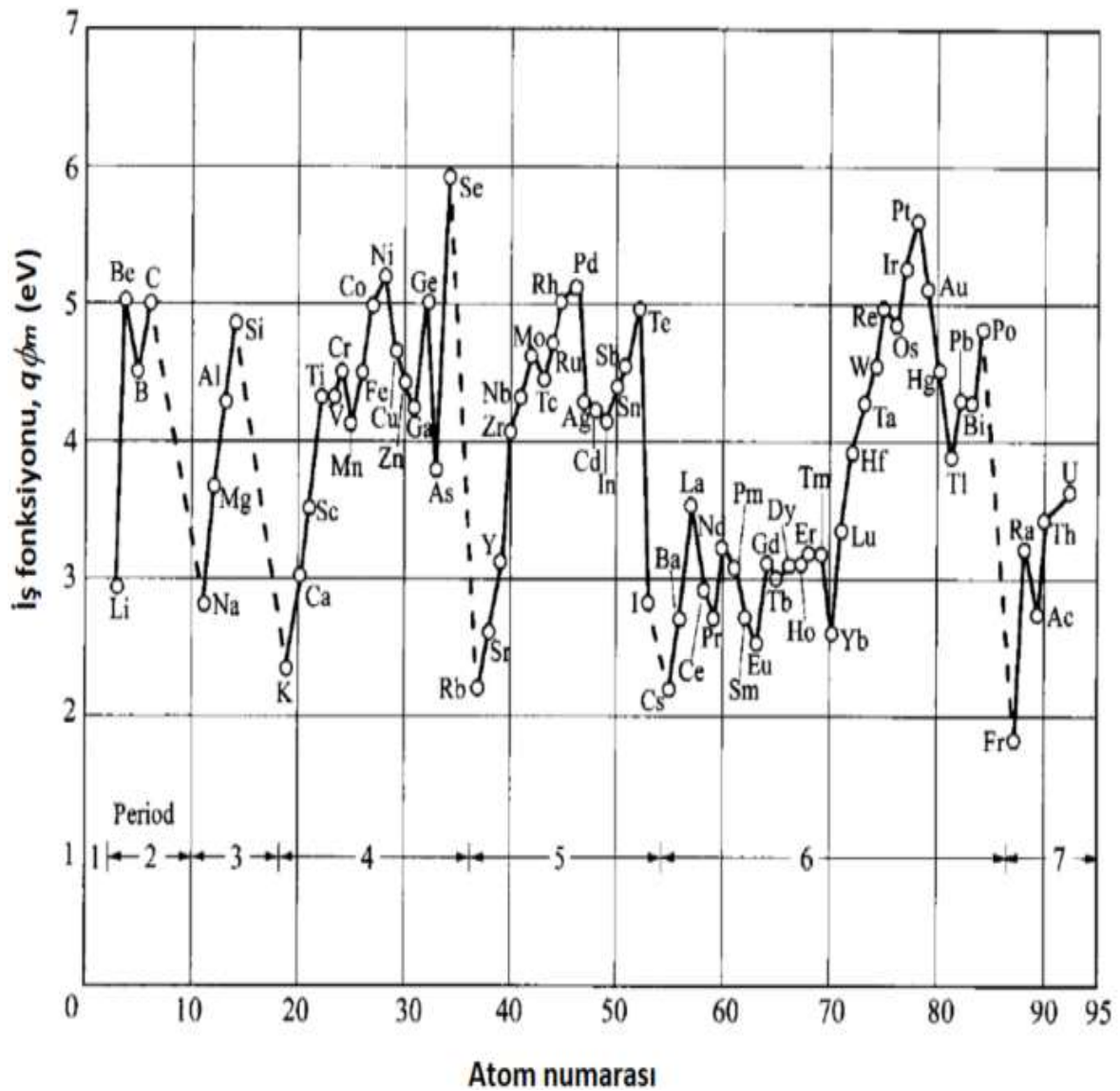
Silisyumlu, intermetalik bileşikler oluşturmeyen metallerden, yalnızca alüminyum, ohmik kontakların yanı sıra Schottky diyot oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Oldukça yüksek ötektik sıcaklık, Si ve SiO_2 ile iyi tutunma, Silisyum ile Schottky bariyer bağlantı kurabilme kabiliyeti ve katkılı n-tipi/p-tipi Si ile ohmik kontaklar Silikon teknolojisinin yaygın kullanım nedenlerinden bazılarıdır.

DeneySEL sonuçlar, metal-yarıiletken kombinasyonlarının büyük bir çoğunluğunun potansiyel engellerle Schottky kontak oluşturduğunu göstermiştir. Genel olarak p-tipi yarıiletkenler üzerindeki Schottky bariyer kontakları, daha küçük bariyer yüksekliklerine sahiptirler ve bu sebeple pratik cihazlarda sıklıkla kullanılırlar. p-tipi Silisyum'un sahip olduğu bariyer yükseklikleri, altı farklı metal üzerinde ölçümler yapılarak Smith ve Rhoderick (1971) tarafından ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre bariyer yükseklikleri çoğunlukla n-tipi Silisyum değerlerinden daha düşük çıkmış ve bu bariyer değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [22].

Çizelge 2.1. n-tipi ve p-tipi Si Engelleri

Bariyer (eV)	Metal					
	Ag	Al	Au	Cu	Ni	Pb
ϕ_{Bn}	0,56	0,50	0,81	0,69	0,67	0,41
ϕ_{Bp}	0,54	0,58	0,34	0,46	0,51	0,55
$\phi_{Bn} + \phi_{Bp}$	1,10	1,08	1,15	1,15	1,18	0,96

Metaller için $q\phi_m$ değeri genellikle yüzey kirliliklerine karşı çok hassastır. Temiz yüzeyler için en güvenilir değerler Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Vakumlanmış temiz metal yüzeye sahip metalin iş fonksiyonunun atom numarasına karşı değişimi

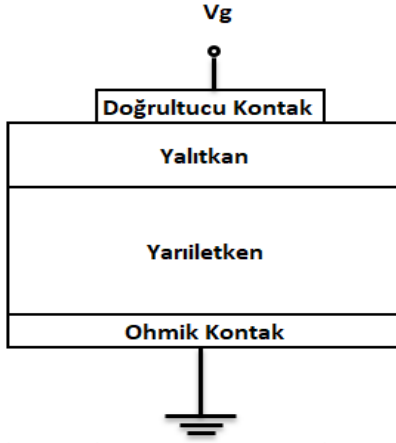
2.3. Schottky Diyotlarda Kapasitans/Kondüktans-Voltaj-Frekans (C/G-V-f) Özellikleri

Metal ve yarıiletken (Semiconductor) arasına, yalıtkan (Insulator), oksit (Oxide), polimer (Polymer) veya ferroelektrik (Ferroelectric) malzemelerden arayüzey tabakaları oluşturulabilir. Bu arayüzey tabakalarının oluşturulmasıyla MS yapılar sırası ile MIS, MOS, MPS ve MFS yapılara yani Schottky diyotlarına dönüşür. Oluşturulan yalıtkan veya organik/polimer arayüzey tabakalar, metal ile yarıiletken malzemeyi birbirinden izole eder ve metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. MS yapılar için arayüzey tabakası oluşturulurken tabaka kalınlıklarına dikkat edilmelidir, çünkü arayüzey tabakasının kalınlığı belli bir değerin ($300 \text{ \AA}$) üzerine çıktığında paralel plakalı kondansatör özellikleri gösterir. Kalınlığı uygun, dielektrik sabitinin yüksek olduğu arayüzey tabakanın oluşturulması metal-yarıiletken arasında oluşabilecek kısa devre riskinin önüne geçer ve istenmeyen arayüzey durumlarını da (N_{ss}) engeller. Eğer çok ince bir tabaka oluşturulmaya çalışılırsa, tabaka büyütülürken çok sayıda delik meydana gelebilir, yine bu durum kısa devrelere sebep olabilir. Bu yüzden arayüzey tabakasının kalınlığı önemlidir. Bu durum MIS/MOS/MPS/MFS yapılarda meydana gelecek olan seri direnç performans açısından olumsuz yönde bir etki yaratır. Seri direnç kaynakları; kontak alınırken kullanılan teller, arka ohmik kontak ve bu kontak ile doğrultucu kontak arasında oluşan organik kirlilikler, arayüzey durumlarıdır. Seri direnç değeri C-V ve G/ ω -V grafiklerinde yığılım bölgesinde etkilidir. Düşük voltaj ve düşük frekans değerlerinde etkisi çok düşüktür ve ihmal edilir.

İdeal Schottky diyota yakın MIS/MOS/MPS/MFS yapıları oluşturabilmek için, arayüzey tabakasının kalınlığının düşük olması ve/veya dielektrik sabiti (ϵ') değerinin çok yüksek olması gerekmektedir. Şekil 2.5'te ideal duruma yakın bir MIS diyot şematik olarak gösterilmiştir ve MIS/MOS/MPS/MFS yapıların gerçek seri dirençleri R_s Eş.2.6 yardımı ile bulunur.

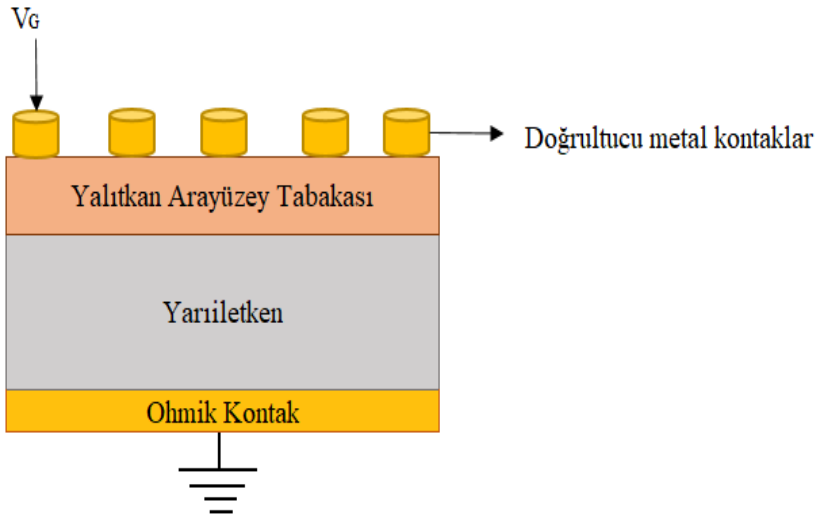
$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (\omega C_m)^2} \quad (2.6)$$

Eş.2.6'da belirtilen G_m ölçülen kondüktans değeri, C_m ölçülen kapasitans değeri, ω açısal hız değeridir ($=2\pi f$).



Şekil 2.6. İdeale yakın durumdaki MIS yapının şematik gösterimi

MS yapılarda arayüzey tabakası ve seri direnç aynı anda mevcut ise bu yapılara uygulanan voltaj (V_G) arayüzey tabaka, MS yapının sahip olduğu seri direnç ve diyot tarafından $V_G = V_D + V_{RS} + V_I$ olacak şekilde bölüşülür. Bu nedenle MIS/MOS/MPS yapıların akım iletim mekanizmaları, MS yapılardan çok farklıdır. Bir MIS yapının şematik olarak gösterimi Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’ de verilmiştir.



Şekil 2.7. MIS yapının gösterimi

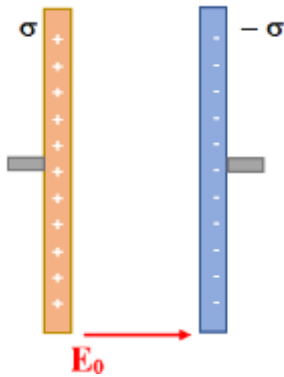
2.4. Dielektrik Malzemeler

Elektrik iletmeyen ve elektrik yükünü depolayabilen malzemeler dielektrik malzemeler olarak bilinirler. Dielektrik malzemelerin elektrik alan içerisindeki davranışları fizik, kimya, elektrik-elektronik, malzeme bilimi gibi farklı bölümlerde çalışan bilim insanları için ilgi çekici bir çalışma alanı olmaya devam etmektedir. Yüksek voltajlı elektrik kablolarındaki

dielektrik davranış, metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapılarıdaki yalıtım bariyeri veya entegre devrelerin ara tabaka izolasyonu için de geçerlidir. Organik polimerler yüksek sıcaklıklarda kararlı malzemeler olarak kabul edilir ve radyasyona, kimyasal saldırılara ve yüksek elektriksel ve mekanik streslere dayanma kabiliyetine sahiptir, bu da onları bir nükleer santralde veya uzayda olduğu gibi çalışma ortamları için uygun hale getirir. Polimer malzemeler elektriksel yükleri depolama yeteneğine sahiptir. Bu özellik, elektrikli ekipman ve petrokimya endüstrisi gibi uygulamalarda tamamen istenmeyen bir durum olmasına rağmen fotokopi ve telefon gibi uygulamalarda aranan bir özelliktir. Dielektrik sabiti arttıkça yük depolama özelliği artar ve ultra/süper kapasitörlerin üretimi yapılabilir.

2.5. Paralel Plakalı Kondansatörler

Birbirine d kadar uzaklıkta bulunan, yüzey alanı A olan, zıt yüklerle yüklenmiş paralel plakalı kondansatör Şekil 2.8'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.8. Zıt yüklü paralel plakalı kondansatör

Bir kondansatörün sahip olduğu yük ile potansiyel farkı doğru orantılıdır ve Eş.2.7 ile ifade edilir:

$$Q = C \cdot V \quad (2.7)$$

Levhalar arasındaki elektrik alan şiddeti Eş.2.8 ile ifade edilir:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \left(\frac{Q}{\epsilon_0 A} \right) \quad (2.8)$$

Eş.2.8’de belirtilen ϵ_0 değeri boşluğun elektriksel geçirgenlik sabiti, σ_0 değeri birim yüzey yük yoğunluğudur. Plakalar arasındaki potansiyel fark Eş. 2.9 ile ifade edilir:

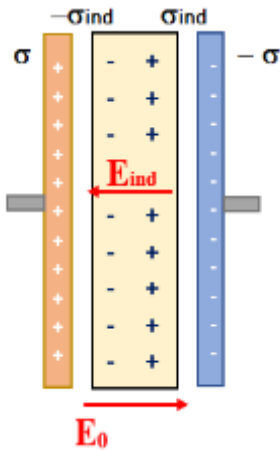
$$V=E.d \quad (2.9)$$

Bu eşitlikteki E ifadesi elektrik alan şiddeti, d değeri plakalar arasındaki uzaklıktır. Paralel plakalı kondansatörlerin zıt yüklü plakalarının arasındaki boşluğa, bir dielektrik malzeme konulduğunda, kondansatörün sahip olduğu sığa değeri ϵ çarpanı kadar artar ve bu çarpan değerine dielektrik sabiti veya geçirgenlik denir. Dielektrik sabiti daima boşluğun geçirgenliği olan ϵ_0 cinsinden ifade edilir. Bu sabitin değeri her zaman 1’den büyüktür. Paralel plakalı zıt yüklü kondansatörün arasına dielektrik malzeme konulduğu durumdaki gösterim Şekil 2.9’da belirttiği gibidir.

Dielektrik malzeme konulmuş plakalar arasındaki potansiyel fark ve elektrik alan sırasıyla Eş. 2.10 ve Eş. 2.11’deki gibi ifade edilir:

$$V=V_0/\epsilon' \quad (2.10)$$

$$E=E_0/\epsilon' \quad (2.11)$$



Şekil 2.9. Dielektrik malzemeli paralel plakalı kondansatör

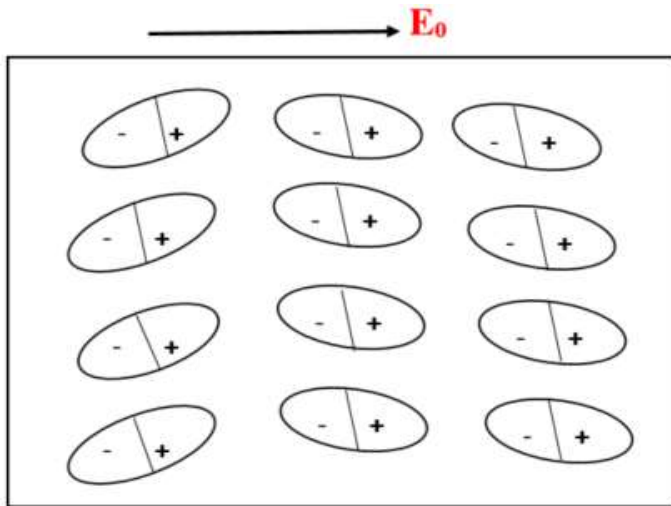
Eşitliklerden de görülebileceği üzere plakalar arasındaki potansiyel fark (V) ve elektrik alan şiddeti (E), dielektrik sabiti (ϵ') kadar azalmaktadır, bu durum kondansatörün sığasının artmasına sebep olur. Kondansatörün sığası Eş. 2.12 ile hesaplanabilir:

$$C = \varepsilon' \left(\frac{\varepsilon_0 A}{d} \right) \quad (2.12)$$

2.6. Dielektrik Polarizasyon (Kutuplanma)

Dielektrik malzemeler, elektrik alana maruz bırakıldıklarında pozitif ve negatif yükler zıt yönlerde çok küçük yer değiştirirler. Bu olay dielektrik polarizasyon olarak adlandırılır. Dielektrik malzemenin yüzeyinde bulunan elektrik yükler, indüklenmiş yükler olarak bilinirler. İndüklenmiş yükler serbest yükler değildir ve dielektrikte depolarizasyon alanı olarak bilinen ve yönü polarizasyona neden olan alan yönünün ters yönüne doğru bir alan oluştururlar. Dielektrik malzemeler dış elektrik alana maruz bırakıldığında, sahip oldukları yükler, zıt yönlerde kutuplanırlar ve kutuplanan yükler dipol momenti oluştururlar. Elektrik alan ortadan kaldırılsa yükler, eski haline geri döner yani net dipol momentleri “0” (sıfır) olur.

Elektrik alana yerleştirilmiş bir dielektrik yüzeyde ortaya çıkan indüklenmiş yükler, dielektrik hacmi boyunca, Şekil 2.10’da görülebileceği gibi dipol zincirlerinin uç (terminal) yükleri olarak düşünülebilir [11].



Şekil 2.10. Dipollerin dış elektrik alana maruz bırakıldıklarındaki yönelimleri

2.7. Dielektrik Malzemelerin Mekanizmaları

Dielektrik malzemelerin önemli elektriksel özelliklerinden biri elektriksel geçirgenliktir. Elektriksel geçirgenlik genellikle dielektrik sabiti ile belirtilir. Pek çok malzeme için,

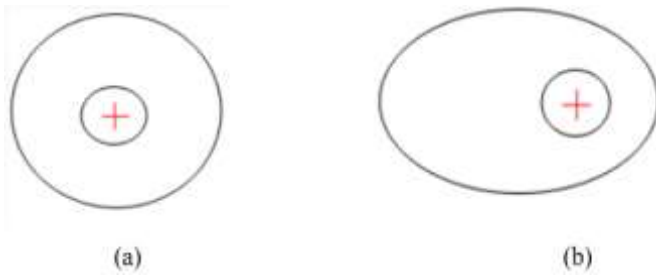
dielektrik sabiti, belirli bir kritik alanın altındaki alanlar için elektrik alan kuvvetinden bağımsızdır fakat malzemenin içindeki taşıyıcılarla önemli hale gelir.

Dielektrik sabiti, kuvvetli olarak değişen elektrik alanın frekansına veya zamanla değişen alanın değişim oranına bağlıdır. Ayrıca dielektrik sabiti, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel parametrelere, kimyasal yapıya ve malzeme kusurlarına da bağlıdır.

Bir dielektrik malzeme, 4 temel elektrik polarizasyon tipinden birine veya daha fazlasına sahip olan atomlardan veya moleküllerden oluşur [23]. Temel olarak bu polarizasyon tipleri; elektronik (optik) polarizasyon, atomik (iyonik) polarizasyon, yönelme polarizasyonu ve arayüzey (uzay yükü) polarizasyonudur.

2.7.1. Elektronik veya optik polarizasyon

Elektrik alan, atomların veya moleküllerin elektron bulutlarının başlangıçtaki simetrik dağılımının deforme olmasına veya çevrilmesine neden olur. Bu durum aslında dış elektron bulutlarının pozitif atom çekirdeğine göre, zıt yönde yer değiştirmesinden kaynaklanan bir durumdur. Elektronik polarizasyon, atom veya moleküllerde bulunan elektronların yer değiştirmelerinden dolayı meydana gelir. Bu tür polarizasyon mekanizmaları düşük frekanslarda gerçekleşir. Dış elektrik alanın da etkisiyle 10^{-15} saniye gibi kısa bir sürede elektronik polarizasyon oluşur. Elektronik veya optik polarizasyonun bu kadar kısa sürede gerçekleşmesinin sebebi, elektron kütlelerinin ($=9,31 \times 10^{-31}$ kg) çok küçük olmasıdır. Bir başka ifade ile, kütlesi küçük olduğu için uygulanan dış elektrik alandan çok çabuk etkilenir. İyonik yapıya sahip olmayan dielektrik malzemelerde sadece elektronik veya optik polarizasyon olayı gerçekleşir. Şekil 2.11.a ve Şekil 2.11.b’de elektronik polarizasyon şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Elektronik polarizasyonun şematik gösterimi (a) Elektrik alanın olmadığı durum (b) elektrik alanın uygulandığı durum

2.7.2. Atomik polarizasyon

Bir dielektrik malzeme poliatomik moleküllerden oluşuyorsa, genellikle elektronik ve iyonik polarizasyona sahiptir. Elektrik alan, bir poliatomik molekülün atomlarının veya iyonlarının birbirine göre yer değiştirmesine neden olur. Bu durum temelde normal kafes titreşiminin bozulmasıdır. Bu nedenle titreşimsel kutuplanma olarak da adlandırılır. İyonik polarizasyon düşük frekanslarda gerçekleşir.

Genelde, iyonik katılar 2 grupta toplanır. İlk grup NaCl gibi kalıcı olmayan dipollerdir. Bu durumda dipoller basit bir kübik kafes oluştururlar ve kafes simetrisi ve toplam yük nötrlüğü, her iyon çifti tarafından oluşturulan elektrik dipollerinin birbirlerini iptal etmesini sağlar. Diğer grup kalıcı dipollere sahiptir. Bu tür durumlarda HCl'de olduğu gibi kristal kafes daha az simetriktir. Esasen, pozitif iyon bölgelerindeki iç alan, negatif iyon bölgelerindeki alandan farklıdır. Çoğu iyonik katı madde asimetriktir ve her iki iyonun elektronegatiflikleri farklıdır.

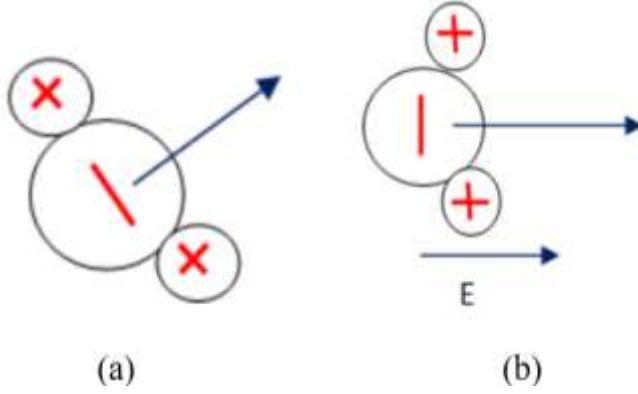
Kalıcı dipoller katı halde öngörülür ve bir elektrik alan ile hizalanamaz. Bu yüzden bu gruba ait iyonik katıların çoğunda, kalıcı dipol momentleri, materyallerin sahip olmasına rağmen, katı halde kutuplanabilirliğe katkıda bulunmaz. 10^{-13} - 10^{-12} saniye gibi bir sürede gerçekleşirler.

2.7.3. Yönelme polarizasyonu

Yönelme polarizasyonu sadece kalıcı dipol momentine sahip moleküllerden veya parçacıklardan oluşan materyallerde meydana gelir. Elektrik alan uygulandığında, dipoller elektrik alan yönüne doğru yeniden yönelir. Dipoller dış bir kuvvet altında, orijinal denge durumundan yeni, dinamik bir denge durumuna geçme eğilimindedir ve kuvvet kaldırıldığında, daha sonra orijinal denge durumuna geri döner. Bu işlem genellikle gevşeme işlemi olarak adlandırılır. Yönelme polarizasyonu düşük frekanslarda ve dipolar malzemelerde gerçekleşir.

Elektronik ve atomik polarizasyon temelde, elektron bulutlarının yer değiştirmesinden ve atomlar/moleküller içindeki kafes titreşiminden kaynaklanır. Bu tür etkileşimler molekül içi olaylardır ve sıcaklığa duyarlılıkları çok azdır. Fakat yönelme polarizasyonu moleküller

arası bir olaydır ve esnek olmayan hareketini içerir. Bu yüzden sıcaklığa kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Şekil 2.12.a ve Şekil 2.12.b’de yönelme polarizasyonunun elektrik alanla nasıl değiştiği şematik olarak gösterilmiştir.

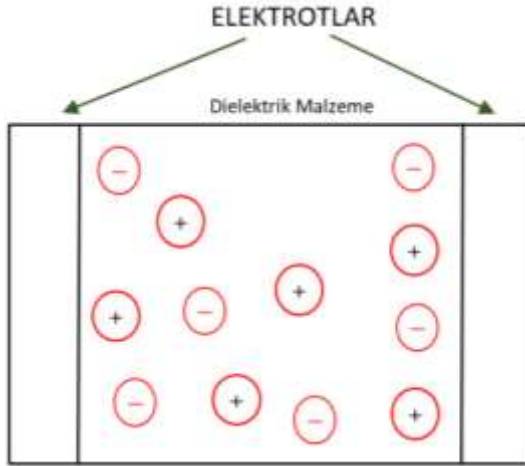


Şekil 2.12. Yönelme polarizasyonunun şematik gösterimi (a) elektrik alanının olmadığı durum (b) elektrik alanının uygulandığı durum

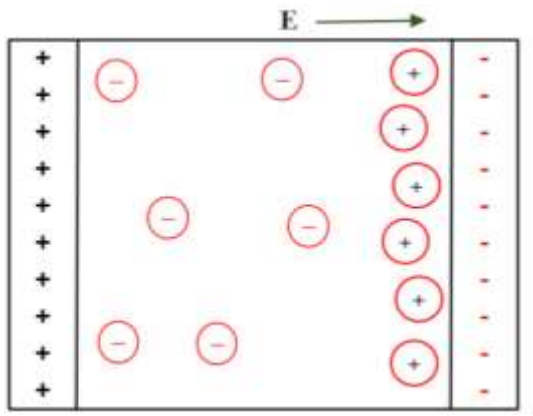
2.7.4. Arayüzey veya uzay yükü polarizasyonu

Arayüzey veya uzay yükü polarizasyonu, elektronik, atomik ve dipolar polarizasyon modelleri iletkenliğin olmadığı durumlar için geçerlidir. Dielektrik malzemelere polimer katkılандığında içindeki yüklerin bir kısmı hareket etmektedir. Yüksek bir yük taşıyıcı konsantrasyonundan (yani, yüksek iletkenliğe sahip) oluşan malzemeler için, yük taşıyıcıların arayüzeylerinde veya tanecik sınırlarında alan yükleri oluşturmak üzere göç etmelerine bağlı olarak polarizasyon meydana gelir. Dış elektrik alanının uygulandığı durumlarda, yük taşıyıcılarının hareket etmesi kapasiteyi artırır. Bu tür kutuplaşmalara arayüzey veya uzay yükü polarizasyonu denir. MIS/MOS/MPS gibi yapıların arayüzeyinde yalıtkan tabakanın olması ve yasak enerji aralığındaki safsızlıklar arayüzey polarizasyonuna sebep olur. Arayüzey polarizasyonu Maxwell-Wagner polarizasyonu olarak da adlandırılır. Kutuplanmış olan izole tabakalar farklı kondansatör özellikleri göstererek arayüzey potansiyelini ve elektrik alanını değiştirirler.

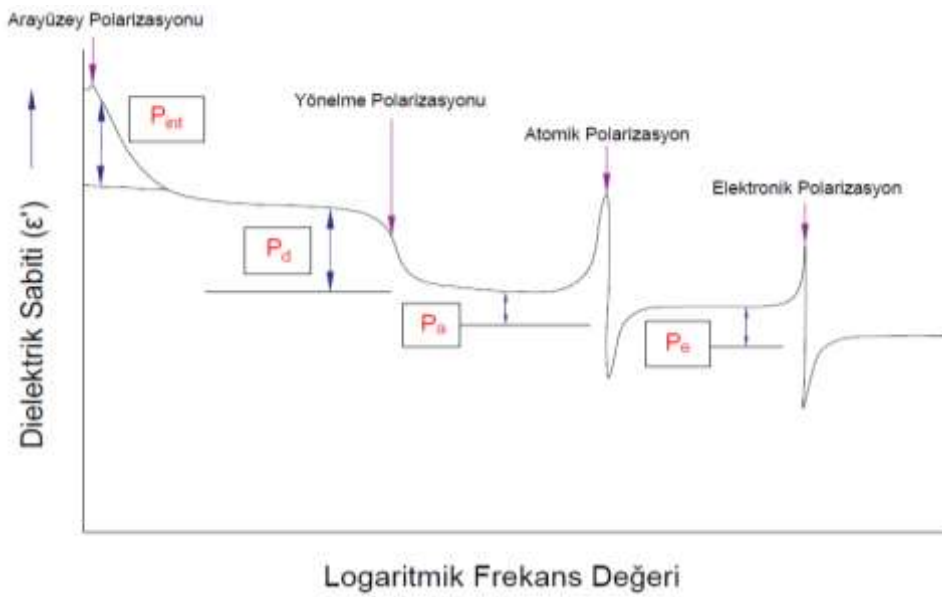
Arayüzey veya uzay yükü polarizasyonu düşük ve orta frekanslarda gözlenen bir polarizasyon çeşididir. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’te elektrik alanının uygulanmadığı ve daha sonra elektrik alanının uygulandığı durumdaki arayüzey polarizasyonları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Elektrik alanın uygulanmadığı durumda arayüzey polarizasyonu



Şekil 2.14. Elektrik alanın olduğu durumda arayüzey polarizasyonunun şematik gösterimi



Şekil 2.15. Dielektrik bir malzemenin polarizasyon mekanizmalarının dielektrik sabiti ve logaritmik frekans değerine göre grafiğinin gösterimi

2.8. Literatür Araştırması

Elektronik devrelerde kullanılan diyot teknolojisinde, teknolojinin gelişmesiyle birlikte hızlı gelişmeler yaşanmaktadır ve polimer/organik malzemelerin elektrik ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi konusuna 1958 yılında çalışmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında literatürde yapılan araştırmalarının konuyla ilgili olan bir kısımlarına yer verilmiştir.

H. U. Tecimer ve arkadaşları Au/(Zn katkılı-PVA)/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs Schottky diyotları 2018 yılında incelemişlerdir. Metal olarak altın (Au) kullanılmış ve çinko (Zn) katkılı ve katkısız organik polimer malzemeyi (PVA) arayüzey tabakası olarak kullanmışlardır. Elektro-eğirme yöntemini kullanarak arayüzey tabakasını büyütme suretiyle elektriksel parametreleri incelemişlerdir. Bu çalışmanın temel amacı, diyotlardaki teknolojik gelişmelerin, araştırmacıları birçok elektronik cihazda kullanmak için Schottky bariyer diyotlarının (SBDs) kalitesini arttırmak için harekete geçirmesidir. Yapılan bu çalışma ile, organik bir arayüzey tabaka kullanımının elektronik cihaz parametrelerinin değiştirilmesinde ve performansının değiştirilmesinde çok etkili olduğu ortaya koyulmuştur [1].

S.O. Tan tarafından 2017 yılında yapılan bir çalışmada Au/(Zn katkılı-PVA)/n-GaAs ve Au/(Gr katkılı-PVA)/n-GaAs MPS yapılar, diyotların performansının arttırabilmek amacıyla incelenmiştir. Bu iki yapının akım-voltaj ölçümleri oda sıcaklığında alınarak doyma akımı, bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi temel elektriksel parametreler incelenmiştir. Arayüzey tabakası, elektro-eğirme yöntemi ile büyütülmüştür. Bu çalışma sonucunda polimer katkı malzemeleri (Çinko ve Grafen) ile katkılamanın, ana elektriksel parametreler göz önüne alındığında SBD'lerin kalitesi ve performansını hissedilir derecede arttırdığını göstermiştir [2].

O. Çiçek ve arkadaşları tarafından 2018 yılında metal (Au) ve n-tipi yarıiletken (GaAs) arasında saf PVA ve PVA'ya %1, 3, 7 ve 10 Grafen katkılanarak arayüzey tabaka oluşturulmuştur ve bu MPS yapıların elektriksel özellikleri incelenmiştir. Katkısız PVA ve katkılanmış PVA ile oluşturulan arayüzey tabakaları karşılaştırılmış en yüksek performans %7 Gr katkılı PVA ile sağlanmıştır. Au/(7% Gr-PVA)/n-GaAs (MPS) yapıların temel elektriksel özellikleri ışık şiddetine bağlı olarak incelenmiştir. % 7 Gr katkılı yapı, daha iyi

bir doğrultma oranına sahip olmanın yanı sıra, diğer yapılara kıyasla üstün elektriksel özellikleri nedeniyle daha iyi kalite sergilemiş ve böylece elektronik cihazlarda fotodiyotlar için potansiyel olarak çekici bir aday olduğu bu çalışma ile kanıtlanmıştır [3].

G. Ersöz ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan bir araştırmada, Al/CdS-PVA/p-Si MPS yapılar oluşturulmuş ve elektriksel özellikleri geniş voltaj ve frekans aralığında incelenerek yapıların performans üzerine etkisi araştırılmıştır. Arayüzey tabakası döndürmeli-kaplama (spin-coating) yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada metal/yarıiletken (M/S) yapıların çalışma amacındaki elektriksel özellikleri nedeniyle yaygın olarak arayüzey tabakası olarak kullanılan arayüzey veya polimer tabakası, dış elektrik alan nedeniyle bir arayüzey durumu yüküne neden olabileceği ve arayüzey durumlarının bu yapıların elektriksel özelliklerini büyük oranda etkileyeceği belirtilmiştir [4]. M/S arayüzünde lokalize yoğunluk dağılımı (D_{it}) ve arayüzey tabakası mevcut olduğunda, cihaz karakteristiği ideal davranışdakinden farklı olduğu yapılan hesaplamalar ile gösterilmiştir.

M.S. Pratap-Reddy ve arkadaşları tarafından 2013 yılında DNA biyopolimerine bağlı olarak, Au/bio-organik/n-GaN Schottky bariyer diyotları oluşturulmuş olup kapasitans-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G/ω -V) özellikleri incelenmiştir. GaN, ışık yayan diyotlar (LED), lazer diyotlar (LD), fotodedektörler, metal yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET) ve yüksek elektron hareketlilik transistörleri gibi mikroelettronik ve optoelettronik cihazlar için en umut verici yarıiletken malzemelerden biridir. GaN teknolojisi, cihaz imalatındaki temel fiziksel anlayışla karşılaştırıldığında birçok avantajının olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir [5].

S. Boughdachi ve arkadaşları tarafından Au/(Bi₂S₃-PVA)/n-Si MPS yapılar oluşturulmuş ve elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, mikrodalga ve ultrason destekli yöntemlerle ve ilk aşamada hazırlanan bizmut sülfür nanoyapılar XRD, SEM, UV-VIS spektroskopisi, TEM ve FT-IR ile araştırılmıştır. Ardından, mikrodalga ve ultrason destekli (Bi₂S₃-PVA) arayüzey tabakalı Au/n-Si (MPS) tipi Schottkydiyotların akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G/ω -V) özellikleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Hangisinin daha iyi performans gösterdiğini belirlemek için ana elektriksel parametreleri incelenmiştir. Bu iki diyot arasında karşılaştırma yapabilmek için I_0 , ideallite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_{Bo}), doğrultma oranı (RR), R_s ve R_{sh} gibi birincil

elektriksel parametreleri I-V verilerinden çıkarılmıştır. Arayüzey durumları (N_{ss}) enerji yoğunluğu dağılım profilleri I-V verilerinden elde edilmiştir. Çalışma sonucunda ultrason destekli tabakalar arası MPS yapısının, mikro dalga destekli tabakalar arası MPS yapısına kıyasla iyi bir performansa sahip olduğu doğrulanmıştır [6].

S. Altındal-Yerişkin ve çalışma arkadaşları (Grafen katkılı-PVA) ara katmanının oda sıcaklığında Au/n-Si (MS) yapılarının belirleyici elektriksel parametreleri üzerindeki etkilerini 2017 yılında incelemiştir. Akım-voltaj ve kapasitans/kondüktans-voltaj ölçümleri oda sıcaklığında alınarak hem Au/n-Si(MS) yapı için hem de Au/(0.07 Gr-PVA)/n-Si (MPS) yapı için doğrultma oranı (RR), engel yüksekliği (ϕ_B), arayüzey durumları (N_{ss}), Fermi enerji seviyesi (E_F) ve katkılanmış atom yoğunluğu (N_D) incelenerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Bütün bu incelemeler sonucunda grafen katkılı PVA arayüzey tabakası, oksijen boşluklarının sayısını azalttığı ve MPS yapının performansının MS yapıya göre daha iyi olduğu sonucu çıkartılmıştır [7].

Ch.V. Subba Reddy ve arkadaşları tarafından 2005 yılında (PVA+PVP) polimer karışımının dielektrik özellikleri incelenmiştir. Heterojen polimer malzemelerin dielektrik özellikleri, yüksek performanslı kapasitörler, elektrik kablosu yalıtımı, elektronik ambalaj ve bileşenler gibi cihaz uygulamalarında önemli bir rol oynadığı için bu çalışma yapılmıştır. Polimerlerin dielektrik kaybı, bir elektrot ve arayüzey polarizasyon etkisinin detaylı araştırılması büyük önem taşımaktadır. Polimer karışımının seçilmesinin temel sebebi, çok çeşitli özelliklere sahip malzemeler tasarlamak için yararlı bir teknik olmasıdır. Önemli bir ticari avantaj, polimer harmanlarının hali hazırda mevcut olan polimerleri kullanarak yeni malzemeler üretmek için iyi bir yol sunmasıdır, bu da geliştirme maliyetlerini azaltır. Polivinil pirolidon (PVP), iyi çevresel stabilite, kolay işlenebilirlik, orta derecede elektriksel iletkenlik ve yük taşıma mekanizmasındaki fiziki zenginlik nedeniyle seçilmiştir. Kimyasal yapının lokal modifikasyonu, elektronik özelliklerde ciddi değişikliklere neden olur. İzolasyon polimer matrisinde iletken ortamdaki oluşan kompozit malzemeler, istenilen mekanik ve elektriksel özellikleri sağlar. PVA, çok yüksek dielektrik dayanım (>1000 kV/mm) ve iyi şarj depolama kapasitesine sahiptir. Polivinil pirolidon ve polivinil alkol'nın her ikisi de suda çözünür ve tüm oranlarda karışabilir. Bu çalışmada temel dielektrik özellikler olan dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları (ϵ' ve ϵ'') elektriksel modülüsün reel ve sanal kısımları (M' ve M'') 1-100 kHz frekans aralığında ve 298-423K sıcaklık aralığında dielektrik davranışları anlamak amacıyla incelenmiştir [8].

A. Büyükbaş-Uluslan ve arkadaşları tarafından 2018 yılında doğru ve ön gerilim altında $\text{Au}/(\text{SrTiO}_3)/\text{n-Si}$ metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFS) tipindeki yapıların akım-voltaj karakteristikleri oda sıcaklığında incelenmiştir. Ayrıca, arayüz durumunun (N_{ss}) enerji yoğunluğu dağılım profili, gerilime bağlı bariyer yüksekliği akım-voltaj verilerinden elde edilmiştir. MFS yapıların MS yapılara göre iyi bir performans sergilediği gözlenmiştir [9].

H. C. Card ve E. H. Rhoderick tarafından 1971 yılında MOS diyotların termal dengedeki tünel yapılarının incelenmesi hakkında bir araştırma yapılmıştır. Yarıiletken bir yüzeyde bant yapısının araştırılması için tünel MOS cihazına büyük önem verilmiştir (Gray 1965, Waxman ve diğerleri 1967, Dahlke ve Sze 1967). Freeman ve Dahlke (1970) tarafından yapılan yeni bir teorik çalışma, bunu daha da açıklığa kavuşturmuştur. Yarıiletken yüzey potansiyelini uygulanan gerilimle ilişkilendirebilmek bu çalışmalarda merkezi bir öneme sahiptir. Bu durum, cihaza bir öngerilim voltajı uygulandığında, azınlık taşıyıcılarının davranışlarıyla ilgili bir varsayım yapmaya bağlıdır. Genellikle yapılan varsayım, yarıiletken yüzey bölgesindeki hem çoğunluk taşıyıcılarının hem de azınlık taşıyıcılarının kütle ile dengelenmesi veya yarı iletkenin bir termal denge durumu ile tanımlanabilmesidir. Bu çalışmanın amacı, bu varsayımın geçerliliğini araştırmaktır. Card ve Rhoderick 1971, bir önceki makalelerinde arayüzey oksit filmlerin silikon Schottky diyotların ileri akım karakteristiklerine etkilerini tartışmışlardır. Bu çalışma, 25 Å'dan daha az oksit kalınlıklarına sahip cihazlarla sınırlandırılmıştır, bu nedenle diyotların doğrultucu olarak faydalı olduğu bulunmuştur. Mevcut çalışma, dikkati ters özelliklere odaklayarak bu çalışmayı tamamlamaktadır. Anlık amacı, bir denge voltajı uygulansa bile, termal dengenin yarıiletkende geçerli bir yaklaşım olduğunu belirtmek ve bu koşulları tanımlamaktır. Buradaki vurgu, tünel cihazlarının (MOS yapıların) genel uygulamaları üzerinedir ve deneysel çalışmaların çoğu, 25Å'dan daha kalın oksit filmlerine sahip diyotlarla ilgilidir. Oksit boyunca büyük potansiyel farklılıkları geliştirilebildiğinden, ters karakteristiklerle uğraşırken azınlık taşıyıcı davranışı önem kazanır. Metal-silikon temasının davranışından kalın film MOS cihazının davranışına geçiş, termal oksit kalınlığı 10 ile 45Å aralığında etkili bir şekilde gözlemlenebilir. Bu cihazların çalışması, yarı-Fermi seviyeleri cinsinden tarif edilebilir. Oksit tabakası için dökme silis bant yapısına dayanan teorik bir analiz, yaklaşık 13 Å'dan büyük kalınlıktaki oksitler için silikon yüzey bölgesinin bir termal dengeye yaklaşabileceği sonucuna götürür. Mevcut makaledeki deneysel kanıtlar, 10 Å'lık bir termal oksit kalınlığı δ için, MOS cihazı uygulanan bir öngerilim altında olduğunda silikon yüzeyin termal dengede olmadığını göstermektedir. Hem azınlık taşıyıcılarının hem de arayüz

durumlarındaki elektronların metalle dengelendiği bulunmuştur. Öte yandan, 230 Å kalınlık için, bu araştırma silikonun termal denge istatistikleri ile iyi tanımlandığını göstermektedir. Bu nedenle, iki durum arasındaki geçiş $10\text{\AA} < \delta < 30\text{\AA}$ aralığında gerçekleşir. Bu, deliklerden kaynaklanan yükün ihmal edilebilir olduğunu, yani deliklerin metal ile dengede olduğunu ima eder. Bu, geçişin $25\text{\AA} < \delta < 30\text{\AA}$ civarında gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sonuç ile $\delta \cong 13\text{\AA}$ 'nın teorik tahmini arasındaki tutarsızlık, incelenen çok ince filmlerin bant yapısının çok farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Arayüzey oksit tabakasının kalınlığını arttırarak bir tünel MOS diyotundaki ters akımı arttırmak için bir dizi ön gerilime sebep olur. Bu durum, metalin silikon yüzeyine göre Fermi enerjisindeki artışın bir sonucu olarak ortaya çıkar [15].

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Giriş

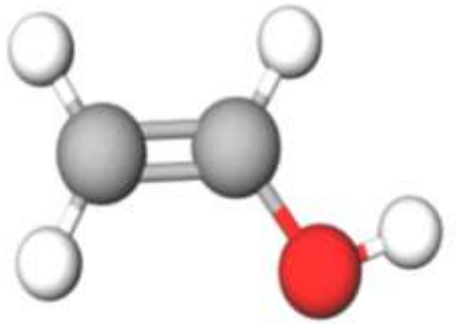
MIS, MOS, MPS tipi diyotlar için; yarıiletken malzemenin yüzeyinin temiz olması, metal-yarıiletken malzeme arasında büyütülen arayüzeyin tabaka kalınlığı ve homojen bir yapıda olması çok önemlidir. Ayrıca kullanılacak arayüzey tabakanın çeşidi, dielektrik sabiti, ucuz ve kolay büyütülebilir bir malzeme olması da önemli olan diğer konulardır. Arayüzey tabakası olarak genellikle klasik ve ucuz olan silisyumdioksit (SiO_2) kullanılırken son yıllarda bu geleneksel yöntem yerine, genelde amorf/yarı-kristal özelliğe sahip olan polimer malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Saf polimer malzemelerin iletkenlikleri zayıftır ve dielektrik sabitleri düşüktür. Saf polimerler düşük iletkenlikleri sebebi ile genelde yalıtkan malzemelerdir. Saf polimerlere çinko (Zn), nikel (Ni), kobalt (Co), grafen (Gr) gibi malzemeler katkılандığında iletkenlik değerleri ve dielektrik sabitleri arttırılabilir [30-34]. MOS, MPS ve MFS tipi kondansatör yapımı için yüksek dielektrik sabitine sahip arayüzey malzemesi kullanılmalıdır. Ultra/süperkapasitörleri oluşturabilmek amacıyla TiO_2 , Si_3N_4 , $\text{Bi}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ gibi ferro-elektrik malzemeler, grafen ve grafen oksit (GO) gibi malzemeler katkılanabilir. Polimerlerin mikroelettronik ve optoelettronik alanlarında kullanımının çok uygun olması, düşük maliyetle üretilebilmesi ve üretim prosesinin kolay olması polimer malzemelerin iletkenlik ve dielektrik özelliklerin incelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

3.1.1. Polivinil Alkolün (PVA) temel özellikleri

Polivinil alkol (PVA) ilk kez 1924 yılında Hermann ve Haehnel tarafından poli (vinil ester) ile sodyum hidroksitin (NaOH) sabunlaşma reaksiyonu sonucu sentezlenmiştir. PVA'nın fizikokimyasal ve mekanik özellikleri, PVA polimerinde bulunan hidroksil gruplarının sayısı tarafından yönetilir. PVA, kararsız bir yapıya sahip olması nedeniyle yapısal monomerinin (yani vinil alkolün) polimerleştirilmesiyle sentezlenemez. PVA'nın polimerizasyonu için, genellikle temel hammadde vinil asetatır. Vinil asetat monomer olarak kullanılır. Düşük moleküler kütleli PVA, asetaldehitin -80°C ile -20°C arasındaki düşük sıcaklıkta sodyum amalgam ile polimerleştirilmesiyle hazırlanır. PVA'nın kimyasal yapısı Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir. Hidroliz ve moleküler kütleye bağlı olarak, piyasada

erime noktası, viskozite, pH, kırılma indisi ve bant boşluğu gibi farklı özelliklere sahip 10 farklı PVA polimeri mevcuttur. Vinil asetat uzunluğu ve hidroliz derecesindeki değişimin etkisi asidik veya alkali koşullar altında farklı esneklik, gerilme mukavemeti, dispersiyon gücü, emülsifikasyon indeksi, yapışkanlık ve çözünürlüğe sahip çeşitli özelliklere sahip PVA elde edilebilir. Bir başka ifadeyle, hidroliz ve polimerleşme derecesinin polivinil alkolün su içerisindeki çözünürlüğüne etkisi çok fazladır [27,60].

Polivinil alkol (PVA) suda çözünebilen, yarıkristal yapıdaki bir polimerdir. Yapısında hidroksil (OH^-) grubu ve çok sayıda hidrojen bağı bulunur. Kimyasal ve fiziksel olarak çok dayanıklı bir yapıya sahip olmasından dolayı birçok araştırmacı tarafından özellikleri araştırılmıştır ve çok geniş kullanım alanlarına sahiptir [44,61,62].

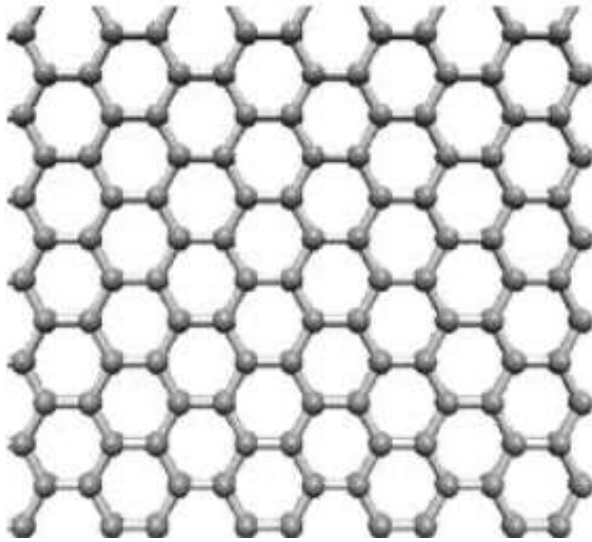


Şekil 3.1. Polivinil alkolün kimyasal yapısı

3.1.2. Grafenin (Gr) temel özellikleri

2004 yılında Andre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından keşfedilen grafen malzemesi, iki boyutta çok sayıda karbon (C) atomu içerirken, üçüncü boyutta sadece bir katman C atomu içerdiği için çok ince bir yapıya sahiptir. Bu sebeple grafende birim ağırlığı başına çok yüksek bir yüzey alanına sahiptir. Sahip olduğu çok ince yapıya rağmen kimyasal ve mekanik açıdan çok dayanıklı bir malzemedir. Grafenin kimyasal yapısı Şekil 3.2’de verilmiştir. Gr’nin birçok farklı üretim yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları mikromekaniksel olarak grafitin tabakalarının ayrılması (Eksfoliasyon), kimyasal buhar biriktirme yöntemi, Grafenoksitin indirgenmesi ve Epitaksiyel büyütme olarak sıralanabilir [63]. Grafen iki boyutlu malzeme olarak bilinir ve tabakasındaki bulunan karbon (C) atomları, sp^2 hibritleşmesi yapar ve bu özellikleri sayesinde yüksek spesifik yüzey alanı, mükemmel elektriksel geçirgenlik ve üstün mekanik stabilitesi sayesinde birçok alanda kullanım için ümit verici bir materyal olmuştur. Grafenin rulo halindeki yapısı karbon

nanotüplerdir. Karbon nanotüplerin geçmişten beri elektronikten sağlığa birçok alanda, farklı şekillerde kullanımları araştırılmıştır ve kullanılmaktadır. Grafen de karbon nanotüplerin kullanıldığı bütün alanlar için adapte edilebilir bir yapıya sahiptir. Nanotüplerin araştırılırken elde edilmiş bilgiler sayesinde Gr malzemesinin teknoloji alanından kullanımı günden güne artmaktadır. Grafen elektronik ve optoelektronik cihazlar, kimyasal sensörler, nanokompozitler ve enerji depolama cihazlarında kullanılabilir [45]. Grafen, elektrik iletimini çok küçük bir alanlarda bile sağlayabildiği için, çok küçük miktarlarda kullanıldığında bile, süper hızlı bilgisayarlar, transistör ve ultra/süper kapasitörlerin üretilmesinde kullanılabilir [2,3,7,46].



Şekil 3.2. Grafenin kimyasal yapısı

3.2. p-Si Kristalinin Temizlenmesi

P-tipi silisyum bor katkılı silikon olup, voltaj uygulandığında elektronları kolayca kabul eden iletken bir malzemeye dönüştürür. P-Si malzemenin temizliği, oluşturulan arayüzey tabakalı MS yapıların performansını doğrudan etkilediği için büyük önem taşımaktadır.

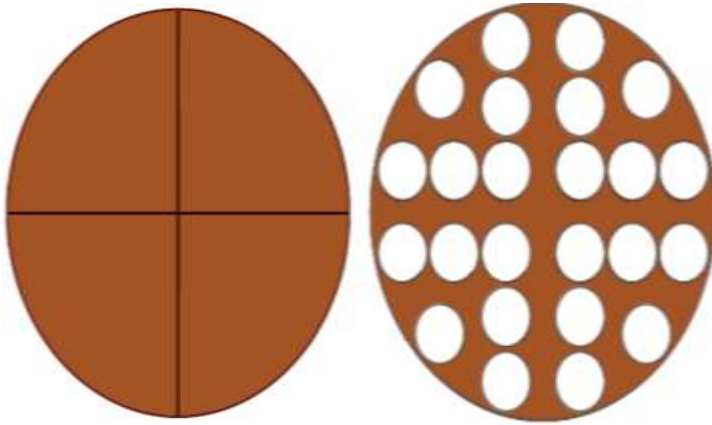
Yarıiletken kristallerin büyütülmesi temiz ortamda ve yüksek vakum uygulanarak, laboratuvar ortamında yapılır. Fakat ortam ne kadar temiz olsa da laboratuvar ortamındaki organik/inorganik kirlilikler veya bazı safsızlıklar sebebi ile yarıiletken malzemenin yasak enerji bandında istenmeyen arayüzey durumlarına (N_{ss}) neden olur. İstenmeyen arayüzey durumları kapasitörün performansında olumsuz etkilere yol açar. Bu yüzden yarıiletken kristallerinin büyütülmesi işlemi temiz odada gerçekleştirilmelidir. Deney ortamında

kullanılan beher, cımbız vb. malzemeler aseton yardımı ile temizlenmiş ve deiyonize su ile durulanmıştır. 80 °C'deki fırında malzemelerin sterilizasyon işlemi tamamlanmıştır.

Bu çalışmada, Al/(0.05 grafen katkılı- PVA)/p-Si (MPS) yapılar, 2 inch (5.08 cm) çaplı, (100) yönelimli, 40 nm kalınlıklı Bor (B) katkılı (p-tipi) Si kristal üzerinde oluşturulmuştur. Fabrikasyon işleminden önce p-Si yaprak ultrasonik banyoda bazı çözeltiler (aseton, izopropil alkol vb.) yardımı ile 5 dakika boyunca temizlendikten sonra p-Si yaprak 18Ωcm öz dirençli deiyonize su ile durulanmıştır. Daha sonra yüksek saflıktaki (% 99.999) azot gazı (N₂) ile kurulanmıştır.

3.3. Ohmik Arka Kontakların Oluşturulması

p-Si yaprakların arka mat yüzeyine (parlatılmamış yüzey) yüksek vakum metal buharlaştırma sistemi kullanılarak yüksek saflıkta (%99,999) Al (150 nm) tabaka 10⁻⁶ Torr'da buharlaştırılmıştır. p-Si yaprak 450 °C sıcaklıkta, azot ortamında 3 dakika tavlansak metal (Al) içerisinde çöktürülmüştür. Bu yöntem ile arka ohmik kontaklar oluşturulmuştur. Bakır (Cu) maskeye 4 mm çaplarda delikler açılmıştır. Bakır maskeler kullanılarak p-Si yaprakların ön parlak yüzeyine aynı buharlaştırma sistemi ile doğrultucu kontaklar oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Ohmik ve doğrultucu kontakların oluşturulmasında kullanılan bakır maskeler

3.4. Elektro-Eğirme Metodu

Ohmik kontakların oluşturulmasından sonra (0.05Gr-PVA) polimer arayüzey tabakası p-Si yaprağın ön yüzeyine elektro-eğirme yöntemi ile büyütülmüştür [7]. Elektro-eğirme metodu,

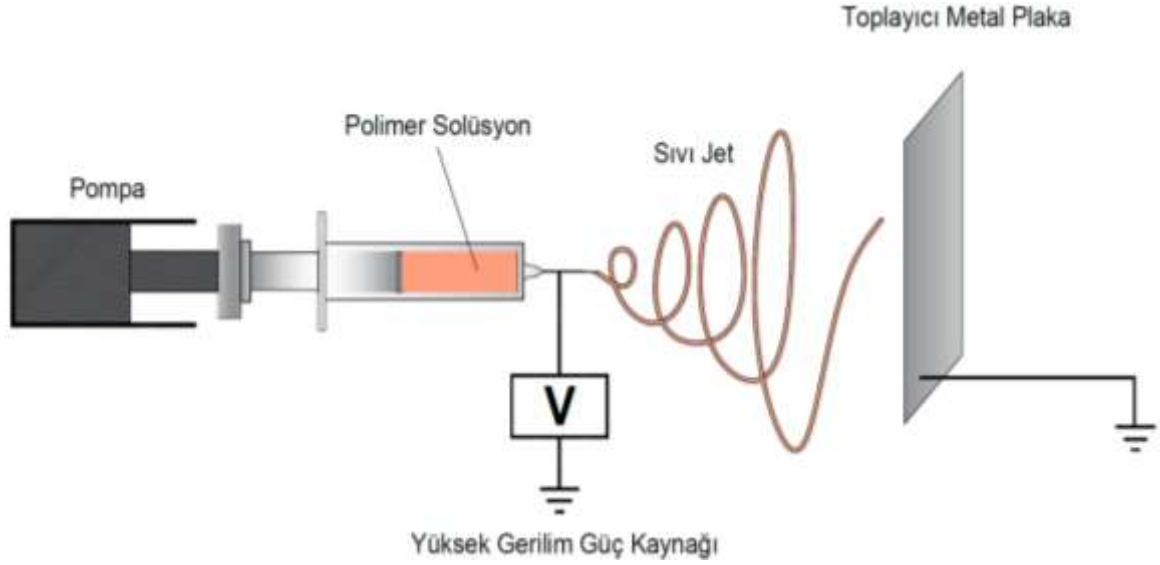
polimerler, seramikler ve metal oksitler gibi malzemelerden nanofiber üretimine olanak sağlayan bir yöntemdir. Genel olarak, çapı 1000 nm'den az olan liflere elektro-eğirme işleminde nanofiber denir [24].

Elektro-eğirme metodu elektrostatik eğirme olarak da bilinir. Tipik bir elektro-eğirme düzeneği, genellikle, yüksek gerilime bağlı olan metalik bir kılcal nozül ve negatif gerilime topraklanmış veya yüklenmiş bir kollektör içerir. Elektrik alanı kritik bir değeri aştığında, elektrostatik kuvvet, polimer çözeltisinin (veya eriyik polimer) yüzey gerilimini aşacak ve iğne ucundan ince bir jet atılmasına neden olur [25]. Elektro-eğirme işlemi ile üretilen liflerinin morfolojisi ve çapı, aşağıdaki maddeleri içeren bir dizi parametreye bağlıdır:

- a) Madde parametreleri (Bognitzki ve diğerleri, 2001; Demir ve diğerleri, 2002; Doshi ve Reneker 1995; Theron ve diğerleri, 2004), polimerin kendisinin ve viskozite (veya konsantrasyon), iletkenlik ve yüzey gerilimi gibi içsel çözelti özellikleri;
- b) Uygulanan elektrik potansiyeli ve uç ile toplayıcı arasındaki mesafe gibi çalışma koşulları dahil olmak üzere proses parametreleri (Deitzel ve diğerleri, 2001a; Theron ve diğerleri, 2004) ve ortam parametreleri (sıcaklık ve nem gibi) (Huang ve arkadaşları, 2003; Li ve Xia, 2004b) [26].

Üretilen lif çapları polimer çözeltisinin türüne ve üretim parametrelerine göre değişebilir. Bununla beraber elektrostatik eğirme metodu kullanılarak büyütölmek istenen polimer çözeltileri, istenildiği doğrultuda büyütölemeyebilir. Bu durumun sebebi polimer çözeltisinin büyütölmesinde viskozitenin çok etkili olmasıdır. Polimer çözeltisinin viskozitesinin artması, yüzey gerilimi ve viskoz akış arasındaki denge damlacıklara ayrılmak yerine silindirik bir jet oluşmasını kolaylaştırır [26,27].

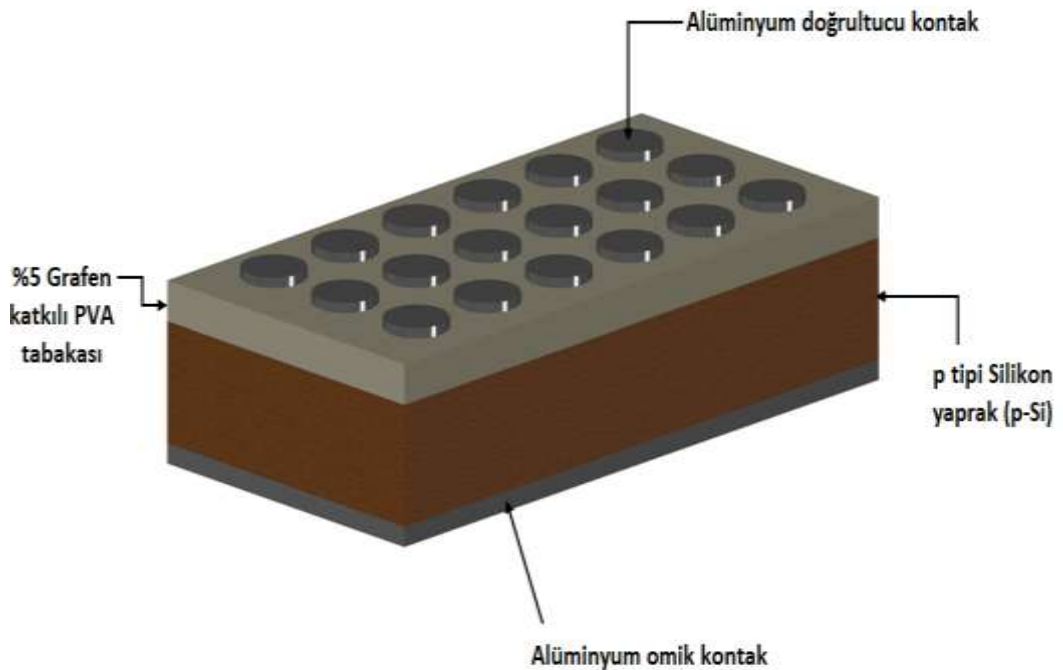
Elektrostatik eğirme metodunda polimer çözeltisi ısı ile eritilerek veya uygun çözücü içerisinde çözünerek şırıngaya çekilir. Şırınganın ucunda bir metalik iğne bulunmaktadır. Çözelti, şırınga pompası yardımı ile metal iğneye doğru sabit oranda beslenir. Yüksek voltaj uygulanarak püskürtme nozülündeki polimer solüsyonunun asılı damlası statik olarak yüklenir ve indüklenen yükler yüzeye eşit olarak dağıtılır ve sıvı jet oluşur. Elektriklenmiş olan sıvı jet hızlı bir şekilde uzun, ince, ipliksi bir yapı meydana getirir. Bu uzama sürekli devam eder ve çözücünün de buharlaşması ile birlikte fiberler oluşur [28,29].



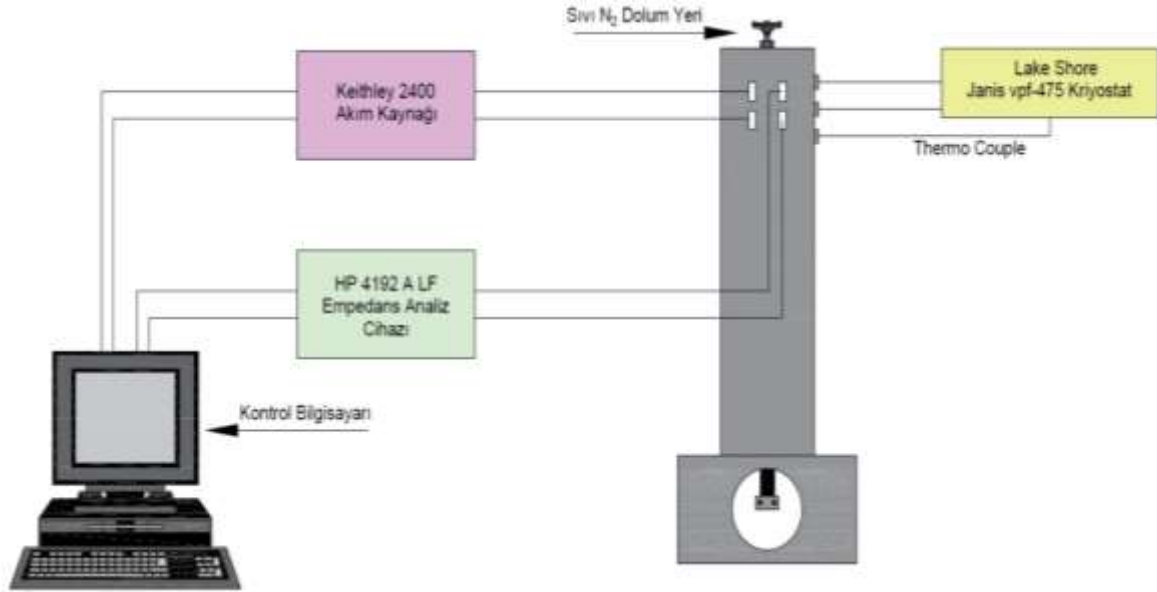
Şekil 3.4. Elektro-eğirme yönteminin şematik gösterimi

3.5. Schotkky/Doğrultucu Ön Kontakt Oluşumu

Bakır maske kullanılarak aynı metal buharlaştırma sistemi ile %99.999 saflıktaki Al metali 10^{-6} Torr basınçta, 4 mm çaplı, 150 nm kalınlıklı, (0.05Gr-PVA) tabakası üzerinde oluşturularak Shotkky/Doğrultucu kontaklar oluşturulmuş ve Al/(0.05Gr-PVA)/p-Si/Al (MPS) diyotun fabrikasyon aşaması tamamlanmıştır. Hazırlanmış olan Al/(0.05Gr-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapının şematik olarak görünümü Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al yapının şematik gösterimi



Şekil 3.6. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si yapının ölçümlerinde kullanılan deneysel ölçüm sistemi

Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapılar için elektriksel ölçümlerin alındığı ölçüm sisteminin şematik hali Şekil 3.6’da gösterildiği gibidir. Akım-voltaj (I-V) ölçümleri Keithley 2400 Akım Kaynağı ile oda sıcaklığında alınmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan kapasitans-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G/ ω -V) ölçümleri HP4192A LF Empedans Analiz Cihazı kullanılarak yine oda sıcaklığında alınmıştır. Ölçümler 1 kHz-5 MHz aralığında ve 50 mV adımlarla, (-6V)-(+6V) voltaj aralığında alınmıştır. Kullanılan ölçüm cihazları Resim 3.1 (a) ve (b)’de verilmiştir.



Resim 3.1. Hazırlanan Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al yapının kapasitans ve empedans ölçümlerinde kullanılan (a) Keithley 2400 Akım Kaynağı ve (b) HP4192A LF Empedans Analiz Cihazı

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Hazırlanan Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapıların temel elektriksel özellikleri alınan kapasitans (C-V) ve kondüktans (G/ω-V) ölçümleri yardımıyla incelenmiştir. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al(MPS) yapıya ait difüzyon potansiyeli (V_D), katkılanmış alıcı atom yoğunluğu (N_A), Fermi enerji seviyesi (E_F) ve engel yüksekliği (Φ_B) değerleri, sırasıyla Eş. 4.1, Eş. 4.2, Eş. 4.3 ve Eş. 4.4 yardımı ile 500 kHz frekans değeri için hesaplanmış olup, bu değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

$$V_D = V_0 + \frac{kT}{q} \quad (4.1)$$

$$N_A = \frac{2}{A^2 \varepsilon_s \varepsilon_0 q \frac{\partial(\frac{1}{C^2})}{\partial V}} \quad (4.2)$$

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_V}{N_A} \right) \quad (4.3)$$

$$\Phi_B(C - V) = \left(V_0 + \frac{kT}{q} \right) + E_F = V_D + E_F \quad (4.4)$$

Çizelge 4.2. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si için tek frekansta hesaplanan bazı elektriksel değerler

Vo (eV)	VD (V)	NA (cm ⁻³)	EF (eV)	ΦB (eV)
1,80	1,83	6,61x10 ¹⁶	0,133	1,02

Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapıların kompleks dielektrik ($\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon''$), kompleks elektrik modülüs ($M^* = M' + jM''$) değerlerinin reel ve sanal kısımları, elektriksel iletkenlik (σ_{ac}), kayıp tanjant ($\tan\delta$) geniş frekans ve voltaj aralığında, oda sıcaklığında incelenmiştir. C-V ve G/ω-V ölçümleri 5 kHz-5 MHz frekansları ve ±4V aralığında alınmıştır. Dielektrik malzemelerde kompleks dielektrik sabiti $\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon''$ eşitliği ile ifade edilir. Bu denklemde ε' kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı, $j = \sqrt{-1}$ ve ε'' dielektrik sabitinin sanal kısmıdır. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si (MPS) Schottky diyot için frekansa bağlı,

farklı voltajlar için ε' ve ε'' değerleri, ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m) değerleri kullanılarak sırasıyla eşitlik 4.5 ve 4.6 kullanılarak elde edilir [11,12, 35-43].

$$\varepsilon' = \frac{C}{C_o} = \frac{Cd_i}{\varepsilon_o A} \quad (4.5)$$

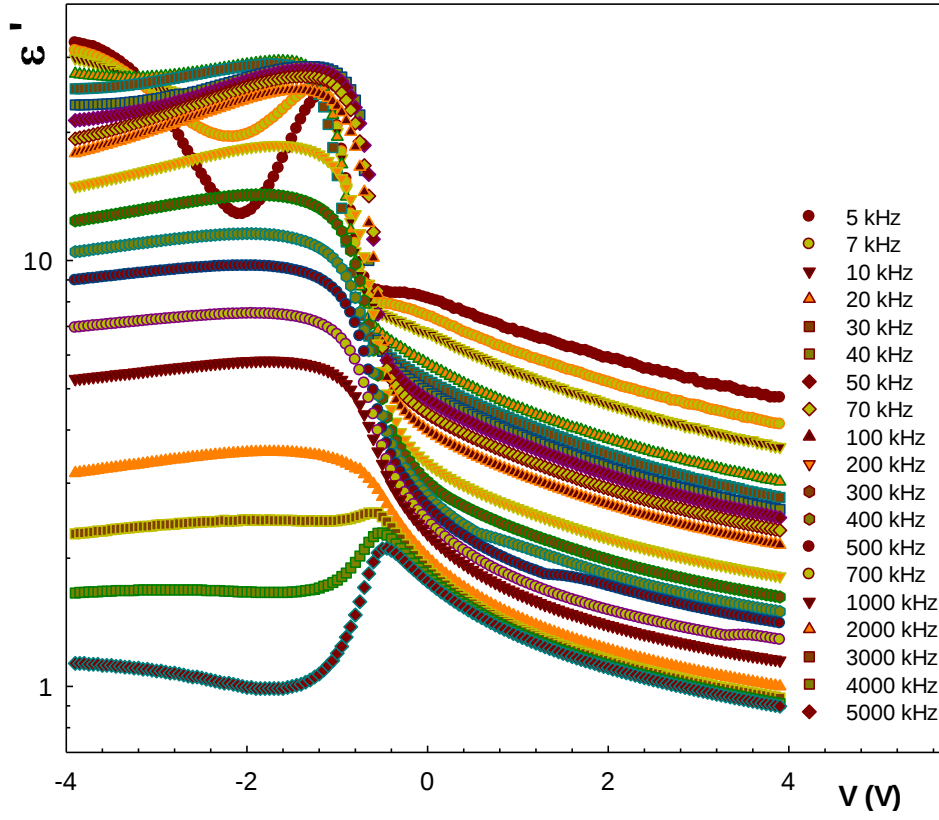
$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_o} = \frac{Gd_i}{\varepsilon_o \omega A} \quad (4.6)$$

Eş.4.1 ve 4.2’de belirtilen A değeri doğrultucu temas alanı, d_i arayüzey tabakasının kalınlığı (=40nm), ε_o (=8,85x10⁻¹⁴ F/cm) boşluğun dielektrik sabiti, C_o boş kapasitörün sığası denklem 4.2’de kullanılan ω =2 π f açısal frekans değerleridir. Al/(0.05Gr-PVA)/p-Si yapı için ε' -V ve ε'' -V grafikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

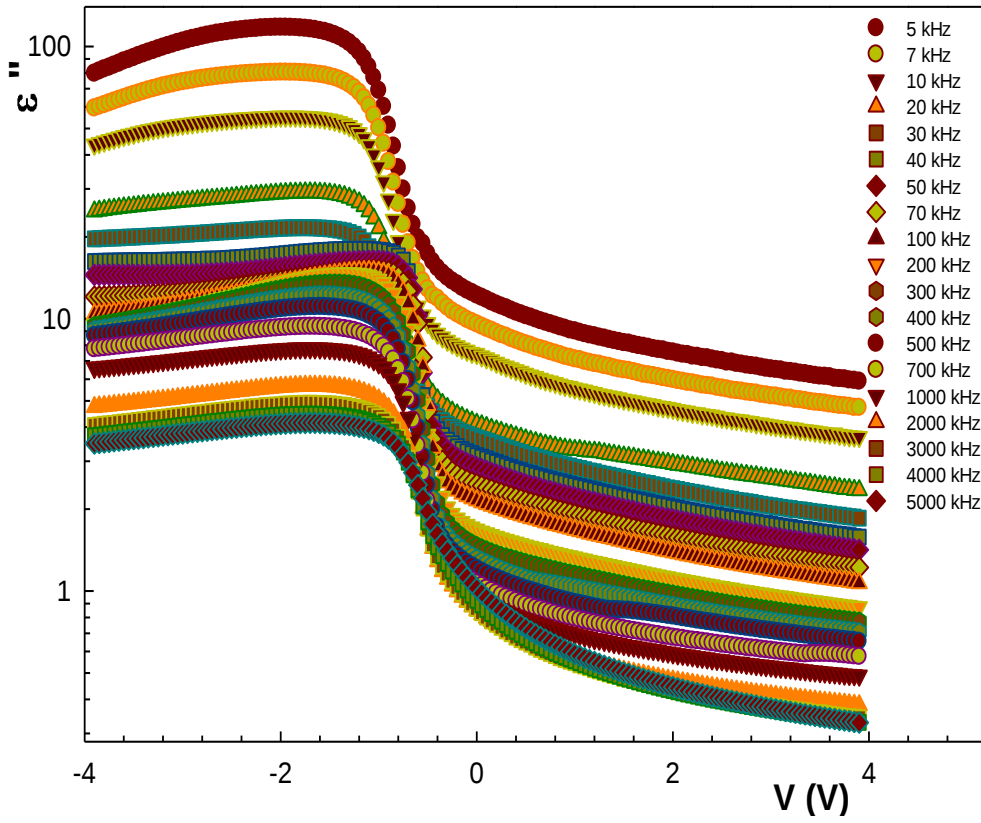
Dielektrik kayıp tanjant veya kayıp açısı, kondansatörde sığasal olarak depolanan enerjide oluşan kaybın miktarıdır. Başka bir ifadeyle, hazırlanan MPS yapıların artan iletkenlik değerlerinin belirli frekanslarda MPS yapılarda dielektrik kayıplara yol açar. $\tan\delta$ değeri, aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{G}{\omega C} \quad (4.3)$$

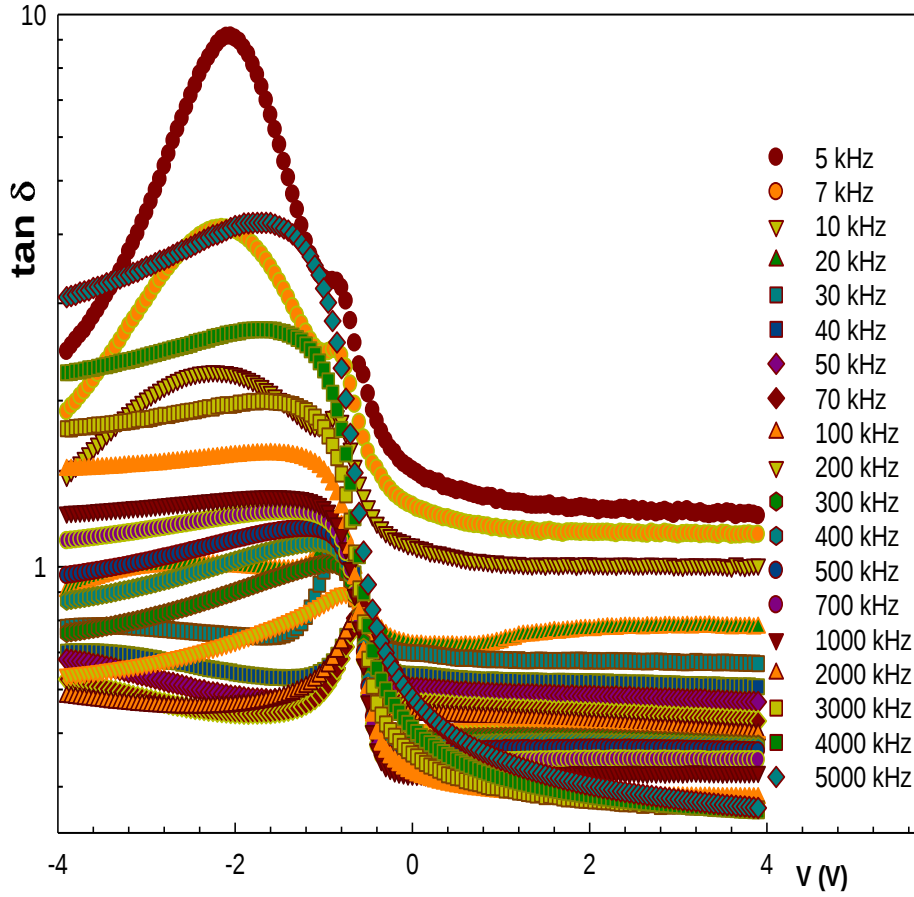
Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si (MPS) yapılar için kayıp tanjantın frekans ve voltaja bağlı değişimi Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.1. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki ϵ' -V grafiği



Şekil 4.2. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki ϵ'' -V grafiği



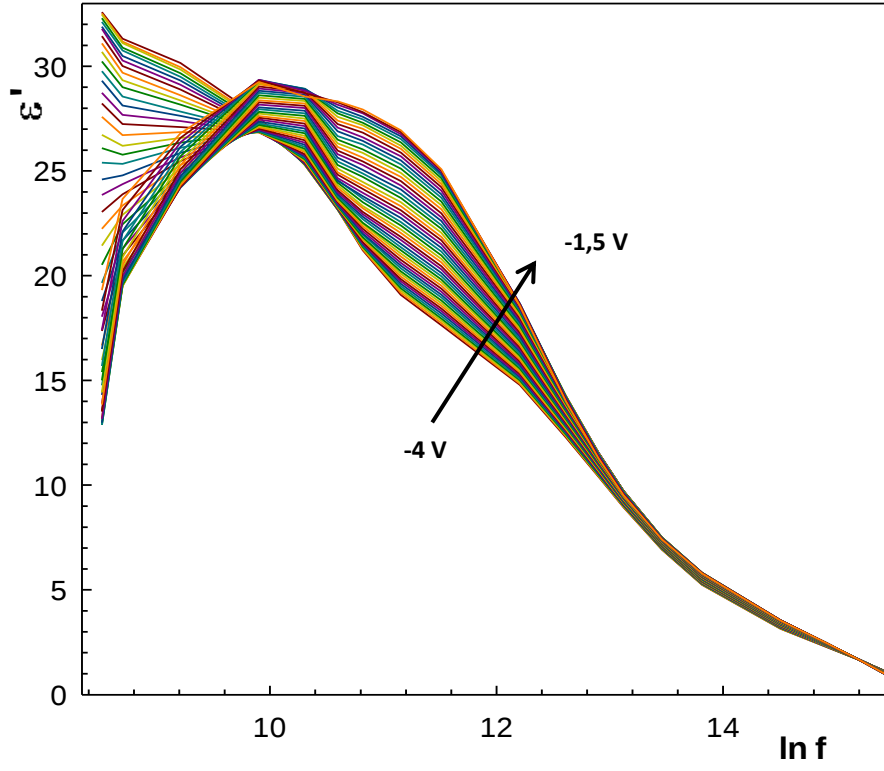
Şekil 4.3. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki $\tan\delta$ -V grafiği

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü üzere ϵ' -V ve ϵ'' -V grafikleri MOS kapasitörlerde olduğu gibi, her frekans için, terslenim, tüketim ve yığılım bölgelerine sahiptir ve ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri yüksek frekanslı dağılım gösterir. Bu parametrelerin düşük-orta frekanstaki değişimleri Maxwell-Wagner ve uzay yükü polarizasyonu ile ilişkilendirilebilir [36-38]. Fakat ilişkilendirilen bu katkılar yüksek frekanslarda çok düşük olduğu için ihmal edilebilir. Şekil 4.3’te görüldüğü üzere, $\tan\delta$ -V grafiği tüketim ve yığılım bölgeleri arasında keskin bir pik vermektedir ve yığılım bölgesi artan frekans ile azaldığı açıkça görülmektedir. ‘ $\tan\delta$ ’ değeri, uygulanan öngerilim voltajında, elektrik enerjisi kaybının depolanan enerjiye oranının bir ölçüsü olarak kabul edilebilir. ‘ $\tan\delta$ ’ değeri, doğru akım (dc) iletkenliği, arayüzey polarizasyonu (IP) ve dipol yönelimlerine bağlıdır [36]. Sonuç olarak, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp değerlerinin terslenim-tüketim bölgelerinde frekans ile değişimi istenmeyen arayüzey durumlarının (N_{ss}) ve polarizasyonun sonucudur. Yığılım bölgesi ise, hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si yapıdaki seri direncin (R_s) bir sonucudur. Voltajın dielektrik özelliklerle ilişkisini daha doğru ve güvenilir bir şekilde incelemek için ϵ' -lnf, ϵ'' -lnf ve $\tan\delta$ -lnf grafikleri hem yığılım hem de terslenim-tüketim bölgeleri için çizilmiş olup

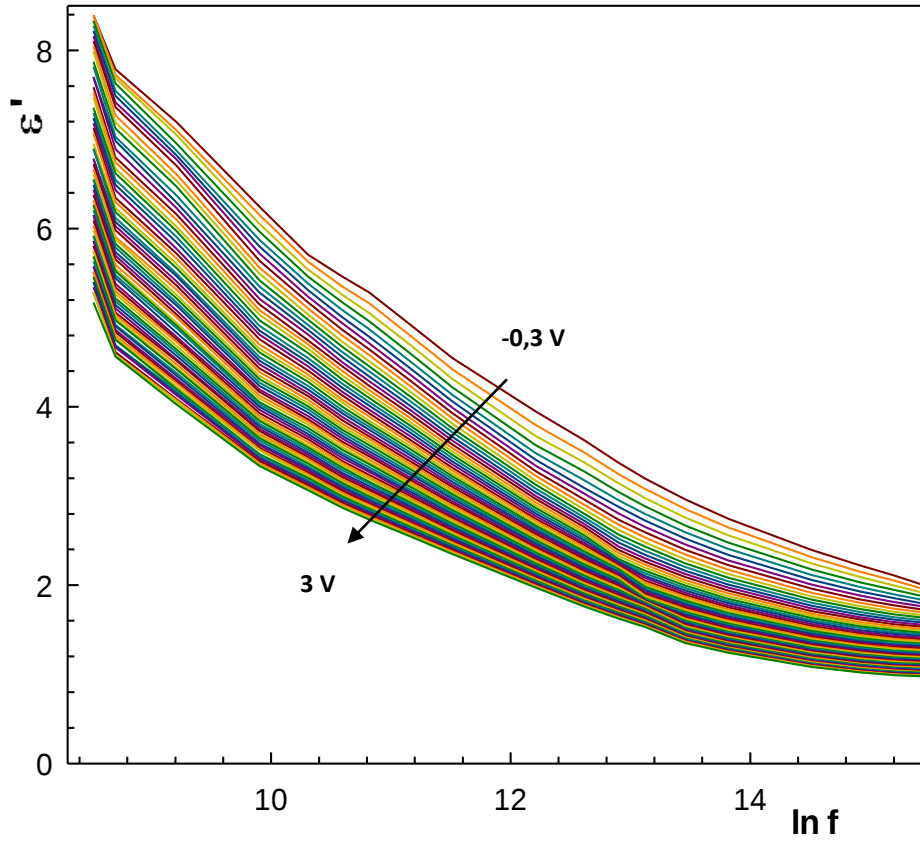
sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Yığılım bölgesindeki iletkenlik mekanizmaları, terslenim-tüketim bölgelerinden oldukça farklıdır. Başka bir ifadeyle, seri direnç R_s ’nin ölçülen C ve G üzerindeki ve aynı zamanda ϵ' ve ϵ'' üzerindeki etkisi terslenim-tüketim bölgesinde ihmal edilebilirken, istenmeyen arayüzey durumları N_{ss} ’in ve polarizasyonun etkileri yığılım bölgesinde ihmal edilebilir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te görüldüğü üzere ϵ' değeri uygulanan her öngerilim voltajı için düşük frekanslarda pik verirken, tüm frekans aralığı için neredeyse eksponansiyel olarak, artan frekansla azalır. Bu durum, terslenim-tüketim bölgesinde iki farklı iletim mekanizmasının varlığının bir kanıtıdır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de de görülebileceği gibi -4V ile -1,5V yığılım, -0,3V ile 3V arası terslenim-tüketim bölgesidir. Bu durum, MIS ve MPS yapılarında/kapasitörlerde tipik bir özelliktir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te verilen ϵ' -lnf grafiklerinin aksine Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilen ϵ'' -lnf grafikleri incelendiğinde ϵ'' değerlerinin her frekans için uygulanan öngerilim voltajında artan frekans ile azaldığı görülür. Ayrıca, hem ϵ' hem de ϵ'' değeri uygulanan bütün voltaj değerlerinde ölçülen C ve G değerleri için neredeyse sabit hale gelir. Artan frekans ile hem ϵ' hem de ϵ'' değerlerindeki yüksek değerler, kendilerini elektrik alan yönünde kolayca yönlendirebilirler bu durum dipollerin varlığı ile açıklanabilir ve N_{ss} , düşük ve orta frekanslarda uygulanan ac sinyali kolayca takip edebilir. Bu nedenle, düşük ve orta frekanslarda ϵ' ve ϵ'' de gözlenen bazı kırılmalar, N_{ss} ’nin varlığına ve (Gr-PVA)/p-Si arayüzeyinin özel bir dağılımına bağlanabilir. Böylece ölçülen değerler için, ϵ' ve ϵ'' daha fazla kapasitans ve iletkenlik değerleri sağlayabilmektedir [47,48].

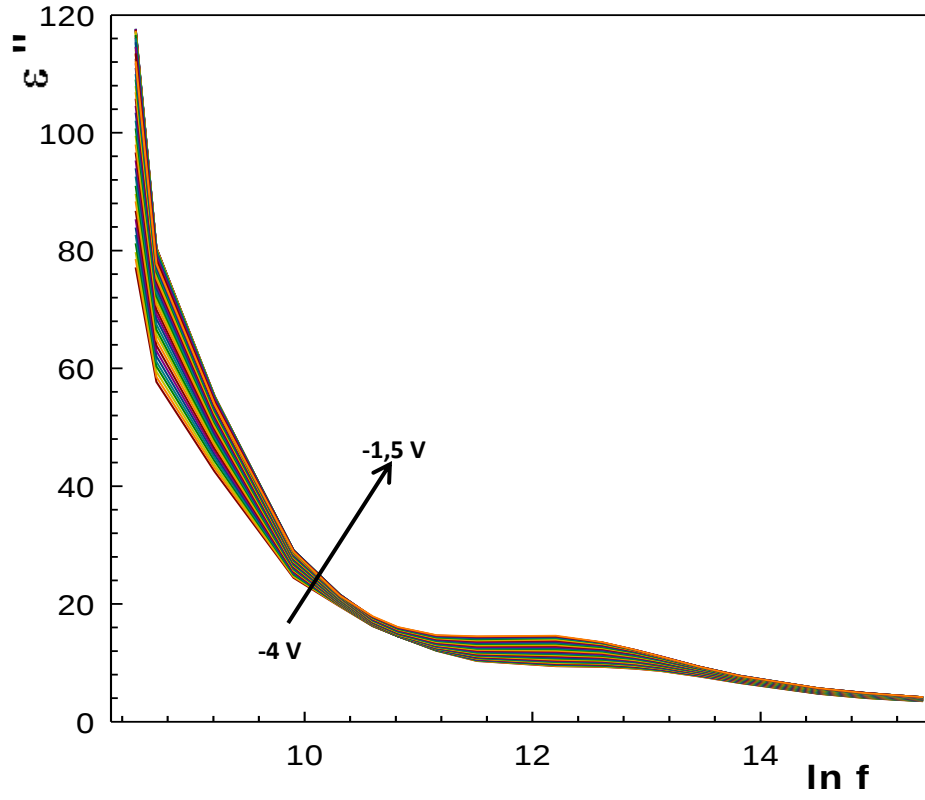
MIS/MPS tipi Schotkky diyotlar için, ideal durumda, ϵ' ve ϵ'' değerlerinin artan voltaj ile artması ve frekanstan bağımsız olması beklenir. Gerçeğin aksine ideal durumda istenmeyen arayüzey durumlarının (N_{ss}) neredeyse hiç olmadığı ve diyotta/aygıtta seri direnç (R_s) olmadığı, kabul edilir. Fabrikasyon aşamasında yasak enerji bandında tuzaklar oluşarak N_{ss} ’ye sebep olabilir veya yine ölçüm almak için kullanılan kablolardan, ohmik/doğrultucu kontaklardan veya iletkenlik için kullanılan gümüş pastadan dolayı, hazırlanan yapılarda R_s oluşarak ideal durumdan sapma gözlenebilir. Frekansa bağlı olarak dielektrik parametrelerde görülen değişimler gevşeme zamanının (τ) bir sonucu olarak yorumlanır [47-51].



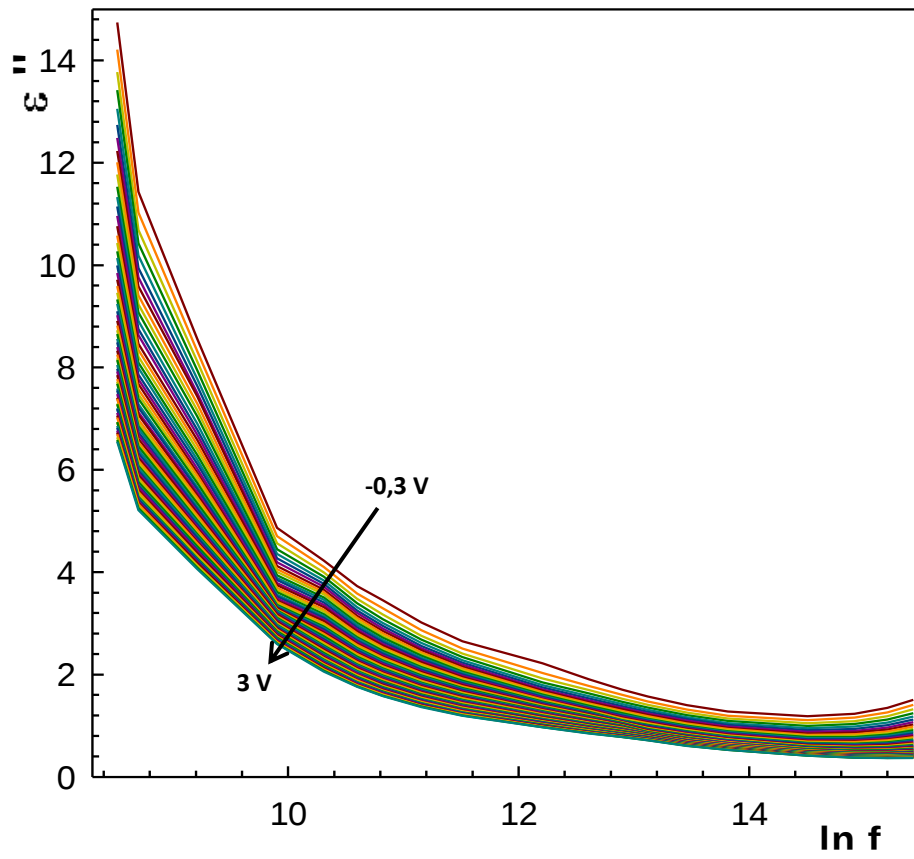
Şekil 4.4. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesindeki ϵ'' - $\ln f$ grafiği



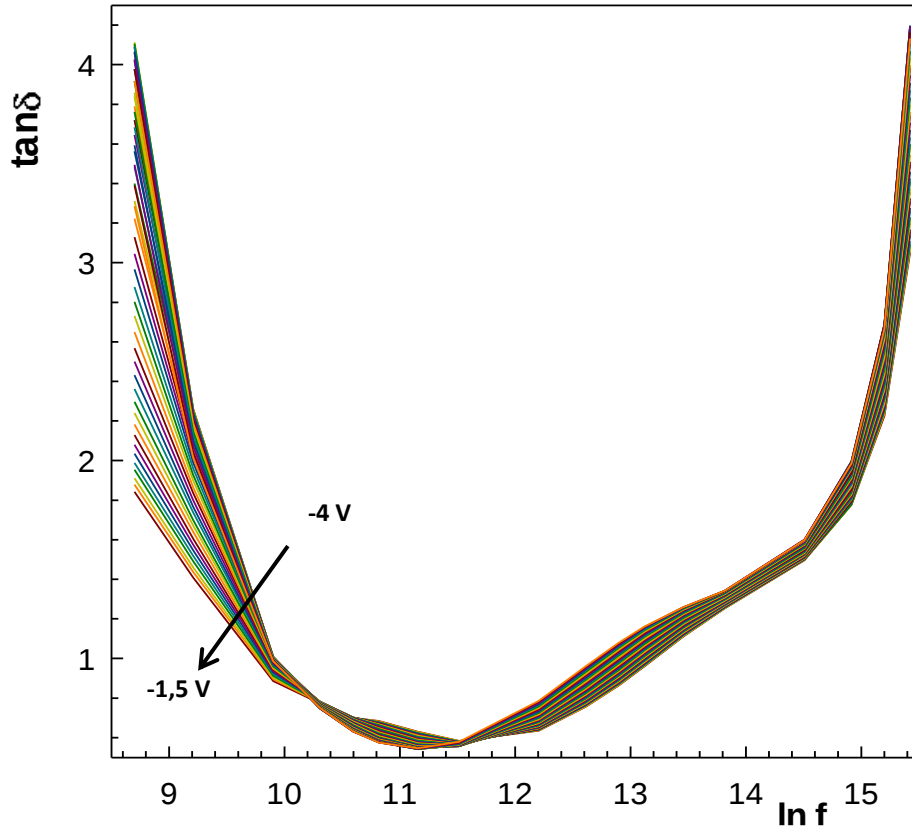
Şekil 4.5. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için terslenim-tüketim bölgesindeki ϵ'' - $\ln f$ grafiği



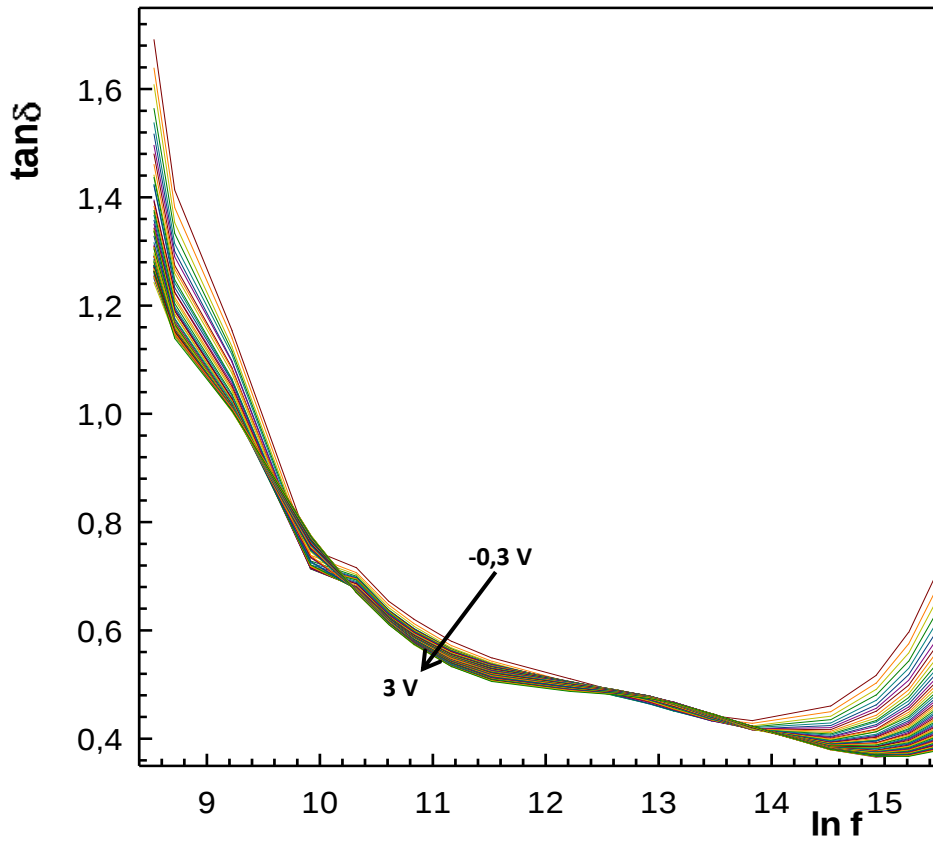
Şekil 4.6. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılma bölgesindeki ϵ'' -lnf grafiği



Şekil 4.7. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için terslenim-tüketim bölgesindeki ϵ'' -lnf grafiği



Şekil 4.8. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyot için yığılım bölgesindeki $\tan \delta$ - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.9. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesindeki $\tan \delta$ - $\ln f$ grafiği

Eş. 4.3'te de görülebileceği üzere kayıp açısı ($\tan\delta$), dielektrik kayıp (ϵ'') değerinin sanal kısmının dielektrik sabitinin (ϵ') reel kısmına oranı (ϵ''/ϵ') ile hesaplanır. Şekil 4.8'de açıkça görüldüğü üzere ($\tan\delta$)- $\ln(f)$ eğrileri uygulanan her öngerilim voltajında U tipi davranış sergiler. Bu tip davranış düşük frekanslardaki iletim mekanizmasının sonucudur. Bir başka ifade ile ϵ' değeri azalırken ϵ'' değeri artar.

Kompleks elektrik modülüsün reel (M') ve sanal (M'') kısımları kompleks dielektrik sabitinin ($M^* = \frac{1}{\epsilon^*}$) düzenlenmesi ile Eş. 4.4, Eş. 4.5 ve Eş. 4.6 yardımıyla bulunur.

$$M^* = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + j \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (4.4)$$

$$M' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (4.5)$$

$$M'' = \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (4.6)$$

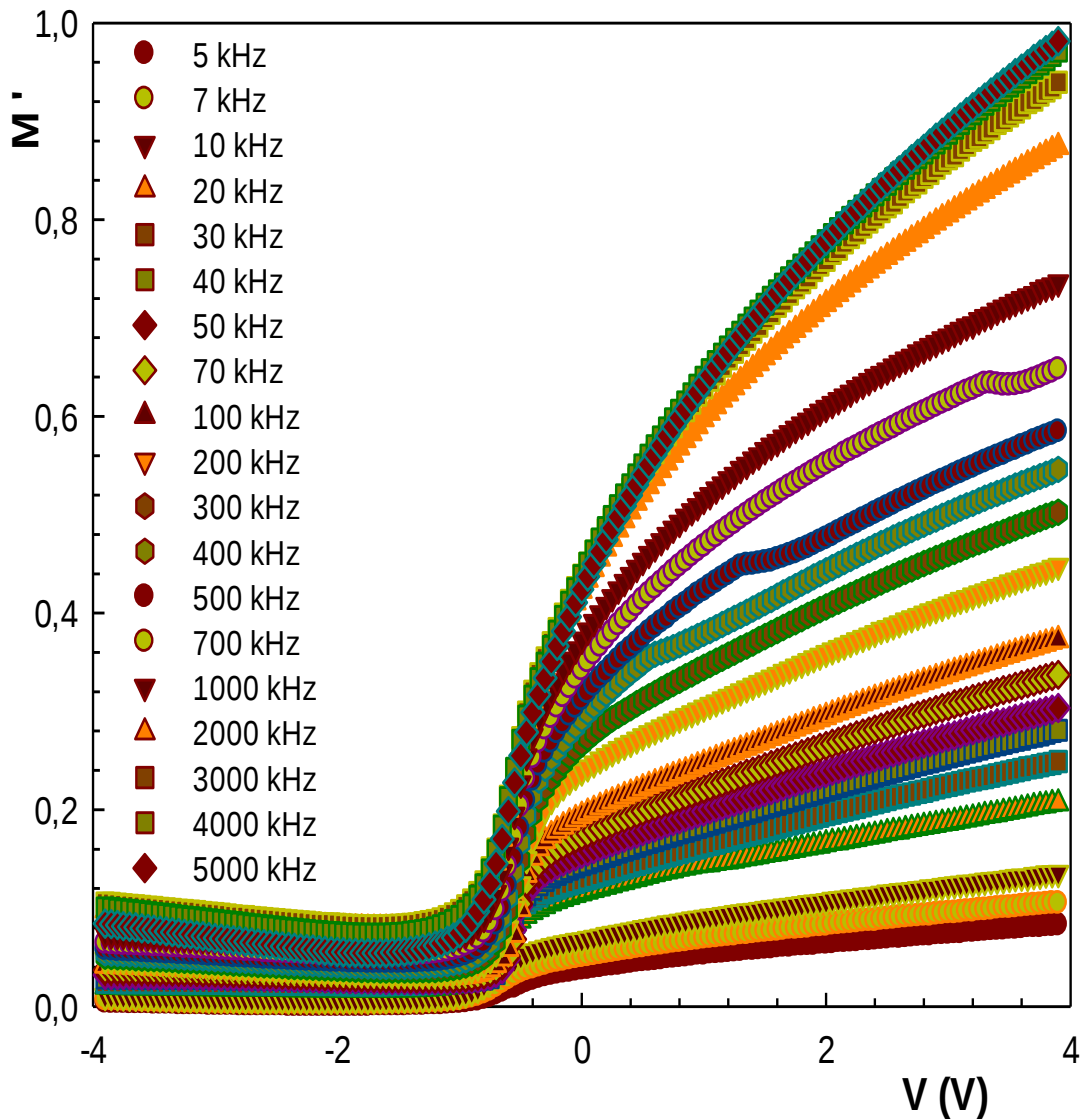
Hazırlanan Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si (MPS) yapı için M' ve M'' değerlerinin voltaja bağlı grafikleri ϵ' ve ϵ'' verileri kullanılarak, geniş frekans aralığında (5-5000 kHz) çizilmiştir ve Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. M' ve M'' değerleri incelendiğinde frekans değerlerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu görülebilir. M'' -V grafiğinde gözlenen pik davranışı yüzey ve dipol polarizasyonundan ziyade, N_{ss} 'nin belirli bir yoğunluk dağılımı ve gevşeme zamanlarının (τ) bir sonucudur. M'' -V grafiğinin terslenim ve tüketim bölgesinde gözlenen pik davranışı azalan frekansla artar ve pozisyonu yığılma bölgesine doğru kayar. M' ve M'' değerlerindeki frekans ile değişimi dielektrik gevşemenin duyarlılığı ile açıklanabilir.

Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si (MPS) yapı için M' ve M'' değerlerinin frekansla değişimi, uygulanan geniş voltaj aralığında, hem yığılma hem de terslenim-tüketim bölgesi için Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de incelenmiştir. Bu şekillerde görülebileceği üzere

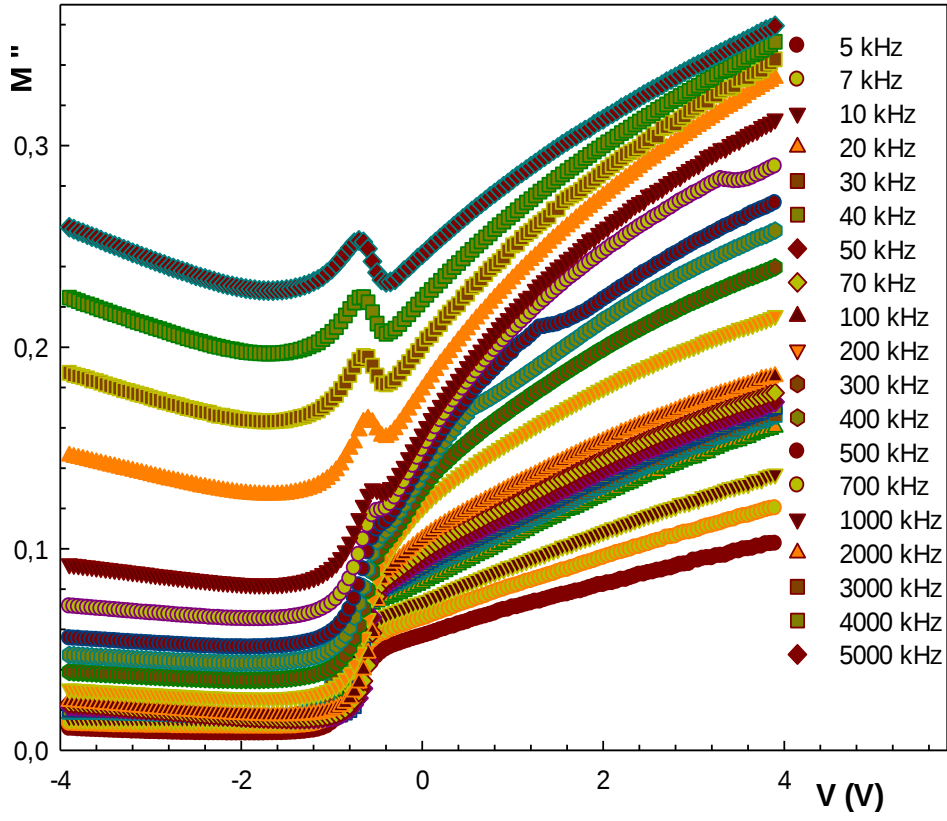
hem M' hem de M'' değerleri artan frekans ile artar ve içlerindeki uyuşmazlık sırasıyla N_{ss} ve R_s 'lerin etkileri olan orta ve yüksek frekanslarda daha belirgin hale gelir.

Yüksek frekanslarda, taşıyıcı olan elektronik yüklerin, kısa mesafeli mobilitesi nedeni ile iletim mekanizmalarına katkısı artmaktadır [12,25,52]. Bu durumun aksine, düşük frekanslarda, hem M' hem de M'' değerleri, bu elektronik yüklerin uzun süreli mobilitesi nedeniyle neredeyse sıfıra ulaşır.

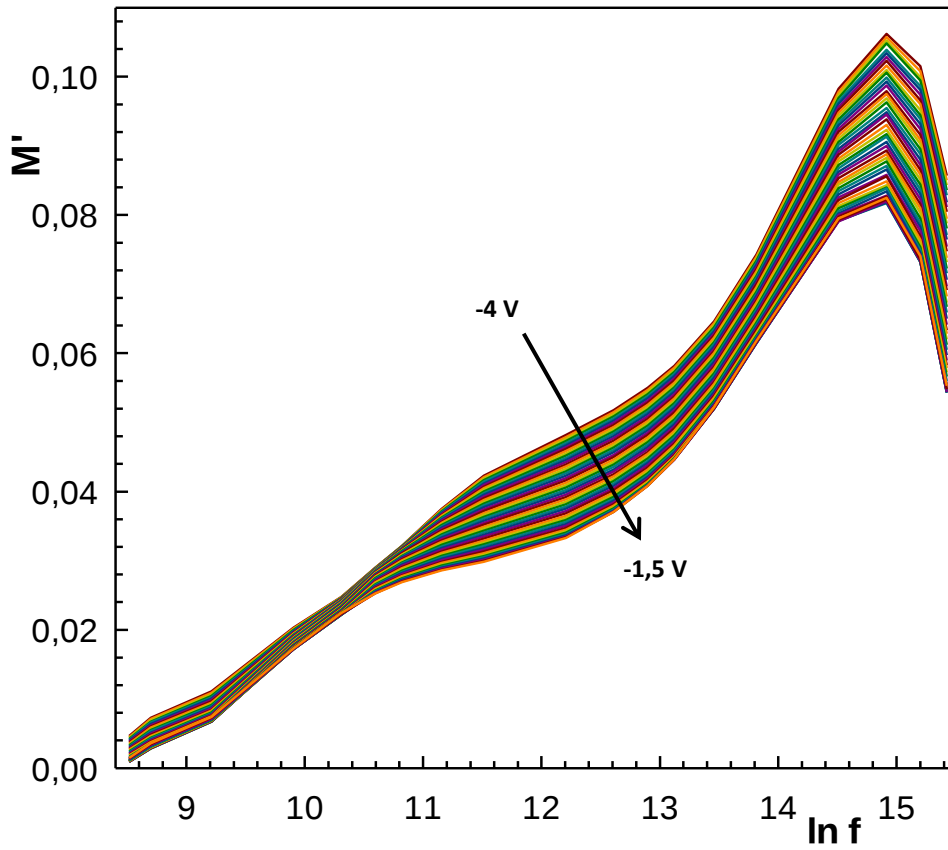
Literatürde çok yakın zamanda dielektrik özelliklerin, elektrik modülüsün ve iletkenliğin, voltaj ve frekansa bağımlılığı konusunda benzer sonuçlar bildirilmiştir [52-59]. M' ve M'' değerleri incelendiğinde gerilim ve frekansın kuvvetli bir fonksiyonu olduğu aşıkardır.



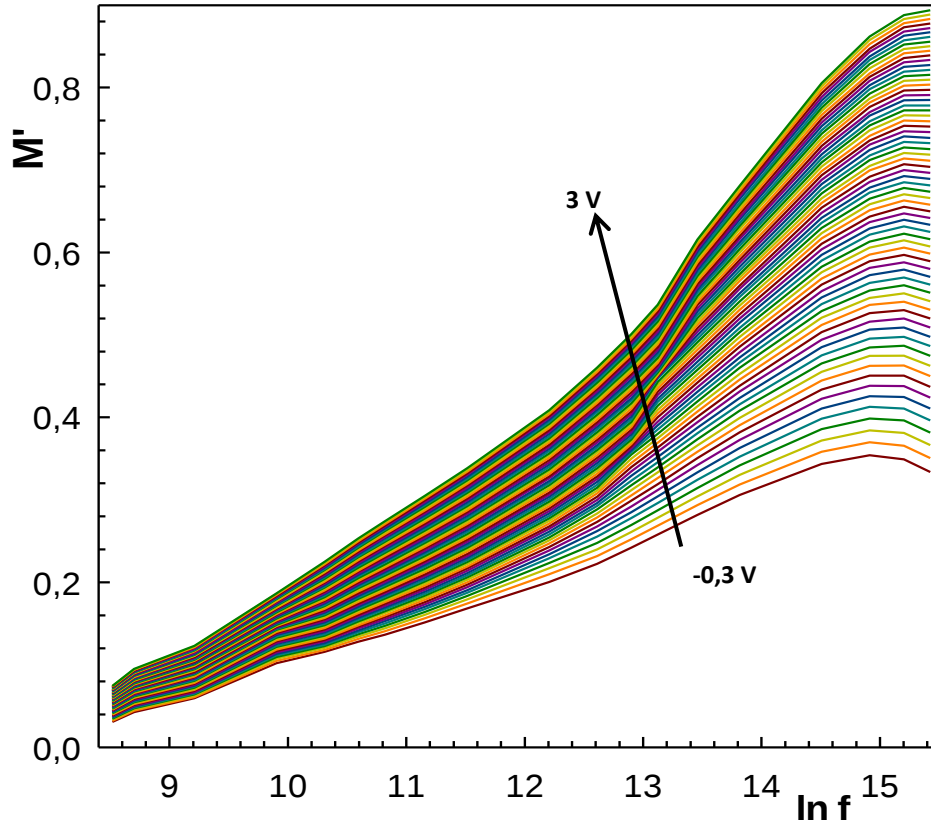
Şekil 4.10. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki M' -V grafiği



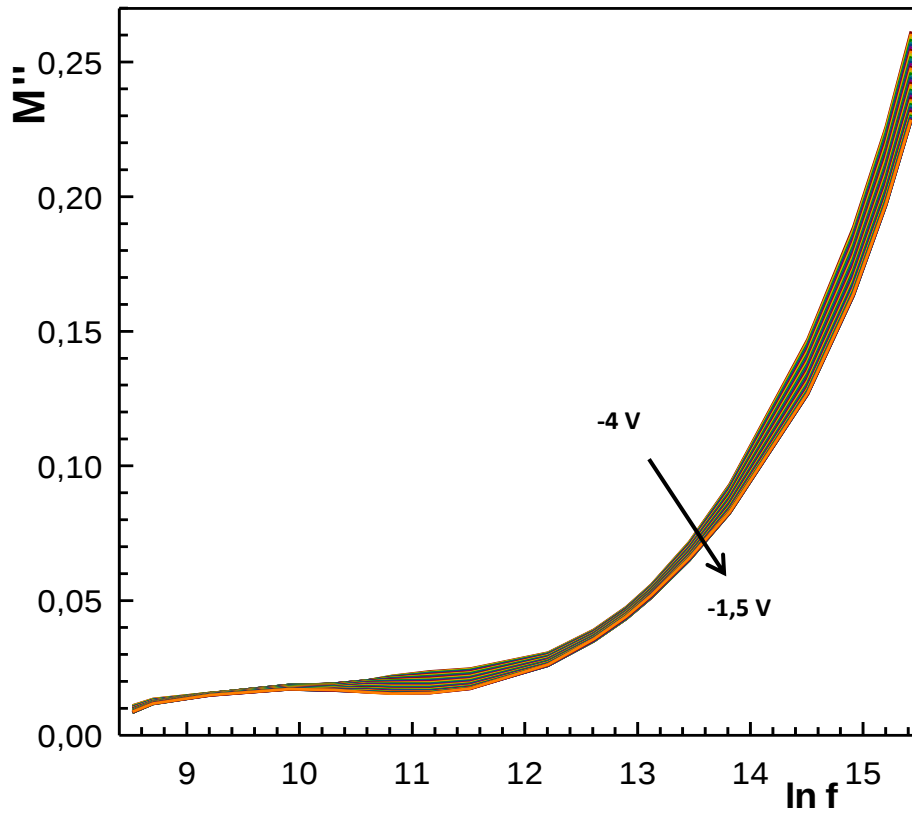
Şekil 4.11. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki M'' -V grafiği



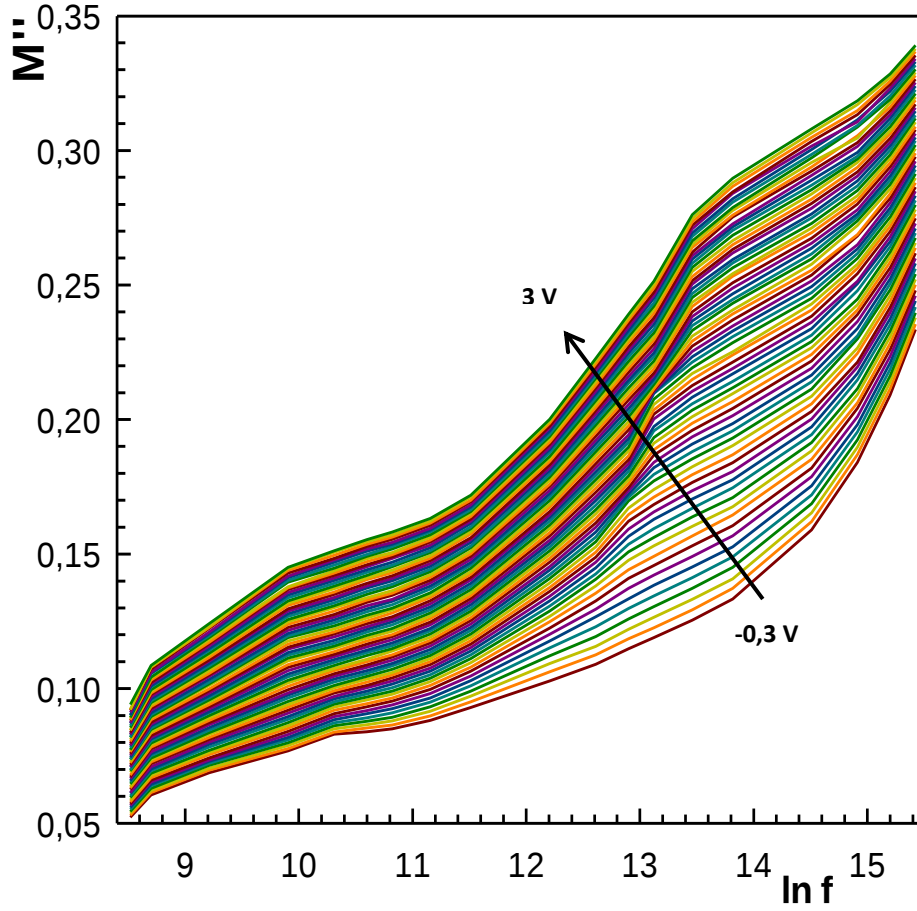
Şekil 4.12. Hazırlanmış Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun yığılım bölgesi için M' -ln f grafiği



Şekil 4.13. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesi için M' - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.14. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun yığılım bölgesi için M'' - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.15. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesi için M'' - $\ln f$ grafiği

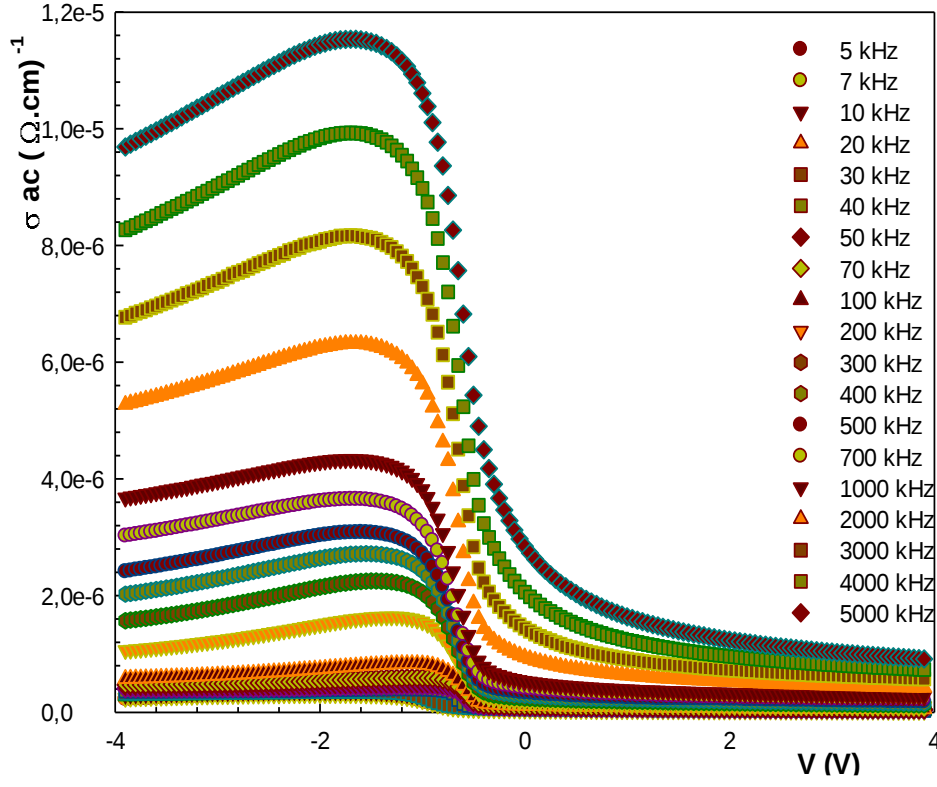
Tüm bu deneysel sonuçlar metal-polimer-yarıiletken (MPS) yapıların daha fazla elektronik yük depolamasında kullanılabileceğini gösterir ve hem elektrik hem de dielektrik özellikleri metal-yarıiletken (MS) yapısından oldukça farklıdır. Bu duruma ek olarak, böyle bir arayüzey katmanı (Gr-PVA) elektrik alan altında kolayca polarize olabilir. Böylece istenmeyen arayüzey durumları (N_{ss}) oluşabilir ve dipoller düşük-orta frekanslarda ac sinyali kolayca takip edebilir. Bu durum özellikle terslenim-tüketim bölgesinde belirgindir. Seri direnç (R_s) ise yığılım bölgesinde belirgindir. Bu yüzey durumları veya arayüzey tuzakları (N_{ss}/D_{it}) hareketli iyonları, oksit tuzakları, sabit oksitleri ve tuzak halindeki arayüzey yüklerini içerir ancak empedans ve dielektrik parametrelerinin değeri bu yüklerin uygulanan ac sinyalini takip etme yeteneklerine bağlıdır. Bu nedenle, elektrik ve dielektrik özelliklerde güvenilir ve doğru sonuçlar almak için geniş frekans ve voltaj aralığında empedans ölçümleri yapılması gerekir.

Al/(Gr-PVA)/p-Si diyot için ac elektriksel iletkenlik (σ) değeri deneysel iletkenlik veya ϵ'' verisinden Eş. 4.7 ile bulunur.

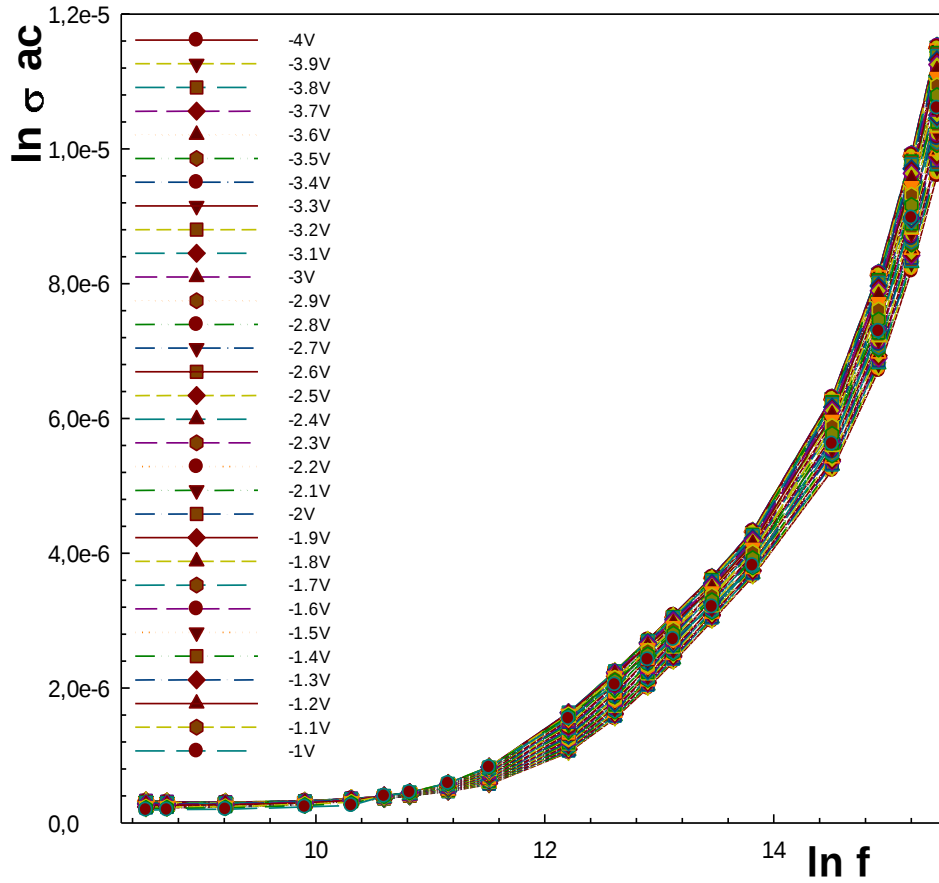
$$\sigma_{ac} = \left(\frac{d}{A} \right) \omega C \tan \delta = \varepsilon'' \omega \varepsilon_0 \quad (4.7)$$

Şekil 4.16'da 5 kHz - 5 MHz arasında çizilen (σ -V) eğrileri Şekil 4.11'de verilen (ε'' -V) eğrilerine benzerdir ve güçlü terslenim bölgesinde, N_{ss} ve R_s etkisi çok düşük olduğu için ihmal edilebilir çünkü bu değerler neredeyse sabit hale gelir. Diğer bir taraftan Şekil 4.17'de görülebileceği üzere düşük frekanslarda σ değeri neredeyse sabit ve frekanstan bağımsızdır ancak bu grafiğin sırasıyla dc ve ac iletkenliğe (σ_{dc} ve σ_{ac}) karşılık gelen orta ve yüksek frekans değerlerinde eksponansiyel olarak artmaya başlar. Orta ve yüksek frekanslarda artan σ_{ac} değerleri, yüksek frekanslarda belirgin olmayan dielektrik kayıpların (ε'') sonucudur. Artan girdap akımları nedeni ile dolaylı olarak enerji kaybını artırır ve elektriksel iletkenlik arttıkça dielektrik tanjant kayıp değeri ($\tan\delta$) de artar.

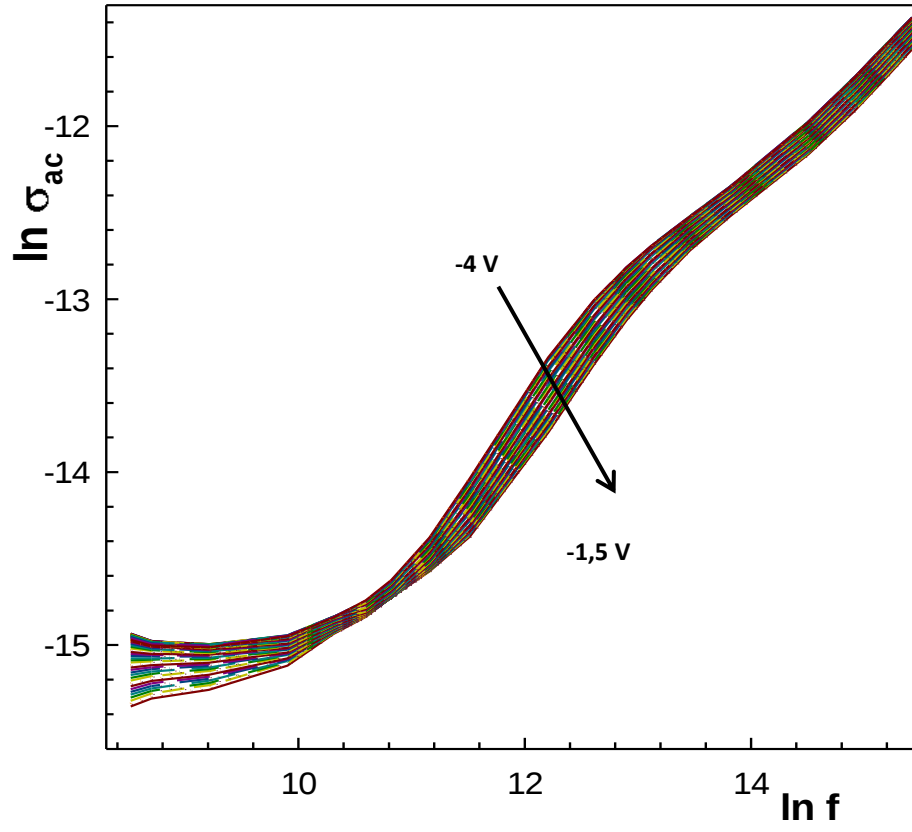
Al/(Gr-PVA)/p-Si yapı için $\ln(\sigma_{ac})$ - $\ln(f)$ grafikleri yığılım ve terslenim-tüketim bölgeleri için de çizilmiş ve Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ölçülen bütün voltaj değerlerinde σ_{ac} değerinin artan frekans ile arttığı gözlenir. Ayrıca bu eğriler düşük (I), orta (II) ve yüksek (III) olmak üzere üç farklı lineer bölgeye sahiptir. Uygulanan her orta-yüksek öngerilim voltajı için Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'daki eğriler neredeyse aynı eğimlere sahiptirler. Bu yüzden, Al/(Gr-PVA)/p-Si yapı için $\ln(\sigma_{ac})$ - $\ln(f)$ grafiği yığılım bölgesindeki (-4V) değeri için ayrıca çizilmiştir ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Şekil 4.20'de görülebileceği üzere lineer bölge olan I, II ve III bölgelerinin eğimi sırasıyla 0,357, 0,853 ve 0,585 bulunmuştur. Bu sonuçlar Al/(0.05Gr-PVA)/p-Si (MPS) yapının iletkenlik davranışı veya iletkenlik mekanizmaları bölgeden bölgeye değişmektedir ve bu bölgeler istenmeyen arayüzey durumlarının yoğunluk dağılımına, gevşeme sürelerine, polarizasyona ve hazırlanan yapının seri direncine bağlıdır.



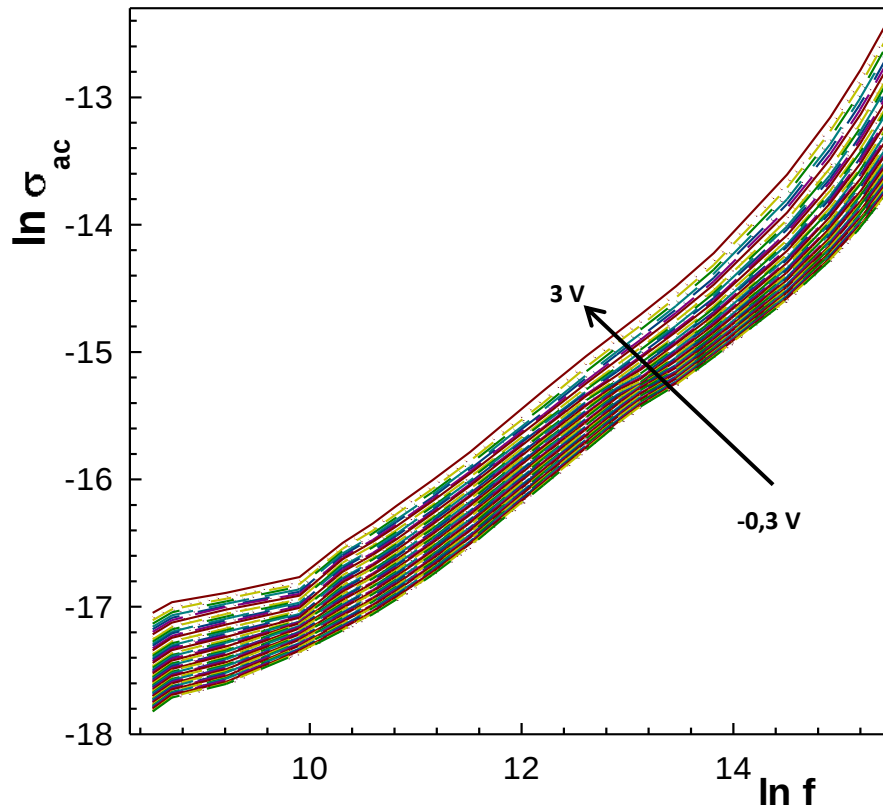
Şekil 4.16. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun çeşitli frekanslardaki σ_{ac} -V grafiği



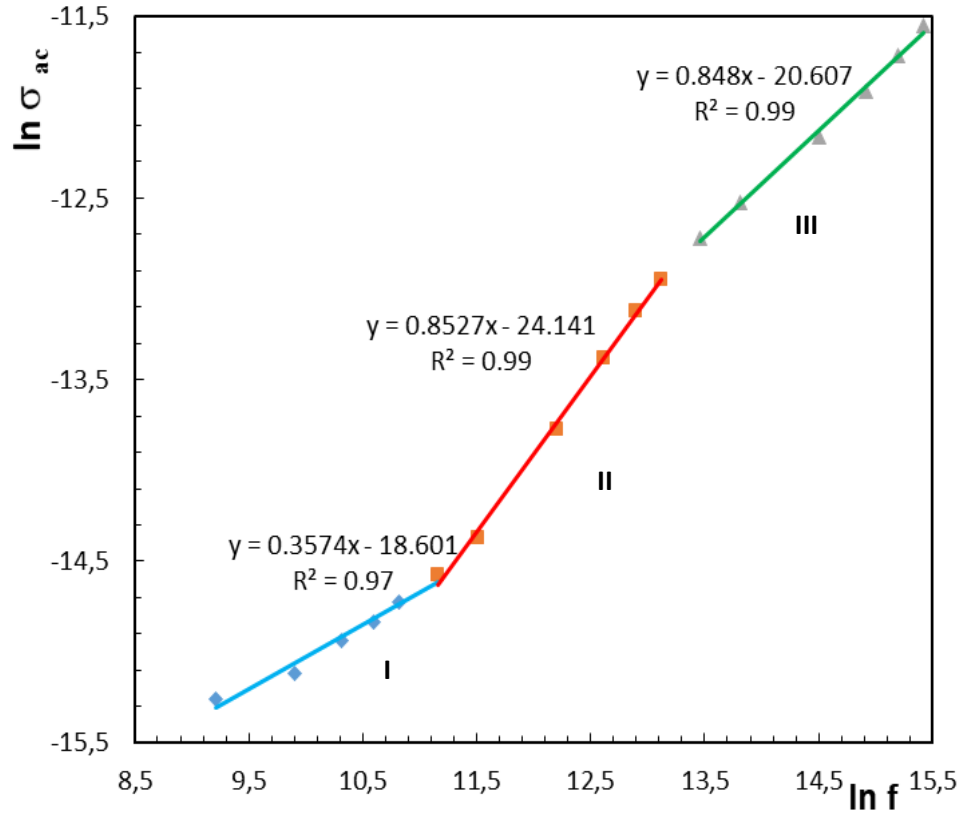
Şekil 4.17. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun σ_{ac} - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.18. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun yığılım bölgesindeki σ_{ac} - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.19. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun terslenim-tüketim bölgesindeki σ_{ac} - $\ln f$ grafiği



Şekil 4.20. Al/(0.05 Gr-PVA)/p-Si diyotun (-4V) değerindeki $\ln \sigma_{ac}$ - $\ln f$ grafiği

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Al/p-Si (MS) tipi Schottky diyotu ve metal (Al) ile yarıiletken (p-Si) arasına yüksek dielektrik özelliğine sahip, polimer bir malzeme büyütülerek Al/(grafen katkılı-PVA)/p-Si/Al (MPS) Schottky diyotu oluşturulmuştur. Hazırlanan katkısız, Al/p-Si (MS) yapı referans olarak alınmıştır ve hazırlanan Al/(grafen katkılı-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapıya sırasıyla %1, 3 ve 5 grafen katkılanmıştır. Her bir yapının kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω -V) grafikleri çizilmiş ve performans özellikleri referans olarak alınan Al/p-Si diyot ile karşılaştırılmıştır. En yüksek performansın %5 grafen katkılı PVA'da sağlandığı gözlenmiştir. Bu yüzden %5 grafen katkılanmış PVA ile tez çalışmalarına devam edilmiştir.

MS yapılarda, metal ile yarı iletken arasına yüksek dielektriğe sahip, ince bir arayüzey tabakanın oluşturulması bu yapıların elektrik ve dielektrik özelliklerinin kalitesi ve performansını kuvvetli bir şekilde etkilemektedir. Bu tez çalışması ile, Al ile p-Si arasına geleneksel Silisyumdioksit (SiO_2) arayüzey tabakası yerine SiO_2 'den daha yüksek dielektrik sabitine sahip (0.05 grafen katkılı-PVA) büyütülerek kullanılması amaçlanmıştır. Bu durumun sebebi, polivinilalkolün (PVA) bazı diğer polimer yapıları malzemeler ile kıyaslağında, yarıkristal yapıya sahip olması, suda çözünebilir olması ve yapısında bulunan hidroksil (OH^-) gruplarındaki hidrojen (H) bağlarıdır. PVA'nın hidroliz ve polimerleşme derecesi su içerisindeki çözünürlüğünde çok büyük rol oynamaktadır. Saf organik malzemelerde veya polimer yapılarda karşılaşılan temel problem zayıf iletken olmalarıdır ve zayıf olan iletkenlik değerleri grafen veya doping metalleri ile artırılabilir. Diğer bir yandan, Grafen, yüksek spesifik yüzey alanı, elektrik iletkenliğinin çok iyi olması ve üstün mekanik stabilite özelliklerine sahiptir. Busebeple bu tez çalışmasında, polivinilalkolün normalde zayıf olan iletkenliği grafen katkısı ile artırılmış olup yarıiletken olarak ucuz ve kararlı yarıiletkenlerden biri olan Silikon, Bor (B) katkılanmış p-Si yapılar halinde kullanılmıştır. Alüminyum intermetalik bileşik oluşturmadığı için, ohmik kontakların oluşumunda ve Schottky diyot oluşturmak için kullanılmıştır. (0.05Gr-PVA) polimer arayüzey tabakası, molekül başına hafif ağırlık, yüksek dielektrik dayanımı, yüksek enerji depolama kapasitesi, elastikliği ve yüksek bir yüzey alanına sahip olması gibi özellikleri sebebiyle elektro-eğirme yöntemi ile p-Si yaprağın ön yüzeyine büyütülmüştür. Hazırlanan Al/(0.05 grafen katkılı-PVA)/p-Si/Al diyotun C-V ve G/ω -V ölçümleri 5kHz – 5 MHz frekans aralığında ve oda sıcaklığında alınmıştır. Ölçümler geniş bir frekans ve voltaj

aralığında alınmasının sebebi; tek veya dar bir frekans ve voltaj aralığında ölçülen elektriksel ölçümler elektrik ve dielektrik parametreler hakkında detaylı bilgiye ulaşılamaması ve bu dar aralıkta yapıların incelenmesinin daha karmaşık ve zor olmasıdır. Deneysel olarak alınan C-V ve G/ω -V ölçümlerinin sonuçları kullanılarak MPS yapının temel elektrik özellikleri diffüzyon potansiyeli (V_D), alıcı (acceptor) katkı atomların yoğunluğu (N_A), Fermi enerji seviyesi (E_F), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) değerleri doğru ve ters öngerilim C-V ve G/ω -V ölçümlerinden hesaplanmıştır ve dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ''), kayıp tanjant ($\tan\delta$), elektrik modülüsün reel ve sanal kısımları (M' ve M'') ve ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}) gibi dielektrik karakteristikleri hesaplanmış olup, frekansa ve voltaja bağlı grafikleri çizilmiştir.

Dielektrik özelliklerin incelenmesi için çizilen grafikler incelendiğinde, dielektrik karakteristiklerin frekans ve voltaja kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu açıkça görülmektedir. ϵ' -V ve ϵ'' -V grafiklerinin her frekans için, terslenim, tüketim ve yığılım bölgelerinin mevcut olduğu gözlenmiş olup, ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ karakteristiklerinin düşük-orta frekanstaki değişimleri uzay yükü polarizasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Yüksek frekansta ise bu katkılar çok düşük olduğu için ihmal edildi. Dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp değerlerinin terslenim-tüketim bölgelerindeki artan frekans ile azalması, istenmeyen arayüzey durumlarına (N_{ss}) ve diol polarizasyona atfedilmiştir. Yığılım bölgesindeki frekansa bağlı değişim $Al/(0.05 \text{ Gr-PVA})/p\text{-Si}$ yapıdaki seri dirence (R_s) atfedilmiştir.

$\ln\sigma_{ac}-\ln f$ grafiği güçlü yığılım bölgesi (-4V) için ayrıca çizilmiştir ve düşük (I), orta (II) ve yüksek (III) frekans bölgesi olmak üzere üç farklı lineer bölge varlığı gözlenmiştir. Bu üç bölgenin eğimleri 0,357, 0,853 ve 0,585 bulunmuştur. Hazırlanan $Al/(\text{grafen katkılı-PVA})/p\text{-Si}/Al$ (MPS) Schottky diyotu için bu üç bölgenin iletim mekanizmalarında bölgeden bölgeye değişiklik gözlemlenmiştir. Üç lineer bölge de N_{ss} 'nin yoğunluk dağılımına, gevşeme sürelerine, polarizasyona ve hazırlanan yapının seri direncine bağlıdır. İletkenliğin frekans bağımlılığının temel sebebi ise hareketli elektronik yük taşıyıcıları nedeniyle ortaya çıkan durulma durumudur. Alüminyum metali ile Silisyum arasında yüksek dielektrikli, ince bir (0.05 grafen katkılı-PVA) arayüzey tabakanın oluşturulması MS yapıların iletim mekanizmaları, elektrik ve dielektrik özelliklerinin kalitesini ve performansını güçlü bir şekilde etkilemektedir. (grafen katkılı-PVA)/p-Si/Al (MPS) yapının dielektrik sabitinin (ϵ') 5 kHz'deki değeri 32,586 iken 5 MHz'de 1,132 olarak bulunmuştur. (0.05 grafen katkılı-

PVA) arayüzeyi için dielektrik sabitinin değeri ($\epsilon' = 32,586$) ele alındığında 5 kHz'de bile geleneksel olarak kullanılan SiO_2 'nin dielektrik sabitinden 8,6 kat daha fazladır. Bu sonuçlar doğrultusunda, (0.05 grafen katkılı-PVA)polimer arayüzeyi büyütülerek SiO_2 ve SnO_2 gibi düşük dielektrikli arayüzey tabakaları yerine kolaylıkla kullanılabilir. Bir başka ifade ile, MS yapı arasında yüksek dielektrik sabitine sahip, ince arayüzey tabakalı malzemelerin kullanılması MIS, MOS ve MPS tipi diyotların sığasının ve performansının arttırdığının kanıtıdır ve bu tip yapılara süper/ultrakapasitör etkisi kazandırır.

Elektronik cihaz/aygıt teknolojisindeki gelişmeler, temel elektronik devre elemanı olarak kullanılan diyot teknolojisini de etkilemektedir. Bu teknolojik gelişmenin etkisi, günümüzde hala popüler bir konu olan metal yarıiletken (MS) yapılarda veya Schottky diyotlarında (SBD) da gösterilmiştir. Elektronik teknolojisinde daha kaliteli diyotlar üretmek için kullanılan MPS yapıların oluşturulabilmesi için aşağıdaki durumlara dikkat edilmelidir:

- Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan, polimer veya organik arayüzey tabakası büyütülerek oluşturulan yapıların, elektriksel ve dielektriksel karakteristiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için geniş frekans ve voltaj aralığında incelenmesi son derece önemlidir.
- Hazırlanan MS, MIS, MPS veya MOS tipi yapılarda meydana gelen istenmeyen arayüzey durumlarını minimuma indirmek için yapıların fabrikasyon aşamasındaki adımların özenli bir şekilde, temiz ve steril bir laboratuvar ortamında yapılması gerekir.
- Bu tip yapılarda seri direnç ne kadar düşük olur ise performans o kadar yüksek olur. Düşük seri direncin sağlanması için bu yapıların kontakları dikkatli bir şekilde alınmalıdır ve M/S arasına büyütülen arayüzey tabakasının ince olmasına ve homojen yapıda olmasına özen gösterilmelidir.
- Hazırlanan yapılarda katkılı bir arayüzey tabakası büyütülecekse, katkı oranı performansı etkileyeceğinden, yeteri kadar çalışma yapılarak uygun bir katkı oranı belirlenerek çalışmalar yapılmalıdır.
- Hazırlanan yapıların arayüzey tabakasız MS tipi yapıları oluşturularak performansları karşılaştırılmalıdır.
- Yüksek dielektrikli, homojen bir arayüzey tabaka büyütülmesi performansı olumlu yönde etkileyeceği için yüksek dielektrikli arayüzey malzemeleri araştırılıp yapılar oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

1. Tecimer, H.U., Alper, M.A., Tecimer, H., and Altındal, S. (2018). Integration of Zn-doped organic polymer nanocomposites between metal semiconductor structure to reveal the electrical qualifications of the diodes, *Polymer Bulletin*, 75, 4257-4271.
2. Tan, S. O. (2017). Comparison of graphene and zinc dopant materials for organic polymer interfacial layer between metal semiconductor structure, *IEEE Transactions Electron Devices*, 64, 5121-5127.
3. Çiçek, O., Tan, S.O., Tecimer, H., and Altındal, S. (2018). Role of Graphene-Doped Organic/Polymer Nanocomposites on the Electronic Properties of Schottky Junction Structures for Photocell Applications, *Journal of Electronic Materials*, 47, 7134-7142.
4. Ersöz, G., Yücedağ, İ., Azizian-Kalandaragh, Y., Orak, İ., and Altındal,Ş. (2016). Investigation of Electrical Characteristics in Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) Structures Using Impedance Spectroscopy Method, *IEEE Transactions Electron Devices*, 63, 2948-2955.
5. Pratap-Reddy, M.S., Jung-Hee, L., and Ja-Soon, J. (2013). Frequency dependent series resistance and interface states in Au/bio-organic/n-GaN Schottky structures based on DNA biopolymer, *Synthetic Metals*, 185-186, 167-171.
6. Boughdachi1, S., Azizian-Kalandaragh, Y., Badali, Y., and Altındal,Ş. (2017). Facile ultrasound-assisted and microwave-assisted methods for preparation of Bi₂S₃-PVA nanostructures: exploring their pertinent structural and optical properties and comparative studies on the electrical, properties of Au/(Bi₂S₃-PVA)/n-Si Schottky structure, *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 28, 17948–17960.
7. Altındal-Yerişkin, S., Balbaş, M., and Orak, İ. (2017). The effects of (graphene doped-PVA) interlayer on the determinative electrical parameters of the Au/n-Si (MS) structures at room temperature *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 28, 14040–14048.
8. Reddy, C.V.S., Han, X., Zhu, Q.Y., Mai, and M.L.Q., Chen,W. (2006). Dielectric spectroscopy studies on (PVP+ PVA) polyblend film, *Microelectronic Engineering*, 83, 281-285.
9. Buyukbas-Uluslan, A., Altındal-Yerişkin, S., and Tataroğlu, A. (2018). Forward and reverse bias current-voltage (I-V) characteristics in the metal-ferroelectric-semiconductor (Au/(SrTiO₃)/n-Si) structures at room temperature, *Microelectronic Eng*, 29, 16740–16746.
10. Ho J., Jow T.C., and Boggs S. (2010). Historical Introduction to Capacitor Technology, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 26 (1), 19-25.
11. Chelkowski, A. (1980). *Dielectric Physics*, Amsterdam: Elsevier, 1-396.
12. Macedo, P. B., Moynihan, C. T., and Bose, R. (1972). Role of ionic diffusion in vitreous ionic conductor, *Physics and Chemistry Glasses*, 13(1), 171-179.

13. Nicollian, E.H., and Brews, J.R. (1982). *Metal oxide semiconductor (MOS) physics and technology*, New York, John Wiley & Sons, 1-928.
14. Sze, S. M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Edition, Willey, New York, 49-55.
15. Card, H.C., and Rhoderick, E.H. (1971). Studies of tunnel MOS diodes II. Thermal equilibrium considerations, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4, 1589.
16. Li, H., Wei, J., Ojan, Y., Zhang, J., Yu, J., and Wang, G.(2014). Effects of the graphene content and the treatment temperature on the supercapacitive properties of VOx/graphene nanocomposites, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 449, 148-156.
17. Çetinkaya, H. G., Alialy, S., and Altındal, Ş. (2015). Investigation of negative dielectric constant in Au/1 % graphene (GP) doped-Ca_{1.9}Pr_{0.1}Co₄O_x/n-Si structures at forward biases using impedance spectroscopy analysis, *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 26, 3186-95.
18. Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., and Firsov, A.A. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science*, 306, 666-669.
19. Kaya, A., Marıl, E., Altındal, Ş., and Uslu, İ. (2016). The comparative electrical characteristics of Au/n-Si (MS) diodes with and without a 2% graphene cobalt-doped Ca₃Co₄Ga_{0.001}O_x interfacial layer at room temperature, *Microelectronic Engineering*, 149, 166-171.
20. Wang, D., Zhang, X., Zha, J.W., Zhao, J., Dang, Z.M., and Hu, G.H. (2013). Dielectric properties of reduced graphene oxide/polypropylene composites with ultralow percolation threshold, *Polymer*, 54, 1916-1922.
21. Sharma, B.L. (1984). *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*, New York: Plenum Press, 1-7.
22. Rhoderick, E.H., and Williams, R.H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts*, 2nd Edition, Oxford: Clarendon Press, 56-57.
23. Kao, K.C.(2004). *Dielectric Phenomena in Solids*, 1st Edition, Academic Press, Elsevier, Waltham, 1-579.
24. Qin, X.H., and Wang, S.Y. (2006). Filtration properties of electrospinning nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 102 (2), 1285–1290.
25. Pan, H., Li, L., Hu, L., and Cui, X. (2006). Continuous aligned polymer fibers produced by a modified electrospinning method, *Polymer*, 47, 4901–4904.
26. Bosworth, L.A., and Downes, S. (2011). *Electrospinning for Tissue Regeneration*, Woodhead Publishing, United Kingdom, 5-7.

27. Lee, J.S., Choi, K.H., Ghim, H.D., Kim, S.S., Chun, D.H., Kim, H.Y., and Lyoo, W.S. (2004). Role of molecular weight of atactic poly(vinyl alcohol) (PVA) in the structure and properties of PVA nanofabric prepared by electrospinning, *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 1638-1646.
28. Ramakrishna, S., Fujjihar, K., Teo, W.E., Lim, T.C., and Ma, Z. (2005). *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*; Singapore: World Scientific, 1-48.
29. Wu, C.M., Chiou, H.G., Lin, S.L., and Lin, J.M. (2012). Effects of electrostatic polarity and the types of electrical charging on electrospinning behavior, *Journal of Applied Polymer Science*, 126, E89-E97.
30. Demirezen, S., Sönmez, Z., Aydemir, U., and Altındal, Ş. (2012). Effect of series resistance and interface states on the I–V, C–V and G/ω–V characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature, *Current Applied Physics*, 12 (1), 266-272.
31. Kaya, A., Vural, Ö., Tecimer, H., Demirezen, S., and Altındal, Ş. (2014). Frequency and voltage dependence of dielectric properties and electric modulus in Au/PVC+ TCNQ/p-Si structure at room temperature, *Current Applied Physics*, 14 (1), 322-330.
32. Dökme, İ., Tunç, T., Uslu, and İ., Ş. (2011). The Au/polyvinyl alcohol (Co, Zn-doped)/n-type silicon Schottky barrier devices, *Synthetic Metals*, 161 (5-6), 474-480.
33. Shuyin, S., Guilling, S., Xiangyu, C., Linna, Z., and Fanggao, C. (2014). AC and DC behavior of finger-sensing metal/polymer composites at various pressures, *Composites Science and Technology*, 97, 115-120.
34. Barış B. (2013)., Frequency dependent dielectric properties in Schottky diodes based on rubrene organic semiconductor, *Physica E*, 54 (1), 171-176.
35. Wang, D., Zhang, X., Zha, Z.W., Zhao, J., Dang, Z.M., and Hu, G.H. (2013). Dielectric properties of reduced graphene oxide/polypropylene composites with ultralow percolation threshold, *Polymer*, 54, 1916-1922.
36. Wang, Z., Zhou, W., Dong, L., Sui, X., Cai, H., Zuo, and J., Chen, Q. (2016). Dielectric spectroscopy characterization of relaxation process in Ni/epoxy composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 682, 738-745.
37. Maxwell, J.C. (2010). *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Cambridge Library Collection-Physical Sciences, Cambridge University Press, 108-365.
38. Wagner, K.W. (1913). *Zur theorie der unvollkommenen dielektrika*, *Annalen Der Physik*. Leipzig, 40, 817-855.
39. Kaya, A., Aliyaly, S., Demirezen, S., Balbaş, M., Altındal-Yerişkin, S., and Aytimur, A. (2016). The investigation of the electric properties and ac conductivity of Au/GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitors using impedance spectroscopy method, *Ceramics International*, 42, 3322-3329.

40. Sattar, A.A., and Rahman, S.A. (2003). Dielectric properties of rare earth substituted Cu-Zn ferrites, *Physica Status Solidi*, 200, 415.
41. Yadav A.K., and Gautam C. (2014). Dielectric behavior of perovskite glass ceramics, *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 25(2), 5165-5187.
42. Dutta, P., Biswas, S., and De, S.K. (2002). Dielectric relaxation in polyaniline-polyvinyl alcohol composites, *Materials Research Bulletin*, 37, 193-200.
43. Altındal-Yerişkin, S., Sarı, B., and Ünal, H.I. (2011). Electrical and dielectric characteristics of Al/polyindole Schottky barrier diodes. II. Frequency dependence, *Journal of Applied Polymer Science*, 120, 390-396.
44. Marten, F.L. (2000). *Vinly Alcohol Polymers*, New York, USA: John Wiley & Sons, 85-99.
45. Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S.I., and Seal, S. (2012). Graphene based materials: Past, present and future, *Progress in Materials Science*, 56, 1178–1271.
46. Novoselov, K.S., Jiang, D., Schedin, F., Booth, T.J., Khotkevich, V.V., Morozov, S.V., and A. K. Geim (2005). Two dimensional Atomic Crystals, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 10451.
47. Ho, J., Jow, and T.C., Boggs, S. (2010). Historical Introduction to Capacitor Technology, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 26 (1), 19-25.
48. Büyükbaş, A., Tataroğlu, A., and Balbaşı, M. (2015). Dielectric, conductivity and modulus analysis of AuGe/SiO₂/p-Si/AuGe capacitor, *Journal of Optoelectronics. Advances. Materials.*, 17(1), 1134-1138.
49. Lin, J.H., Zeng, J.J., and Lin, Y.J. (2014) Electronic transport for graphene/n-type Si Schottky diodes with and without H₂O₂ treatment, *Thin Solid Films*, 550 (1) 582-586.
50. Chandrakala, N., Ramaraj, B., Shivakumaraiah, Madhu, and G.M., Siddaramaiah (2012). The influence of zinc oxide–cerium oxide nanoparticles on the structural characteristics and electrical properties of polyvinyl alcohol films, *Journal of Material Sciences*, 47(2), 8076-8084.
51. Bisquert, J., Garcia-Belmonte, G., Pitarch, A., and Bolink, H.J. (2006). Negative capacitance caused by electron injection through interfacial states in organic light-emitting diodes, *Physics, Letters*, 422(1)184-191.
52. Badali, Y., Koçyiğit, S., Altındal, Ş., and Uslu, I. (2019). Dielectric properties of Ag/Ru_{0.03}-PVA/n-Si structures, *Bulletin of Materials Science*, 42, 1-6.
53. Nikravan, A., Badali, Y., Altındal, Ş., Uslu, and Orak, I. (2017). On the frequency and voltage-dependent profiles of the surface states and series resistance of Au/ZnO/n-Si structures in a wide range of frequency and voltage, *Journal of Electronic Materials*, 46, 5728-5736.

54. Şafak-Asar, Y., Asar, T., Altındal, Ş., and Özçelik, S. (2015). Investigation of dielectric relaxation and ac electrical conductivity using impedance spectroscopy method in (AuZn)/TiO₂/p-GaAs(1 1 0) schottky barrier diodes, *Journal of Alloys and Compounds*, 628, 442–449.
55. Orak, I., Kocyigit, A., and Altındal, Ş. (2017). Electrical and dielectric characterization of Au/ZnO/n-Si device depending frequency and voltage, *Chinese Physics B*, 26, 28102-28113.
56. Tanrikulu, E.E., Yildiz, D.E., Günen, A., and Altındal, Ş. (2015). Frequency and voltage dependence of electric and dielectric properties of Au/TiO₂/n-4H-SiC (metal-insulator-semiconductor) type Schottky barrier diodes, *Physica Scripta.*, 90, 95801-95812.
57. Taşcıoğlu, I., Özmen, T., Şağban, H.M., Yağlıoğlu, E., and Altındal, Ş. (2017). Frequency Dependent Electrical and Dielectric Properties of Au/P3HT:PCBM:F4-TCNQ/n-Si Schottky Barrier Diode, *Journal of Electronic Materials*, 46, 2379–2386.
58. Lapa, H.E., Kökce, A., Özdemir, A.F., Uslu, İ., and Altındal, Ş. (2018). A comparative study on dielectric behaviours of Au/(Zn-doped PVA)/n-4H-SiC (MPS) structures with different interlayer thicknesses using impedance spectroscopy methods, *Bulletin of Materials Science*, 41, 82.
59. Çetinkaya, H.G., Yıldırım, M., Durmuş, P., and Altındal, Ş. (2017). Diode-to-diode variation in dielectric parameters of identically prepared metal-ferroelectric-semiconductor structures, *Journal of Alloys and Compounds*, 728, 896–901.
60. Aslam, M., Kalyar, M.A., and Raza, Z.A. (2018). Polyvinyl Alcohol: A Review of Research Status and Use of Polyvinyl Alcohol Based Nanocomposites, *Polymer Engineering and Science*, 58, 2119-2124, doi:10.1002/pen.24855.
61. Koosha, M., and Mirzadeh, H. (2013). Electrospinning, mechanical properties, and cell behavior study of chitosan/PVA nanofibers, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 103A, 3081–3093.
62. Bhajantri, R.F., Ravindrachary, V., Harisha, A., Ranganathaiah, C., and Kumaraswamy, G.N. (2007). Effect of barium chloride doping on PVA microstructure: positron annihilation study, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 87, 797.
63. Bedeloğlu, A., ve Taş, M. (2016). Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 544-554.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı :Karadaş, Seda
 Uyruğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :14.11.1993, Ankara
 Medeni hali :Bekar
 Telefon :0 (536) 890 89 92
 e-mail :sedakaradass93@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği	2016
Lise	Tınaztepe Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	VESTEL Savunma Sanayii	Kalite Mühendisi
2017-2019	Aryasis Makina Savunma ve Havacılık A.Ş.	Kalite Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Karadaş, S., ve Balbaş, M., (2019). *On the frequency-voltage dependece profile of complex dielectric, complex electric modulus and electrical conductivity in Al/(0.05Gr-PVA)/p-Si structures at room temperature*, Sixth International Conference on Material Science and Nanotechnology for Next Generation, 153-155, Niğde.

Hobiler

Resim, tiyatro, salsa, pilates, yoga.



GAZİ GELECEKTİR..