



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

**METAL-POLİMER-YARIİLETKEN (MPY) YAPILARIN
HAZIRLANMASI, ELEKTRİKSEL VE DİELEKTRİK
ÖZELLİKLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLI
İNCELENMESİ**

GÜLÇİN ERSÖZ DEMİR

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM YÜCEDAĞ**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL-POLİMER-YARIİLETKEN (MPY) YAPILARIN
HAZIRLANMASI, ELEKTRİKSEL VE DİELEKTRİK
ÖZELLİKLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLI
İNCELENMESİ

Gülçin ERSÖZ DEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mert YILDIRIM

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Sadullah ÖZTÜRK

Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 31/12/2018

BEYAN

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

31 Aralık 2018

Gülçin ERSÖZ DEMİR

TEŞEKKÜR

Yaşadığımız sürece hepimizin hayatına dokunan birileri olmuştur. Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimim süresince her zaman destekleri, yardımları ve akademik bilgisi ile yanımda olan, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ'a en içten dileklerle teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Tez çalışmamı yaparken Gazi Üniversitesinde laboratuvarın bütün imkânlarını sunan, tecrübesi ve akademik bilgisi ile yol göstericilik yapan çok kıymetli hocam Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca katkıları ile tezimin zenginleşmesini sağlayan Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN'e ve Doç. Dr. Mert YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Hayatlarının her aşamasında kendilerinden çok beni düşünen, benim için yaptıkları fedakârlıklar ile haklarını ödeyemeceğim babam ERTAN ERSÖZ, annem ÜMMÜ GÜLSÜM ERSÖZ ve kardeşim TUĞÇE ERSÖZ'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Manevi destekleri ve zor durumda dostluğunu gösteren mesai arkadaşlarım Fatih ARIKAN ve Şükran ÜNEŞ'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince sevindiğim ve sıkıntılı olduğum anlarda yanımda olan, beni her türlü zor durumda dahi motive eden ve yüzümü güldüren kıymetli eşim Ahmet DEMİR'e şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP- 2017.07.02.567 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

31 Aralık 2018

Gülçin ERSÖZ DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
EXTENDED ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KAVRAMLAR	4
2.1. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR.....	4
2.1.1. Metal-Yarıiletken İletiminde Schottky-Mott Teorisi.....	6
2.2. METAL-POLİMER-YARIİLETKEN YAPILAR	8
2.2.1. Metal Polimer Yarıiletken Yapıya Gerilim Uygulanması	10
2.2.1.1. Yığılım	10
2.2.1.2. Tükenim	11
2.2.1.3. Terslenim.....	11
2.3. İDEAL METAL-POLİMER/YALITKAN-YARIİLETKEN YAPILARIN ELEKTRİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ	13
2.3.1. Metal-Polimer/Yalıtkan-Yarıiletken Yapılarda İdeal Durumdan Sapmalar	13
2.3.1.1. Hareketli İyonik Yükler	13
2.3.1.2. Tuzak Yükleri	14
2.3.1.3. Oksit Yükleri.....	14
2.3.1.4. Arayüzey Durumları.....	14
2.3.2. Statik Elektrik Alanın Dielektrik Malzemeler Üzerine Etkisi.....	18
2.3.3. Dielektriksiz Paralel Plakalı Kondansatör	19
2.3.4. Dielektrikli Paralel Plakalı Kondansatör.....	20
2.3.5. Dielektrik Polarizasyon	21
2.3.5.1. Elektronik Polarizasyon.....	22
2.3.5.2. İyonik Polarizasyon	22
2.3.5.3. Yönelimli Polarizasyon	23
2.3.5.4. Arayüzey-Uzay-Yük Polarizasyonu.....	23
2.3.6. Dielektriklerde Elektrik Alan ve Dielektrik Kayıp.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. POLİVİNİL ALKOL POLİMERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	26

3.2. KADMIYUM SÜLFÜR KRİSTALLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	27
3.3. BİLYALI ÖĞÜTME (BALL-MILLING) METODU.....	29
3.3.1. Malzeme Seçimi	29
3.3.2. Öğütücü Tipleri	30
3.3.3. Bilyalı Öğütme Üretimi Etkileyen Parametreler	31
3.4. SOL-JEL METODU	31
3.5. Al/(CdS-PVA)/p-Si YAPILARININ ÜRETİM SÜRECİ.....	33
3.6. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLER	39
4.2. ODA SICAKLIĞINDA C-V, G/ω-V VE I-V ÖLÇÜMLERİ.....	41
4.2.1. Kapasitans ve İletkenlik Özellikleri	41
4.2.2. Elektriksel Özellikler	43
4.2.3. Akım-Gerilim Özellikleri.....	51
4.2.4. Dielektrik Özellikler.....	51
4.2.4.1. Voltaja Bağlı Dielektrik Özellikler	55
4.2.4.2. Frekansa Bağlı Dielektrik Özellikler	59
4.3. FARKLI SICAKLIKLARDA C-V VE G/ω-V ÖLÇÜMLERİ.....	63
4.3.1. Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Özellikler.....	63
4.3.2. Sıcaklığa Bağlı Dielektrik Özellikler	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
5.1. SONUÇLAR.....	73
5.2. ÖNERİLER.....	76
6. KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. $\Phi_M < \Phi_S$ için metal/p-tipi yarıiletken kontakın a) kontak öncesi b) Kontak sonrası enerji bant diyagramları.	6
Şekil 2.2. Metal-polimer-yarıiletken yapıların şematik gösterimi.	8
Şekil 2.3. a) p-tipi b) n-tipi yarıiletkenler için $V = 0$ 'da ideal bir MPY/MYY yapısının enerji-bant diyagramı.	9
Şekil 2.4. $V \neq 0$ durumunda ideal MPY/MYY yapının yığılım tükenim ve terslenim için çizilen enerji-bant şeması.	12
Şekil 2.5. MPY/MYY yapıları için eşdeğer devre a) Tek enerji seviyesi b) Birden fazla enerji seviyeleri.	15
Şekil 2.6. MPY/MYY yapılarda arayüzey durumların a) seri dirençli b) seri dirençsiz eşdeğer devreleri.	16
Şekil 2.7. Elektrik alan etkisinde varken ve yokken dielektrik malzemedeki molekül dağılımlarının şematik gösterimi.	19
Şekil 2.8. Dielektriksiz paralel plakalı kondansatör.	19
Şekil 2.9. Dielektrikli paralel plakalı kondansatör.	20
Şekil 2.10. Dielektrik polarizasyon mekanizmaları.	22
Şekil 3.1. Vinil alkolün kimyasal yapısı.	26
Şekil 3.2. Polivinil alkolün kimyasal yapısı.	26
Şekil 3.3. CdS birim hücresi için a) Wurtzit b) Kübik c) Kaya tuzu formları.	28
Şekil 3.4. Uydu tip öğütücünün çalışma prensibi.	30
Şekil 3.5. Sol-jel kaplama metodu aşamaları.	32
Şekil 3.6. a) Omik kontak maskesi b) Doğrultucu kontak maskesi.	34
Şekil 3.7. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların şematik gösterimi.	35
Şekil 3.8. HP 4192A LF empedans analizörü ölçüm sistemi.	36
Şekil 3.9. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı ölçüm sistemi.	37
Şekil 3.10. Sıcaklığa bağlı deneysel C-V ölçüm sisteminin şematik görünümü.	38
Şekil 4.1. CdS nanoparçacıklarının XRD karakteristiği.	39
Şekil 4.2. CdS-PVA nanoparçacıklarının UV-spektrumu.	40
Şekil 4.3. CdS nanoparçacıklarının SEM görüntüsü.	41
Şekil 4.4. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için a) C-V b) G/ω -V grafikleri.	42
Şekil 4.5. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için a) R_s -V b) R_s - $\ln(f)$ karakteristikleri.	43
Şekil 4.6. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için D_{it} -V enerji dağılım grafiği.	45
Şekil 4.7. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) C_c -V b) G_c/ω -V grafikleri.	46
Şekil 4.8. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için N_{ss} - $\ln(f)$ karakteristiği.	47
Şekil 4.9. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının C^{-2} -V grafiği.	49
Şekil 4.10. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Φ_B - $\ln(f)$ grafiği.	50
Şekil 4.11. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için I-V grafiği.	52
Şekil 4.12. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için $\ln(I)$ -V grafiği.	53
Şekil 4.13. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_i -V grafiği.	54
Şekil 4.14. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ' -V grafiği.	56

Şekil 4.15. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ'' -V grafiği.	56
Şekil 4.16. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için $\tan\delta$ -V grafiği.....	57
Şekil 4.17. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M' -V grafiği.	58
Şekil 4.18. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M'' -V grafiği.	59
Şekil 4.19. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ' -ln(f) grafiği.....	59
Şekil 4.20. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ'' -ln(f) grafiği.	61
Şekil 4.21. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için $\tan\delta$ -ln(f) grafiği.	61
Şekil 4.22. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M' -ln(f) grafiği.....	62
Şekil 4.23. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M'' -ln(f) grafiği.	62
Şekil 4.24. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) C-V-T b) G/ω -V-T grafikleri.....	64
Şekil 4.25. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_s -V-T grafiği.....	65
Şekil 4.26. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) ϵ' -V-T b) ϵ'' -V-T c) $\tan\delta$ -V-T eğrileri...	67
Şekil 4.27. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için σ_{ac} -V-T grafiği.....	68
Şekil 4.28. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Arrhenius ($\ln(\sigma_{ac})-q/kT$) eğrisi.....	69
Şekil 4.29. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) M' -V-T b) M'' -V-T grafikleri.....	70
Şekil 4.30. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Argand diyagramları.....	71



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. n-tipi ve p-tipi yarıiletkenler için doğrultucu ve omik kontak oluşumu.....	5
Çizelge 3.1. Polivinil alkol'ün fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 4.1. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için V_m , C_m , G_m/ω , N_{ss} ve R_s değerleri.....	48
Çizelge 4.2. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için V_0 , N_A , V_D , E_F ve Φ_B değerleri.....	51
Çizelge 4.3. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların temel elektrik parametreleri.....	54



KISALTMALAR

ac	Alternatif Akım
C-V	Kapasitans-Gerilim
dc	Doğru Akım
FET	Alan Etkili Transistör
G/ ω -V	İletkenlik-Gerilim
LED	Işık Yayan Diyot
MY	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOY	Metal-Oksit-Yarıiletken
MY	Metal-Yarıiletken
MPY	Metal-Polimer-Yarıiletken
p-Si	p-tipi Silisyum
PVA	Polivinil Alkol
SBD	Schottky Engel Diyot
TE	Termiyonik Emisyon

SİMGELER

A	Alan
A_{ox}	Yalıtkan tabakanın alanı
Å	Angström
Al	Alüminyum
°C	Sıcaklık birimi santigrat derece
C	Kapasitans
C_0	Dielektriksiz yapının kapasitansı
C_{ox}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
C_m	Ölçülen kapasitans
C_c	Düzeltilmiş kapasitans
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
eV	Elektronvolt
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_g	Yasak enerji bant aralığı
E_a	Aktivasyon enerjisi
F	Kapasitans birimi Farad
G	İletkenlik
G_m	Ölçülen iletkenlik değeri
G_c	Düzeltilmiş iletkenlik değeri
Hz	Frekans birimi Hertz
I_F	Ters ön gerilimleme altında akım
I_R	Doğru ön gerilimleme altında akım
k	Boltzman sabiti
K	Kelvin cinsinden sıcaklık birimi
M'	Elektriksel modülüsün reel kısmı
M''	Elektriksel modülüsün sanal kısmı
N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_A	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Kısa devre direnci
Si	Silisyum
T	Kelvin cinsinden sıcaklık
$\tan\delta$	Kayıp açısı
V	Yapı üzerine düşen gerilim
V_F	Doğru beslem gerilimi
V_R	Ters beslem gerilimi
CdS	Kadmiyum Sülfür
Φ_B	Schottky engel yüksekliği
Φ_{B0}	Sıfır beslem engel yüksekliği

ϵ_i	Arayüzey tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ'	Dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ''	Dielektrik sabitinin sanal kısmı
ϵ_0	Boş uzayın elektrik geçirgenliği
σ_{ac}	ac iletkenlik
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu



ÖZET

METAL-POLİMER-YARIİLETKEN (MPY) YAPILARIN HAZIRLANMASI, ELEKTRİKSEL VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

Gülçin ERSÖZ DEMİR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

Aralık 2018, 87 sayfa

Bu tez çalışmasında, CdS-PVA arayüzey tabakalı Al/p-Si Metal-Polimer-Yarıiletken (MPY) yapıların elektrik ve dielektrik parametreleri kapasitans-voltaj (C-V), kondüktans-voltaj (G/ω-V) ve akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden yararlanılarak incelenmiştir. CdS-PVA nanoparçacıkları bilyalı öğütme metodu kullanılarak oluşturuldu ve p-Si üzerine sol-jel metodu ile kaplanmıştır. Omik ve doğrultucu kontaklar termal buharlaştırma yöntemiyle oluşturularak Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının üretim süreci tamamlanmıştır. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların yapısal özellikleri; Ultraviyole ve görünür ışık (UV-VIS), X-Ray Powder Diffraction (XRD) ve Scanning Elektron Mikroskopu (SEM) ile incelenirken, kompleks dielektrik (ϵ' , ϵ''), kayıp tanjant ($\tan\delta$), ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}), kompleks elektriksel modülüs (M' , M'') gibi dielektrik özellikleri 5 kHz-5 MHz frekans, ± 1.0 V voltaj ve 500 kHz'de 230 K-340 K sıcaklık aralığında analiz edilmiştir. Yüksek frekanslarda ve düşük sıcaklıklarda ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{ac} değerleri neredeyse sabitken, düşük frekanslar ve yüksek sıcaklıklarda ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{ac} değerleri ac sinyalini kolayca takip edebilen N_{ss} ve arayüzey polarizasyonlarından dolayı artış göstermektedir. M' ve M'' değerlerinin artan frekans ile birlikte artarken, sıcaklığın artışı ile azaldığı görülmektedir. Bu durum, dc gerilim, frekans ve sıcaklığın etkisi ile arayüzey yüklerin yeniden yapılanıp-düzenlenmesine atfedilmiştir. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların relaksasyon mekanizmasını belirlemek için M' ve M'' parametrelerinin Argand diyagramları sıcaklığın fonksiyonu olarak incelenmiştir. Arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss})'nin voltaj ve frekansa bağlı özellikleri düşük-yüksek frekanslı kapasitans ($C_{LF-C_{HF}}$) ve Hill-Coleman yöntemleri ile incelenirken, R_s değerleri Nicollian ve Brews yöntemleri ile elde edilmiştir. N_{ss} ve R_s değerleri artan frekans ile azalmıştır ve R_s etkisini ortadan kaldırmak için düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve düzeltilmiş iletkenlik (G_c/ω) grafikleri oluşturulmuştur.

Anahtar sözcükler: Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar, Arayüzey durumları, Elektrik ve dielektrik özelliklerin frekans, voltaj ve sıcaklığa bağlı değişimi, Seri direnç.

ABSTRACT

THE PREPARATION OF METAL-POLYMER-SEMICONDUCTOR (MPS) AND INVESTIGATION OF THEIR ELECTRICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES BASED ON FREQUENCY AND TEMPERATURE

Gülçin ERSÖZ DEMİR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electric-Electronic
and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

December 2018, 87 pages

In this thesis study, electrical and dielectric parameters of Al/p-Si Metal-Polymer-Semiconductor (MPS) type structures with CdS-PVA interfacial layer were investigated using the capacitance (C-V), conductance-voltage (G/ω) and current voltage (I-V) measurement data. CdS-PVA nanoparticles were produced using ball milling method and were coated on p-Si by sol-gel method. The process of production of Al/(CdS-PVA)/p-Si type structures were completed by forming omic and rectifier contacts via thermal evaporation method. Al/(CdS-PVA)/p-Si type structures' structural properties were examined with UV-VIS, X-Ray Powder Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM). Dielectric properties such as complex dielectric (ϵ' , ϵ''), loss tangent ($\tan\delta$), ac electrical conductivity (σ_{ac}), complex electrical modulus (M' , M'') were analyzed in temperature range of 230 K-340 K at 500 kHz, frequency range of 5 kHz-5 MHz, voltage range of ± 1.0 V range. The values of ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and of σ_{ac} are almost stable at high frequencies and low temperatures whereas, at low frequencies and high temperatures, the values of ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and σ_{ac} show an increase because of interfacial polarizations and surface state (N_{ss}) that follows ac signal easily. M' and M'' values increase with the increasing frequency and are observed to decrease with the increasing temperature. This situation was attributed to restructuring and reordering of the interfacial charges by the effect of dc voltage, frequency and temperature. For the purpose of determining relaxation mechanisms of Al/(CdS-PVA)/p-Si type structures the Argand diagram that was obtained from M' and M'' graphics was analyzed as a function of temperature. The voltage and frequency dependent profiles of density of N_{ss} were investigated with high-low frequency capacitance (C_{LF} - C_{HF}) and Hill-Coleman methods whereas R_s values were obtained using Nicollian and Brews method. It was observed that N_{ss} and R_s values decreased with the increasing frequency. Moreover, corrected capacitance (C_c) and corrected conductance (G_c/ω) graphics were drawn to eliminate the effect of R_s .

Keywords: Al/(CdS-PVA)/p-Si type structures, Surface state, Change of electric and dielectric properties with frequency, voltage and temperature, Series resistance.

EXTENDED ABSTRACT

THE PREPARATION OF METAL-POLYMER-SEMICONDUCTOR (MPS) AND INVESTIGATION OF THEIR ELECTRICAL AND DILECTRIC PROPERTIES BASED ON FREQUENCY AND TEMPERATURE

Gülçin ERSÖZ DEMİR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electric-Electronic
and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

December 2018, 87 pages

1. INTRODUCTION

The characterization of semiconductor materials used in the production of Metal-Semiconductor (MS) structures is very important since MS structures play a significant role in the development of many electronic devices and new technologies. It has been seen in the studies on the interfacial layer that device performance, reliability and stability are highly influenced by the presence of this layer. Therefore, significant changes in the electrical and dielectric properties of a Metal-Polymer-Semiconductor (MPS) structure where Cadmium Sulfur (CdS) doped polyvinyl alcohol (PVA) is the interfacial layer are expected. Between different semiconductor materials, Cadmium sulfide (CdS)-Polymer nanomaterial has been recognized as one of the promising materials because of its unique properties and potential to fabricate for low-cost fabrication, stable, and flexible optical and optoelectronic devices. CdS has been used widely in the fields of light-emitting devices, transistors, photochemical catalysis, gas sensors, optoelectronic devices, solar cells, nonlinear optical materials, medical applications and so on. One of the most important application areas where CdS nanoparticles are doped into polymers is Schottky barrier diodes (SBDs). One of the polymers commonly used in SBDs is PVA due to its excellent insulation properties. Therefore, PVA polymer was doped with CdS nanoparticles in order to obtain an interfacial layer comprised of both CdS nanoparticles and PVA in this study. Thus, an MPS structure with CdS-PVA interlayer was obtained.

2. MATERIAL AND METHODS

Cadmium acetate ($\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), polyvinyl alcohol (PVA) and sodium sulphide ($\text{Na}_2\text{S}_9\text{H}_2\text{O}$) chemicals were used to synthesize cadmium sulfide (CdS) nano structure and to obtain CdS-PVA mixture. In this study, Al/(CdS-PVA)/p-Si structures (MPS) are manufactured using boron doped (p-Si) substrate at about $1,5 \text{ cm}^2$ size, (100) orientation and $350 \text{ }\mu\text{m}$ thick. Standard chemical etching to remove the natural oxide layer on the surface of silicon substrates was performed using the appropriate acids. In order to get rid of other chemical impurities on the surface of silicon substrate, standard chemical technical solvents were used as final cleaning procedure. High purity (99.999%) Al metal contact on the matt surface of the silicone substrate was coated with Al which has 1500 \AA thickness using thermal evaporation at 10^{-6} Torr pressure. Al-coated p-Si substrate was annealed at $450 \text{ }^\circ\text{C}$ for 5 minutes in a N_2 inert gas to obtain a low-resistance Ohmic contact. In order to fabricate Al/(CdS-PVA)/p-Si (MPS) structures, the CdS-PVA interfacial layer was grown with 6000 \AA thickness on the front surface (glossy surface) of the p-type Si-substrate using the sol-gel method. After the formation of the CdS-PVA interfacial layer, high-purity Al dot (Schottky) contacts with about 1500 \AA thickness and about 1 mm diameter were evaporated on the CdS-PVA interface at the front surface of the p-type Si substrate via thermal evaporation. The frequency dependent C-V and G/ω -V measurements were performed at voltage between -1.0 V and $+1.0 \text{ V}$ in the frequency range of 5 kHz - 5 MHz using the HP 4192A LF impedance analyzer, while I-V characteristics were performed using the Keithley 2400 sourcemeter between -4.0 V and $+4.0 \text{ V}$. C-V-T and G/ω -V-T measurements were performed at 500 kHz in the voltage range from of $(-3.0 \text{ V}) - (+5.0 \text{ V})$ and in the temperature range of $230 \text{ K} - 340 \text{ K}$ using same impedance unit (for applying a constant frequency) and a Lakeshore controlled JANES-475 Cryostat (with approximately 10^{-3} Torr vacuum).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The capacitance (C)-conductance (G/ω) measurements of the obtained Al/(CdS-PVA)/p-Si MPS structures at room temperature were performed in the frequency range of $5 \text{ kHz} - 5 \text{ MHz}$, and voltage range of $(-1.0 \text{ V}) - (+1.0 \text{ V})$, while their temperature dependent measurements were performed of 500 kHz in the voltage range of $(-3.0 \text{ V}) - (+5.0 \text{ V})$ and temperature range of $230 \text{ K} - 340 \text{ K}$. Experimental results clearly show that the electrical and dielectric properties of the fabricated structure from the experimental results are strongly dependent on the frequency and voltage as well as these properties are affected

by the series resistance (R_s), interface states (N_{ss}) and interface polarization mechanisms. The frequency-dependent properties of the density of the interface traps (D_{it}) were obtained by the low-high frequency capacitance ($C_{LF-C_{HF}}$) method while obtaining the voltage-dependent characteristics of R_s and N_{ss} were obtained using the Nicollian and Brews and Hill-Coleman methods, respectively. It is seen that these quantities rapidly decrease with increasing frequency. Basic dielectric parameters such as ϵ' , ϵ'' , M' , M'' , $\tan\delta$ and σ_{ac} have been found not only as a frequency and voltage function but also as a powerful function of temperature by using C-G/ ω analysis. Due to the effects of an external electric field or voltage and interfacial polarization, reconstruction and reorganization of charges in CdS-PVA and semiconductor interfaces lead to significant changes in parameters such as ϵ' , ϵ'' , M' , M'' , $\tan\delta$ and σ_{ac} .

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

Both the electrical and dielectric properties of Al/(CdS-PVA)/p-Si structures were obtained from C-G/ ω analysis not only depending on frequency and voltage but also depending on temperature. Temperature-independent measurements were performed in the frequency range of 5 kHz - 5 MHz, and voltage range of (-1.0 V) – (+1.0 V), while the temperature-dependent measurements were carried out at constant frequency of 500 kHz between -3.0 V and +5.0 V in the temperature range of 230 K - 340 K. The basic electrical and dielectric quantities of the fabricated structure were obtained as a powerful function of frequency, voltage and temperature as well as these quantities have been greatly influenced by the effects of R_s , N_{ss} and interfacial polarization mechanisms. While R_s as a function of voltage is obtained via the Nicollian and Brews method, the frequency-dependent variation of N_{ss} was investigated thanks to Hill-Coleman method. According to the findings, both R_s and N_{ss} datas decreased exponentially with increasing frequency. Apart from these, the most important dielectric parameters such as the real part (ϵ') and imaginary part (ϵ'') of the complex dielectric, the loss factor ($\tan\delta$), the real part (M') and imaginary part (M'') of the complex electrical modulus and the ac electrical conductivity (σ_{ac}) were obtained from both temperature-independent and temperature-dependent C-G/ ω analyzes. It is clear that all these parameters are strongly dependent on temperature, voltage and frequency. The changes in these parameters are seen especially in the regions of depletion and accumulation at low frequencies. ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and σ_{ac} values are almost constant at high frequencies and low temperatures, but are increased due to N_{ss} and interface polarizations that can easily follow ac signal at lower frequencies and higher

temperatures. M' and M'' increase with increasing frequency due to short range movement of charge carriers and decrease with increasing temperature. The increase in applied voltage causes ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ and σ_{ac} values to increase while M' and M'' values are decreased. Due to the spatial distribution of N_{ss} , peak points in the M'' -V and $\tan\delta$ -V graphs in the depletion region can be attributed to R_s and polarization effects both the (CdS-PVA)/p-Si interface and the Al/p-Si interface. In the light of all experimental, it can be said that the dielectric and electrical properties of Al/(CdS-PVA)/p-Si structures, which CdS doped PVA is used as interfacial layer, exhibit good performance. It should also be noted that Al/(CdS-PVA)/p-Si structures can be an efficient alternative to the conventional MIS or MOS structures frequently used in the development of electronic and new technological devices in the literature.

1. GİRİŞ

Metal yarıiletken (MY) yapılar her geçen gün öneminin artması sebebiyle teknolojik cihazların üretiminde önemli bir rol oynamaktadır [1]–[4]. MY yapıların elektrik ve dielektrik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına yönelik yapılan araştırmalar günümüze kadar büyük gelişmelerin yaşanmasına katkı sağlamıştır [5]–[9]. MY yapılar ile ilgili ilk araştırma, 1874 yılında Braun’un yarıiletken kristaller üzerine bakır (Cu) ve demir (Fe) gibi metal kontakların doğrultucu doğasını keşfetmesiyle başlar [10]. 1906 yılında Pickard silisyum kristali kullanarak nokta kontak dedektörler için bir patent geliştirmiştir [11]. 1938 yılında yarıiletken devre elemanlarından birisi olan MY yapıların arayüzeyinde potansiyel engeli oluştuğunu ilk defa Schottky ortaya koydu ve bu konu üzerine kapsamlı çalışmalarından dolayı W. Schottky’ye atfedilerek “Schottky diyotları” denilmeye başlandı [10]. Yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalarda büyük bir elektriksel direnç sergileyen ince bir ara yüzey tabakasının neden olduğu durum, metal-yarıiletken kontaklarda bariyer yükseklikleri için Schottky ve Mott tarafından önerilen ilk model olarak bilinir [12], [13]. Hem metalin hem de yarıiletkenin vakum seviyesini bir araya getirmek için metal ve yarıiletkenin temas halinde olması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. 1947’de, yarıiletkenin bant aralığındaki arayüz durumlarından dolayı bariyer yüksekliğine göre metal iş fonksiyonunun azalmış olduğu ilk kez tespit edildi [14], [15]. Schottky kontaklar, eklem alanı üzerinde daha düzgün kontak potansiyeli ve akım dağılımı elde etmek için yarıiletken yüzeyine belirli alanlarda metal buharlaştırılarak oluşturulan düzlemsel yapılardır [16]. Düşük seri direnç, yüksek güç kapasitesi ve daha düşük sinyale sahip olmaları bu yapıların tercih edilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, MY yapılarda yeniden birleşim ve üretim olmayacağından verim yüksek olmaktadır. Fakat bu yapılar yüzey elemanı olduklarından, yüzey kirliliğine karşı duyarlı olmaları gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca, MY yapılar yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemlere karşı dayanıklı değildir. Yüksek sıcaklık, diyotun elektriksel özelliklerini etkilemektedir [2], [17]–[19].

Yaklaşık olarak 300-600°C sıcaklıklarda tavlama işlemi, omik kontakın direncini azaltırken MY yapıların doğrultma özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle dış etkenlere karşı yapının dayanıklılığını, elektriksel iletkenliğini artırmak ve genel

performansını iyileştirmek için MY yapılara çeşitli arayüzeyler eklenerek metal-oksit-yarıiletken (MOY), metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY), metal-polimer-yarıiletken (MPY) veya metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFY) gibi yapılar elde edilmektedir [16], [20]–[27].

Son yıllarda metal ile yarıiletken arasına geleneksel olarak kullanılan SiO_2 , Si_3N_4 , SnO_2 ve TiO_2 gibi yalıtkan tabakaların yerine yapımı kolay ve ucuz olmasının yanı sıra esnek olmaları sebebiyle katkısız veya katkılı polimerler kullanılmaya başlanmıştır. Ancak polimerler düşük iletkenlik özelliği gösterdikleri için uygun oranlarda metal veya diğer malzemeler katkılanarak iletkenliği artırılmıştır [22], [26], [28]. Katkılama ile iletkenlik özellikleri arttığından dolayı polimer malzemeler hem akademik çalışmalar hem de endüstriyel araştırma alanlarında dikkatleri üzerine çekmektedir. Organik iletken polimer malzemeler; esnek olmaları, özel uygulamalara göre malzeme özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilmesi, ucuz teknoloji ile üretilebilmeleri, düşük maliyetli olmaları, kolay üretim süreçlerine sahip olmaları ve bu üretim süreçlerinin çevreye zarar vermemesi gibi önemli avantajları sebebiyle elektronik ve opto-elektronik cihaz üretiminde geniş kullanım alanlarına sahiptirler [29], [30]. Polimer malzemeler belirli bir kapasitans ve iletkenlik değerine sahip olduğu için ışık yayan diyot (LED), ışık yayan organik diyot (OLED), Schottky engel diyot (SBD), güneş pili ve transistor gibi aygıtların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [26], [28], [31], [32]. MPY yapıların üretim sürecinde polistiren (PS), polivinil alkol (PVA), polipirol (PPy), polimetil metakrilat (PMMA), polivinil klorür (PVC) ve politiyofen vb. [31]–[34] gibi polimer malzemeler kullanılabilir. Bu polimer malzemeler cihaz üretim teknolojisi açısından incelendiğinde PVA polimeri birçok avantaja sahiptir. PVA, düşük maliyetli malzemeler ile elde edilme, basit üretim teknikleri ve cihaz uygulamaları için uygun kimyasal özellikleri gibi avantajlar sebebi ile tercih sebebi olmaktadır [35].

MY, MYY veya MPY gibi yapıların hazırlanmasında yarıiletken olarak, daha ucuz ve kararlı olmasından dolayı genelde silisyum (Si) kullanılırken, metal olarak genellikle altın (Au), gümüş (Ag) ve alüminyum (Al) gibi yüksek saflıkta metaller tercih edilir. Bu yapıların hazırlanma aşamasında metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonu önemlidir. Doğrultucu kontak yapılırken kullanılan yarıiletkenin n-tipi ya da p-tipi olmasına bakılarak uygun iş fonksiyonuna sahip metal seçilmelidir. Metal ile yarıiletken arasına oluşturulacak yalıtkan veya polimer tabaka, ara yüzey yük geçişlerini düzenlemesinin yanı sıra yapının performansını da arttırmaktadır. Bu sebeple ara yüzey tabakalarını seçerken yüzeyi pasifize edecek, sızıntı akımını azaltacak, kontrol edilebilir akım-iletim

mekanizması gerçekleştirecek ve doğrultucu özelliğe yaklaşacak yüksek dielektrik sabitli malzemelerin seçimine dikkat edilir [29], [36].

Bu çalışmada kadmiyum sülfür katkılı polivinil alkol CdS-PVA arayüzey malzemesi sol-jel metodu kullanılarak p-tipi Si üzerine büyütüldü. Al/(CdS-PVA)/p-Si (MPY) yapının kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω -V) ölçümlerinden yararlanılarak temel elektrik ve dielektrik parametreleri 230 K-340 K sıcaklık, 5 kHz-5 MHz frekans ve ± 1.0 V voltaj aralığında incelendi. Bu ölçümlerden MPY yapıların dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kaybı (ϵ''), dielektrik kayıp tanjantı ($\tan\delta$), elektriksel modülüs (M' ve M'') ve ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}) gibi elektrik ve dielektrik özellikler frekans ve sıcaklığa bağlı olarak incelendi. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların oda sıcaklığındaki ($T=300$ K) I-V karakteristiklerinden, diyotun ters doyum akımı (I_0), idealite faktörü (n), sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{B0}), seri direnç (R_s), şönt direnç (R_{sh}) ve doğrultma oranı (RR) gibi diyot parametreleri hesaplanmıştır. Arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss})'nin voltaj ve frekansa bağlı özellikleri düşük-yüksek frekanslı kapasitans (C_{LF} - C_{HF}) ve Hill-Coleman yöntemleri ile incelenirken, R_s özellikleri Nicollian ve Brews yöntemleri ile incelenmiştir. R_s etkisinin dikkate alınmasıyla C-V ve G/ω -V karakteristikleri düzeltilerek C_c -V ve G_c/ω -V karakteristikleri belirlenmiştir.

2. GENEL KAVRAMLAR

2.1. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR

Schottky diyotların tarihçesi çok eskiye dayanmasına rağmen günümüzde elektronik uygulamalar için önemini korumaya devam etmektedir. Schottky diyotların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi için farklı yarıiletkenler ve farklı metaller uygun deney ortamında kontak edilir. İdeal kontak; metal ile yarıiletkenin birbiri ile temasında direncin sıfır olması durumudur, fakat deneysel uygulamalarda metal ile yarıiletken arasındaki direncin sıfır olması çok mümkün olmamaktadır. Oluşturulan kontakın ideale yakın olması için, yarıiletken kristal yüzeyinin çok iyi temizlenmesi ve yüzeyin pasivize edilmesi gereklidir. Schottky diyotların karakteristik parametrelerini anlamak için, yalıtkanın ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özellikleri iyi bilinmelidir. Bir yarıiletken bir metal ile temas ettirildiğinde, ortaya çıkan temas, seçilen metal ve yarıiletkenlerin omik veya doğrultucu kontak olup olmadığını belirler. Bir metal ile yarıiletken kontak haline getirildiğinde bir potansiyel engeli oluşmadığı zaman yük taşıyıcıları metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolaylıkla geçebilmektedir. Bu tür kontaklar “omik kontak” olarak adlandırılır [37]. Diğer kontak türünde ise; metal ile yarıiletken kontak haline getirildiğinde bir potansiyel engel yüksekliği oluşmakta ve bu potansiyel engeli yapıya uygulanan gerilimin kutuplarına bağlı olarak akımın tek yönde geçmesini sağlamaktadır. Bu tür kontaklar “doğrultucu kontak” olarak adlandırılır [37]. Bariyer yüksekliğine bağlı olarak metal-yarıiletken kontaklar için temelde üç farklı kontak tarif edilmiştir. Bariyer yüksekliği, aşağıdaki gibi metal ve yarıiletken malzemelerin iş fonksiyonları (Φ_M , Φ_S) arasındaki farka bağlıdır:

- (1) Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olduğunda ($\Phi_M > \Phi_S$) elektronlar yarı iletkenden metale doğru hareket eder. Böyle bir durumda, p-tipi yarıiletken için, omik kontak ve n-tipi yarıiletken için doğrultucu bir kontak elde edilmiş olur. Yarıiletkendeki elektronların tükenmesi nedeniyle, yarıiletkenin bulk bölgesinde kontak kısmına yeterli sayıda yük taşıyıcılarının sağlanması oldukça zordur. Bu durumda yarıiletkenin bulk bölgesinde deşik (hole) fazlalıkları oluşmaktadır [38].

(2) Metal yarıiletken kontaklar için $\Phi_M = \Phi_S$ olduğu zaman, hem metalin hem de yarıiletkenin fermi seviyeleri eşittir. Bu durum metal ile yarıiletkendeki toplam yük yoğunluğunun arayüzey yük yoğunluğuna eşit olduğu anlamına gelmektedir [16].

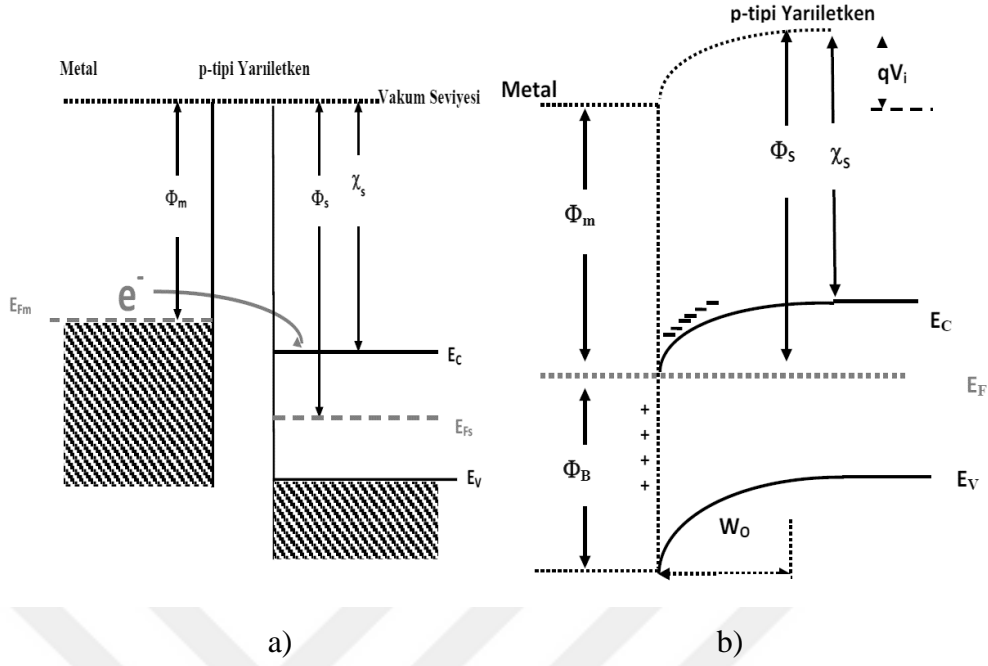
(3) Metalin iş fonksiyonu, yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olduğunda ($\Phi_M < \Phi_S$), metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engeli oluşmadığı için taşıyıcılar metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolaylıkla geçerler. Böyle bir durumda n-tipi yarıiletken için omik ve p-tipi yarıiletken için doğrultucu kontak elde edilir.

Çizelge 2.1, Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlı olarak omik ve doğrultucu kontak davranışlarını göstermektedir.

Çizelge 2.1. n-tipi ve p-tipi yarıiletkenler için doğrultucu ve omik kontak oluşumu.

	n-tipi yarıiletken	p-tipi yarıiletken
$\Phi_M > \Phi_S$	Doğrultucu	Omik
$\Phi_M < \Phi_S$	Omik	Doğrultucu

Bir metal, p tipi yarıiletken ile kontak durumuna getirildiğinde, yarıiletkenin ve metalin fermi seviyesi arasında bir enerji ilişkisi kurulacaktır. P-tipi malzemeler ve metaller için enerji-bant diyagramları Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1 a'da görüldüğü gibi metal ve yarıiletken temas ettirilmeden önce yarıiletkenin yüzeylerinde herhangi bir yük olmamasından dolayı tüm yüzey aynı kalır ve band bükülmez. Bir p-tipi yarıiletken ile metalin kontaklanması sonucu metalin iş fonksiyonu Φ_M 'nin yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_S 'den daha küçük $\Phi_M < \Phi_S$ olduğu durumdaki enerji band yapısı Şekil 2.1 b'de gösterilmektedir. Pozitif yüklüdeşikler, p tipi yarıiletkende iletkenliği sağlamaktadır. P-tipi yarıiletken, metal ile kontak yapıldığında E_F seviyeleri aynı enerji seviyesinde olacak şekilde hareketlenirler. E_F seviyelerindeki bu hareketliliğin sebebi, metaldeki enerjisi yüksek olan elektronların yarıiletkenin içerisine doğru hareket etmeleridir. Böylece, metalin E_F seviyesi düşmeye başlar. Metal içerisindeki elektronların, enerji seviyelerindeki yerlerini boşaltıp yarıiletkene geçerek yarıiletkenindekideşiklerin olduğu enerji seviyelerine yerleşmelerinden dolayı, yarıiletkenindekideşikler sanki metal içerisine doğru hareket ediyorlarmış gibi görünür. Böyle bir eklemdedogrultmanın olduğu gözlemlenmektedir. Yani kontak doğrultucu özelliğini göstermektedir [21].



Şekil 2.1. $\Phi_M < \Phi_S$ için metal/p-tipi yarıiletken kontağın a) kontak öncesi b) Kontak sonrası enerji bant diyagramları.

Φ_M : Metalin iş fonksiyonu

Φ_B : Metal ve yalıtkan arasındaki potansiyel engeli

χ_s : Yarıiletkenin elektron yatkınlığı

E_V : Valans bandı enerji seviyesi

E_C : İletkenlik bandı enerji seviyesi

E_F : Fermi enerji seviyesi [39]–[41]

2.1.1. Metal-Yarıiletken İletiminde Schottky-Mott Teorisi

MY kontaklarda, metal ile yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engel oluştuğunu ilk olarak Schottky, eklemde oluşan bu potansiyelin, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını ise Mott açıklamıştır [29]. Schottky-Mott teorisine göre, bariyer yüksekliği (Φ_B) oluşum süreci, metalin yarıiletken ile temas ettirilmesinden kaynaklanır ve bariyer yüksekliği, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonundaki farklılıktan kaynaklanır. N-tipi yarı iletken ile metal temasının dengeye ulaşması durumunda, yarıiletkenin iletim bandındaki elektronlar, metalin elektronlarından daha fazla enerjiye sahiptir. $\Phi_M > \Phi_S$ olduğunda yarıiletkendeki elektronlar fermi seviyeleri eşitlenene kadar metale akmaya devam eder [37]. Yarıiletkenden metale elektron akışıyla birlikte,

yarıiletkenin bant kenarında serbest elektron konsantrasyonunda azalma meydana gelir. E_C ve E_F arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile artar. E_F değeri, termal dengede sabit kalır. İletim bandı elektronları metale geçer ve yarıiletkende iyonize pozitif yükler (donörler) bırakır. Sonuç olarak, yarı iletken den metale geçen elektronlar tükenmiş olur. Metale geçen elektronların yarattığı elektron yükleri temel olarak bir yüzey yüküdür ve bu yükler metalde ince bir negatif tabaka oluştururlar. Bu durumda, yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alanı meydana gelir. Termal dengedeki bir MY kontağı için bariyer yüksekliğini (Φ_B) belirleyen önemli bir faktör, vakum seviyesinin geçiş bölgesi boyunca sabit kalmasıdır. Bu nedenle, yarıiletken tarafın vakum seviyesi, dengeyi sağlamak için metal tarafındaki vakum seviyesine yaklaşmalıdır. Yarı iletken tarafta görülen bantlardaki eğriliğin büyüklüğü iş fonksiyonları arasındaki fark kadardır. Bu fark aşağıdaki gibi açıklanabilir [10], [42].

$$qV_i = \Phi_M - \Phi_S \quad (2.1)$$

Bu denklemde V_i , potansiyel farkı ifade etmektedir. Denklem (2.1)'de qV_i yarıiletkenden metale geçen elektronun sahip olması gereken enerji olup bariyer yüksekliğidir. Bununla birlikte metal tarafından gözükten bariyer yüksekliği, yarıiletken tarafından gözükten bariyer yüksekliğinden farklıdır. Bariyer yüksekliğinin metal tarafındaki denklemini ise,

$$\Phi_B = (\Phi_M - \chi_S) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

$$\Phi_S = (\Phi_n + \chi_S) \text{ ve } \Phi_M = (qV_i + \Phi_S) \text{ olduğundan;}$$

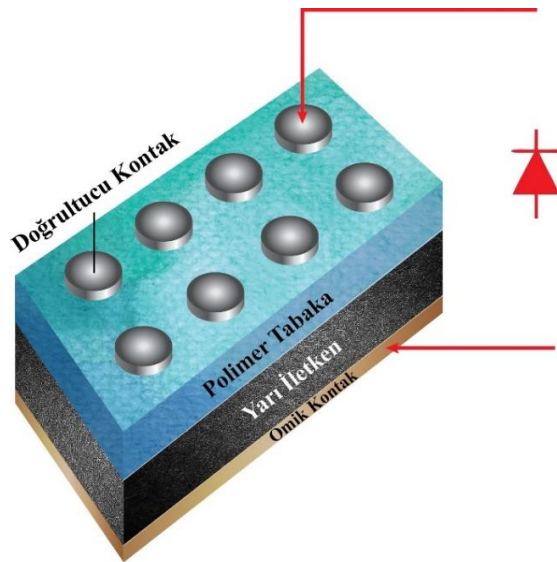
Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) kullanılarak, Φ_B ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.3)$$

Burada $\Phi_n = (E_C - E_F)$ yarıiletkenin iletkenlik bandı ile fermi seviyesi arasındaki matematiksel farktır. Denklem (2.1) Schottky bariyeri olarak bilinmektedir ve ilk olarak Schottky tarafından geliştirilmiştir [13]. Burada Denklem (2.3) elde edilirken, Φ_M ve Φ_S 'deki yüzey dipol katkısının metal ve yarıiletken arasındaki temastan sonra değişmediği varsayılmaktadır. Yarıiletken yüzeyindeki dağılımından, bariyer yüksekliğinin büyüklüğü hesaplanabilir. Φ_B değeri, her sıcaklık için termal enerjiden ($=kT/q$) daha büyüktür. Böylece yarıiletken yüzeyi, hareketli yüklerden yoksun oldukça dirençli bir tükenim bölgesine dönüşür [12], [13].

2.2. METAL-POLİMER-YARIİLETKEN YAPILAR

Elektrik ve dielektrik özelliklerinden dolayı MPY cihazların fiziksel özelliklerinin ve performanslarının anlaşılması elektronik uygulamalar için büyük önem taşımaktadır. Geleneksel MY kantağında metal ve yarı iletken arasında istenmeyen arayüzey durumları meydana gelmektedir. Arayüzey durumları, yarıiletkenin bulk yapısında arayüzey kusurlarına neden olur. Bu durum, bariyer yüksekliğinin yüzeyin özelliklerine ve metalin iş fonksiyonuna bağılı olmasını sağlayacaktır. MY kontaklarının gerçek bariyer yüksekliğinin belirlenmesinde istenmeyen arayüzey durumlarının kontrol edilmesi son derece önem arz etmektedir. Metal ile yarıiletken arasında istenmeyen arayüzey durumlarını önlemek için, polimer bir katman ara yüzey tabakası olarak kullanılmaya başlanarak metal-polimer-yarıiletken yapılar (MPY) oluşturulmuştur. Yarıiletken kristal ile kontak yapılacak metal arasında farklı polimer veya yalıtkan malzemeler büyütülerek olabildiğince aygıt performansının artırılması amaçlanmaktadır. MPY yapı üretilirken, polimer tabakasının çok ince olması durumunda, bazı metaller polimerin üst yüzeyinden yarıiletkene nüfuz edebilir ve yarıiletken ile reaksiyona girebilir. Bu durum cihaz üretimini sınırlandırmaktadır. Yarı iletkenin yüzeyinde yeterince ince polimer tabakaların varlığı, metal ile yarıiletken arasındaki yüzey kusurlarını düzenleyerek yük taşıyıcılarının tünelleme yapmasını kolaylaştırır ve bu durum arayüzey yoğunluğunu azaltır. Yarı iletken yüzeyinde polimer tabakasının kalın olması durumunda ise yük taşıyıcılarının tünelleme yapması tünelleşmesi zorlaşır [38], [43]. Günümüzde metal ile yarıiletken arasında kaplanan polimer tabakanın kalınlığı angström ölçeğine kadar kolaylıkla kontrol edilebilir.

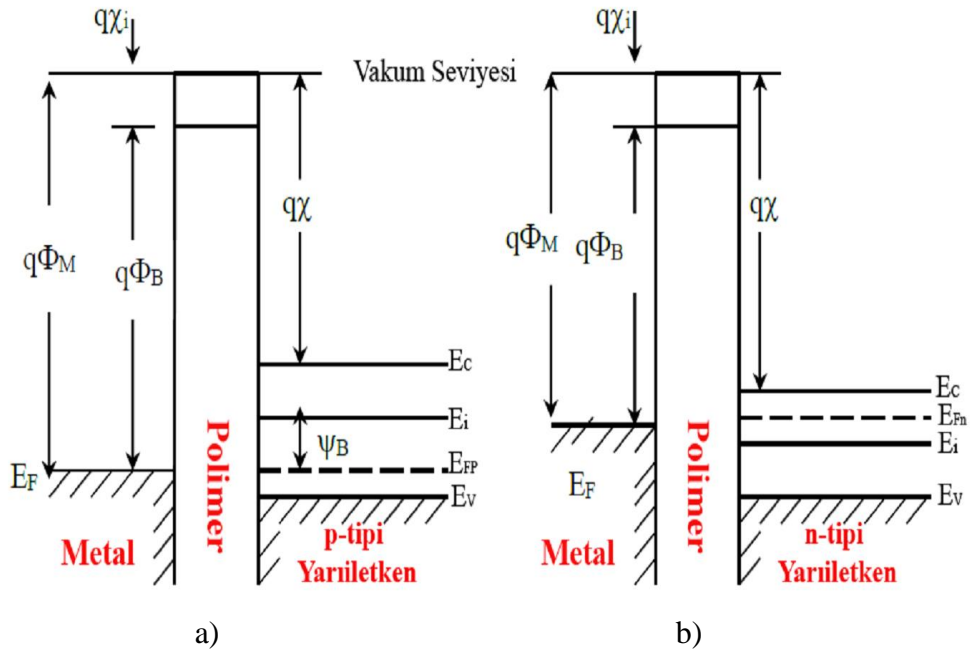


Şekil 2.2. Metal-polimer-yarıiletken yapıların şematik gösterimi.

Bir metal ile bir yarıiletken arasında çeşitli büyütme teknikleri kullanılarak bir polimer tabaka oluşturulabilmektedir. Şekil 2.2’de MPY yapıların şematik gösterimi verilmiştir.

Polimer tabakanın varlığı hem metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler hem de metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder. Genel olarak, arayüzey tabakası için, polivinil alkol (PVA), polivinil klorür (PVC), polindol, perilen gibi farklı ticari polimer malzemeler kullanılmaktadır [17], [44], [45].

Şekil 2.3, p ve n-tipi yarı iletken için $V=0$ ’da ideal bir MPY yapısının enerji-bant diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.3. a) p-tipi b) n-tipi yarıiletkenler için $V = 0$ ’da ideal bir MPY/MYY yapısının enerji-bant diyagramı [10].

İdeal bir MPY yapısı aşağıdaki özellikler ile tanımlanabilir [21], [46].

1. Sıfır ön gerilim metal ve yarıiletken iş fonksiyonları arasındaki fark ($\Phi_M - \Phi_S$) sıfırdır. Diğer bir deyişle ($\Phi_{MS} = \Phi_M - \Phi_S = 0$) olur ve n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler için Denklem (2.4) ve Denklem (2.5)’de ifade edilmektedir [16], [47].

$$\Phi_{MS} = \Phi_M - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \text{ (n-tipi yarıiletkenler için)} \quad (2.4)$$

$$\Phi_{MS} = \Phi_M - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_B \right) = 0 \text{ (p-tipi yarıiletkenler için)} \quad (2.5)$$

Burada, E_g , yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve ψ_B , fermi enerji seviyesi ile saf enerji seviyesi (E_i) arasındaki enerji farkıdır.

2. Herhangi bir gerilim uygulandığında, MPY yapıda meydana gelecek taşıyıcı yükler, yarıiletken ve metal polimer arayüzeyinde oluşan yüklerle eşit sayıda fakat zıt işaretlidir.
3. Arayüzey katman aracılığıyla yüklerin taşınması sırasında metal ile yarıiletken arasındaki bariyer yüksekliği, dc ön gerilim altında sıfırdır veya arayüzey tabakanın direnci sonsuzdur.

Şekil 2.3'deki yük hareketi incelendiğinde, elektronlar öncelikle yarıiletkenin iç kısmından arayüze geçmeli ve sonra bariyer üzerinden metalin içine yayılmalıdır. Elektronlar, yarıiletkenin tükenim bölgesini geçerken, hareketleri, bariyerin elektrik alanındaki sürüklenme ve saçılma mekanizması tarafından yönetilir. Yarıiletkende akımın oluşması iki yöntemle gerçekleşmektedir. Birincisi elektrik alan uygulandığında, taşıyıcı yüklerin sürüklenmesinden dolayı akım oluşmaya başlar. İkinci olarak taşıyıcı yük konsantrasyonunun sürekli değişimi, taşıyıcı difüzyonuna bağlı bir akım oluşmasına neden olur [10]. Bu iki süreç seri olarak etkili bir şekilde gerçekleşir ve akım ağırlıklı olarak elektron akışından daha gecikmeli bir şekilde ölçülür [48].

2.2.1. Metal Polimer Yarıiletken Yapıya Gerilim Uygulanması

MOY, MYY ve MPY yapılarına, alttaşın türüne ve gerilim yönüne bağlı olarak gerilim uygulandığında yığılım, tükenim ve terslenim durumları meydana gelmektedir.

2.2.1.1. Yığılım

P tipi bir yarıiletkenin kullanıldığı MPY yapının omik ve doğrultucu kontaklarına ters gerilim ($V < 0$) uygulandığı zaman kontaklar arasında bir elektrik alan oluşur. Yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı deşikler, yarıiletken-polimer arayüzeyine doğru elektrik alan tarafından çekilirler. Çoğunluk taşıyıcıların çekilmesi ile birlikte yarıiletkenin valans bandının tepesi yukarı doğru bükülür ve fermi enerji seviyesine kadar yükselir. Bant bükülmesi Şekil 2.4'de gösterilmektedir. İdeal MYY veya MPY yapılarda yük akışı olmadığı zaman fermi enerji seviyesi yarıiletkende sabit kalır. Deşiklerin yoğunluğu E_F ile E_V arasındaki farka üstel olarak bağlı olduğundan, bant bükülmesi yarıiletkenin yüzeyine yakın olur ve bu durum çoğunluk taşıyıcılarının yarıiletkenin yüzeyine yığılmasına neden olur. Valans bandının bükülerek fermi seviyesine yaklaşmasından dolayı iletim bandında aynı yönde bükülür. Bu durum yığılım (accumulation) olarak ifade edilir [41], [49].

N tipi bir yarıiletkenin kullanıldığı MPY yapının omik ve doğrultucu kontaklarına ters gerilim ($V < 0$) uygulandığı zaman, elektrik alan yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı olan elektronları yarıiletken arayüzeyine doğru çeker. Taşıyıcı yoğunluğu üstel olarak enerji farkına ($E_C - E_F$) bağlı olduğundan, bant bükülmesi yarıiletken yüzeyinin yakınında çoğunluk taşıyıcı olan elektronların yığılmasına sebep olur. İletkenlik bandının yarıiletken arayüzeyinde fermi seviyesine yaklaştığı valans bandının da buna bağlı olarak yukarı doğru büküldüğü durum Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Çoğunluk yük taşıyıcıların arayüzeyde birikmelerinden dolayı bu durum yığılım (accumulation) olarak ifade edilir.

2.2.1.2. Tükenim

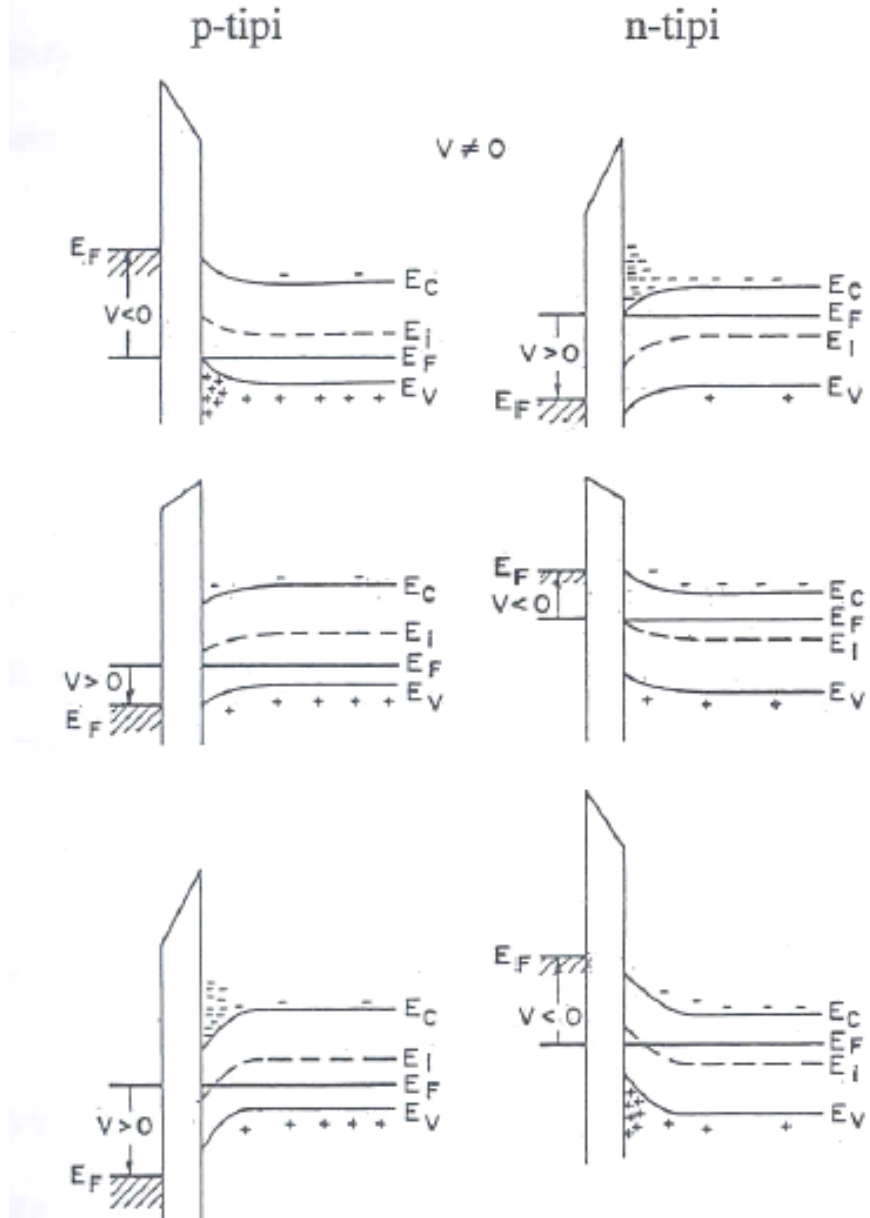
P tipi yarıiletkenli MPY yapılarda metale küçük bir pozitif gerilim ($V > 0$) uygulandığı zaman polimer arayüzey katmanı içinde oluşan elektrik alan yarıiletken arayüzeyindekideşikleri yüzeyden uzaklaştırır. Yarıiletken yüzeyindekideşik yoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarındakideşik yoğunluğundan küçük olmaya başlar. E_C ve E_V bantlar aşağı doğru bükülür. Bu durum Şekil 2.4’de gösterilmektedir. İletim bandının yarıiletken yüzeyine yakın bölgelerinde, elektronlar toplanmaya başlar. Yarıiletken yüzeyinde, uygulanan gerilimle değişen w genişliğinde bir bölgede,deşiklerin azaldığı bir tükenim bölgesi oluşur. Bu duruma tükenim (depletion) durumu denir. Bu olayda bantlar aşağı doğru bükülür ve çoğunluk yük taşıyıcısıdeşikler arayüzey bölgesinde tükenirler [49].

N tipi yarıiletkenli MPY yapılarda metale küçük bir negatif gerilim ($V < 0$) uygulandığında, polimer arayüzey katmanı içinde oluşan elektrik alan yarıiletken arayüzeyindeki elektronları yüzeyden uzaklaştırır. Bu durumda yarıiletken yüzeyindeki elektron yoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarındaki elektron yoğunluğundan küçük olmaya başlar ve bantlar yukarı doğru bükülür. Bu durum Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Valans bandının yarıiletken yüzeyine yakın bölgelerinde,deşikler toplanır. Çoğunluk taşıyıcı olan elektronların azaldığı bu bölgeye tükenim bölgesi oluşur. Bu duruma tükenim (depletion) durumu denir.

2.2.1.3. Terslenim

P-tipi bir yarıiletkenin kullanıldığı MPY yapılarda metale büyük bir pozitif gerilim ($V \gg 0$) uygulandığı zaman bantlar oldukça aşağı doğru bükülür öyle ki saf durumdaki enerji seviyesi (E_i), fermi enerji seviyesi nin altına düşer. Bu durum Şekil 2.4’de gösterilmektedir. $V \gg 0$ durumda yarıiletken yüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan elektronlar artmaya başlar vedeşik yoğunluğu elektron yoğunluğundan daha küçük olur. Bu aşamadan sonra p-tipi yarıiletken yüzeyi n-tipi yarıiletken gibi davranır. Bu duruma terslenim (inversion) durumu denir.

N tipi bir yarı iletkenin kullanıldığı MPY yapının kontaklarına büyük bir negatif gerilim ($V \ll 0$) uygulandığında yarıiletkenin enerji bantları daha fazla yukarı bükülür. Böyle bir durumda saf enerji seviyesi (E_i) E_F 'nin üstüne çıkar. Bu durum Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Bu durumda yarıiletken yüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan desikler artmaya baslar. Desik yoğunluğu elektron yoğunluğundan daha büyük olur. Bu aşamadan sonra n-tipi yarıiletken yüzeyi p-tipi yarıiletken gibi davranır. Bu duruma terslenim (inversion) durumu denir [49].



Şekil 2.4. $V \neq 0$ durumunda ideal MPY/MYY yapının yığılım tükenim ve terslenim için çizilen enerji-bant şeması [41].

2.3. İDEAL METAL-POLİMER/YALITKAN-YARIİLETKEN YAPILARIN ELEKTRİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Bir elektrik devresinde ortaya çıkan sızıntı akımlarını önlemek ve yüksek voltajlı güç elemanları ve düşük voltajlı-yüksek frekanslı uygulamalar gibi elektronik uygulamalarda elektriksel polarizasyon özelliğinden dolayı yalıtkan malzemelerin teknolojiye kullanımına olan ilgi artmıştır. Bu yalıtkanların elektrik özelliklerinin farklı koşullarda nasıl değişim gösterdiğini bilmek önemlidir. Bu nedenle, farklı alanlarda ve çalışma koşullarında tercih edilen yalıtkan malzemenin dielektrik sabit ve kayıp faktörü başta olmak üzere birçok dielektrik parametrenin malzemenin kullanıldığı koşullar altında ölçülmesi gerekmektedir. Harici elektrik alan uygulandığında, enerji depolama kapasitesine sahip olan malzemeler dielektrik malzemedir. Dielektrik sabiti, harici elektrik alanı altında ne kadar enerjinin depolandığını ve malzemedeki ne kadar enerjinin kaybolduğunu belirlemek amacıyla kullanılır. Bir malzemenin dielektrik sabiti, iki elektrik yükü arasındaki elektrostatik kuvveti azaltan bir parametredir. Malzemedeki yük taşıyıcıları elektrik alan etkisi ile yer değiştirir ve sonuç olarak elektrik yükü merkezi değiştiğinden dolayı elektriksel polarizasyon gözlenir. Oluşan dipoller, dielektrik malzemenin yüzeyinde yük birikmesine neden olur.

2.3.1. Metal-Polimer/Yalıtkan-Yarıiletken Yapılarda İdeal Durumdan Sapmalar

İdeal yapılarda, yalıtkanın kendi içerisinde ve yalıtkan ile yarıiletkenin birleşim yüzeyinde elektron ya da deşik yoktur. Gerçek bir MPY/MYY yapıda ise yalıtkan ve yarıiletken birleşim yüzeyi tamamen elektriksel olarak nötr olmamaktadır. Arayüzey yükleri, hareketli iyonik yükler, tuzak yükleri (iyonlaşmış tuzaklar) ve oksit yüklerinin (sabit yüzey yükleri) varlığı MPY/MYY yapının elektriksel parametrelerini etkileyen önemli faktörlerdir.

2.3.1.1. Hareketli İyonik Yükler

Metal yarıiletken ya da yalıtkan/polimer-yarıiletken arayüzeyinde genellikle hareketli iyonlar bulunur. Genellikle Na^+ , K^+ , Li^+ , H^+ , H_3O^+ iyonları yapılarda gözlenen hareketli iyonlardır [25]. Bunlardan H^+ ve H_3O^+ oda sıcaklığında geri kalan iyonlar ise $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'de hareket etmektedir. Bu hareketli iyonların varlığı MPY/MYY yapılarının hazırlanması esnasında kullanılan malzemelerdeki safsızlıklardan, kullanılan kimyasal maddelerin bu iyonları ihtiva etmesinden veya teknik temizlik esnasında çıplak elle temas etme gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Bu iyonlar uygulanan elektrik alan altında hareket

ederler ve yapının kararlılığını büyük ölçüde bozarlar [50], [51].

2.3.1.2. Tuzak Yükleri

Tuzak yükleri polimer-yarıiletken arayüzeyinde kimyasal yapı bozuklukları sebebiyle meydana gelmişlerdir. Arayüzey tabakasında oluşan elektron-deşik çiftlerinin bir kısmı oksit tabakasında tuzaklanabilir. MPY/MYY yapıların üretimi sırasında oluşan elektron ve deşik tuzakları saf gaz ortamında (N_2) tavlama ile kaldırılabilir. Oksit tabakasında tuzaklanan yükler, arayüzeye homojen olarak dağıldığından dolayı genellikle polimer/yalıtkan-yarıiletken arayüzeyine yerleşmezler. Tuzak yükleri kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiğine etki eder. Ters gerilimden ($V < 0$) doğru gerilime ($V > 0$) gidildikçe elde edilen kapasite değerleri ile doğru gerilimden ters gerilime gidildikçe elde edilen kapasite değerleri arasında farklılıklar gözlenir. Kapasitans-voltaj eğrisinin iki yönde ölçülen değerlerindeki kayma miktarı polimer/yalıtkan içindeki tuzakların miktarını verir.

2.3.1.3. Oksit Yükleri

Sabit oksit yükleri genellikle pozitifdir ve oksidasyona, tavlama şartlarına ve silisyumun yönelimine bağlıdır. Elektriksel ölçümlerde sabit oksit yükü, polimer/yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde tabaka halinde yüzeye yerleşmiş yükler gibi görülebilir. İdeal C-V karakteristiği ile karşılaştırılma yapılacak olursa, pozitif sabit oksit yükleri C-V karakteristiğinin uygulanan gerilimin negatif değerlerine doğru kaymasına, negatif sabit oksit yükleri ise C-V karakteristiğinin ileri pozitif uygulama gerilimine doğru kaymasına sebep olur.

2.3.1.4. Arayüzey Durumları

Arayüzey durumları, kısa bir zamanda yarıiletkenle yükleri değişebilen polimer/yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içindeki girilebilir enerji seviyeleridir [52]. Arayüzey durumları, alıcı (akseptör) veya verici (donör) tipte olabilirler ve iletim bandı ve değerlik bandıyla yük alışverişi yapabilirler. Bu alışveriş sonucu meydana gelen yük değişimi kapasitansa ek katkıda bulunur ve ideal MPY/MYY karakteristiğini değiştirir. İdeal durumda C-V karakteristikleri frekansa bağıllık göstermez. AC sinyal uygulandığında C-V karakteristiklerinde frekansa bağıllık vardır. Tükenim bölgesine bir AC sinyal uygulandığında, yakalama ve emisyon işlemleri meydana gelir ve çoğunluk taşıyıcı bandı oluşur [35]. Arayüzey durumlarında bulunan yüklerin yoğunluğu Q_{ss} , yarıiletkendeki katkı yoğunluğundan ve yalıtkanın kalınlığından etkilenmez. Arayüzey durumları, uzay yükü kapasitesine (C_{sc}) ek bir kapasite ve direnç etkisi oluştururlar.

Birim enerji başına arayüzey yükü olarak tanımlanan arayüzey durum yoğunluğu Denklem (2.6) ile verilir.

$$N_{ss} = \frac{dQ_{ss}}{dE} \quad (2.6)$$

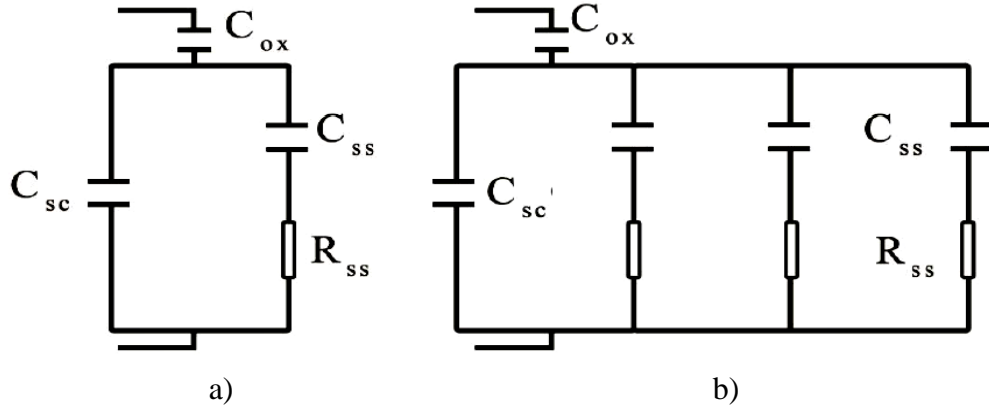
Denklem (2.6)'da E enerji olup, $E = q\psi_s$ ile verilir. E'nin türevi alınırsa $dE = qd\psi_s$ elde edilir. Denklem (2.6) tekrar düzenlenirse ara yüzen durum yoğunluğu (N_{ss}) aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$N_{ss} = \frac{dQ_{ss}}{dE} = \frac{dQ_{ss}}{d\psi_s} \frac{d\psi_s}{dE} = \frac{1}{q} \frac{dQ_{ss}}{d\psi_s} \quad (2.7)$$

Q_{ss} yük yoğunluğu olup, yarıiletkendeki katkı yoğunluğu ve arayüzey katmanının kalınlıklarından etkilenmez. Arayüzey kapasitesi ise Denklem (2.8) ile hesaplanır.

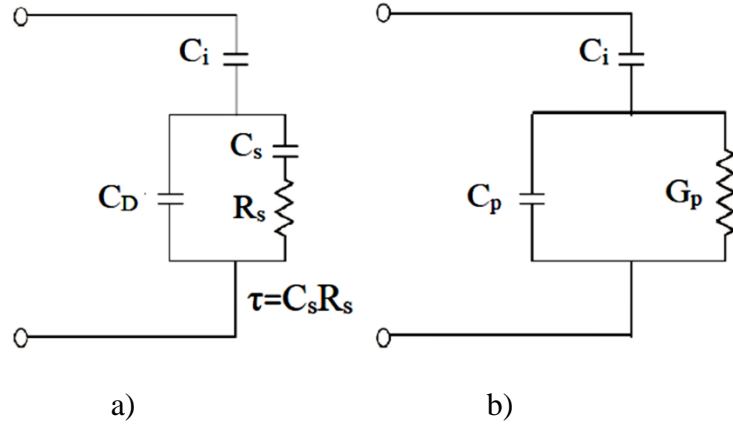
$$C_{ss} = \frac{dQ_{ss}}{dE} A_{ox} \quad (2.8)$$

Uzay yükü kapasitansına arayüzey durumlarının, paralel kapasitansın ve seri direncin etkisini gösteren temel eşdeğer devre Şekil 2.5'de gösterildiği gibidir [29].



Şekil 2.5. MPY/MYY yapıları için eşdeğer devre a) Tek enerji seviyesi b) Birden fazla enerji seviyeleri.

Yukarıda belirtildiği gibi, arayüzey tuzaklar ve oksit yüklerinin varlığından dolayı MPY/MYY yapıları ideal durumdan sapacaktır. Bir yarıiletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom, metal ile yarıiletken arayüzeyi yakınında yasak enerji bandında yerleşmiş çok sayıda izinli enerji seviyeleri oluşturur ve bunlar yapının performansını olumsuz yönde etkiler [29]. Arayüzey durumlarının etkisini içeren bir eşdeğer devre Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. MPY/MYY yapılarında arayüzey durumların a) seri dirençli b) seri dirençsiz eşdeğer devreleri.

Burada C_i ve C_D sırası ile arayüzey tabakasının (polimer/yalıtkan) ve yarıiletkenin tüketim tabakası kapasitanslarıdır. $C_s R_s$ çarpanı ise arayüzey tuzaklarının ömrü (τ) olarak tanımlanır ve bu arayüzey tuzaklarının davranışını etkiler. Burada R_s Şekil 2.6 a'daki devrenin seri direncidir.

Şekil 2.6 a'nın paralel kolu, Şekil 2.6 b'deki gibi frekans bağımlı kapasitans C_p ve ona paralel bağlı frekans bağımlı iletkenlik G_p olarak da gösterilebilir. Paralel koldaki admittans ifadesi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$Y = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = j\omega C_D + \frac{1}{R_s + \frac{1}{j\omega C_s}} = G_p + j\omega C_p \quad (2.9)$$

Burada iletkenlik G_p ve kapasitans C_p ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$G_p = \frac{1}{R_p} = \frac{C_s \omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.10)$$

$$C_p = C_D + \frac{C_s}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.11)$$

Toplam empedans Z ise Denklem (2.12)'deki gibidir.

$$Z = \frac{1}{j\omega C_i} + \frac{1}{G_p + j\omega C_p} = -j \left(\frac{1}{\omega C_i} + \frac{\omega C_p}{G_p^2 + \omega^2 C_p^2} \right) + \frac{G_p}{G_p^2 + \omega^2 C_p^2} \quad (2.12)$$

Eğer MPY/MYY yapı bir seri dirence sahipse, ölçülen iletkenlik (G_m) ve kapasitans (C_m) yapının gerçek değerleri değildir. Böyle bir durumda yapının gerçek iletkenlik ve kapasitans değerlerini elde etmek amacıyla Z , Z_1 ve Z_2 için empedans ifadesi Denklem (2.13), (2.14) ve (2.15)'deki gibi ifade edilebilir.

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_c + G_c} \quad (2.13)$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \quad (2.14)$$

$$Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} \quad (2.15)$$

Yukarıdaki denklemlerden düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve düzeltilmiş kondüktans (G_c) ifadeleri için çözümlene yapılabilir. Buna göre, $Z=Z_1+Z_2$ 'den $Z_1=Z-Z_2$ olur. Z empedansı için Denklem (2.16), (2.17) ve (2.18) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{Z_1} = j\omega C_c + G_c = \left(\frac{1}{j\omega C_m + G_m} - \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \right)^{-1} \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{(G_m G_T - \omega^2 C_m C_T) + j\omega(G_T C_m - C_T G_m)}{(G_T - G_m) + j(C_T - C_m)} \quad (2.17)$$

$$Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} = \frac{G_m - j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} - \frac{j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.18)$$

Denklem (2.17)'nin paydası eşleniği ile çarpılır, $G_T=1/R_s$ alınır ve C_T değeri ihmal edilirse düzeltilmiş iletkenlik için G_c elde edilmektedir. Denklem (2.17)'nin sanal kısmı ile C_c elde edilir.

$$G_c = \frac{(G_m - G_m^2 R_s) - \omega^2 C_m^2 R_s}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.19)$$

$$C_c = \frac{C_m}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.20)$$

Denklem (2.19) ve (2.20) daha sade bir şekilde ifade edilecek olursa; C_c ve G_c aşağıdaki formüller ile ifade edilir.

$$G_c = \frac{(G_m^2 - \omega^2 C_m^2) a}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.21)$$

$$C_c = \frac{(G_m^2 - \omega^2 C_m^2) C_m}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.22)$$

Denklem (2.21) ve Denklem (2.22)'de yer alan a ifadesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$a = G_m - (G_m^2 - \omega^2 C_m^2) R_s \quad (2.23)$$

Burada R_s , Denklem (2.18)'deki Z empedansının reel kısmı olup, yüksek frekansta ve kuvvetli yığılım bölgesinde C_m ve G_m değerlerinden hesaplanabilir.

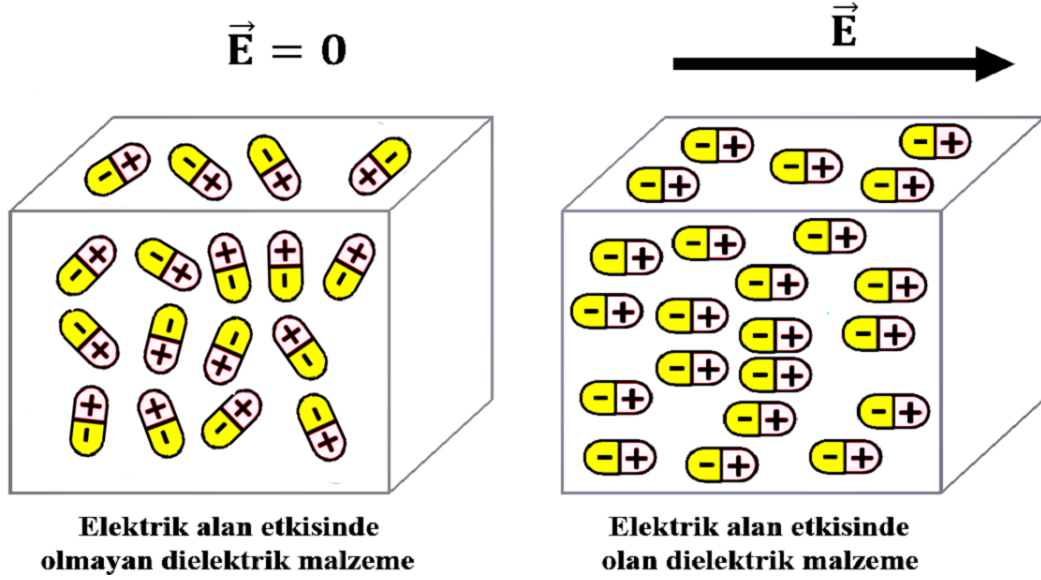
$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.24)$$

C_m ve G_m ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerleridir. $R_s=0$ durumunda $C_c=C_m$ ve $G_c=G_m$ olur.

2.3.2. Statik Elektrik Alanın Dielektrik Malzemeler Üzerine Etkisi

Dielektrik malzemeler ve iletken malzemeler arasındaki fark; dielektrik malzemenin, elektriksel iletkenliği sağlamak için harici bir elektrik alan etkisi altında hareket edebilen yeterli serbest taşıyıcıya sahip olmamasıdır. Dielektrik malzemelerde, tüm yükler atomlara veya moleküllere bağlıdır ve yüklerin hareketleri molekül içinde sınırlıdır. Dielektrik malzeme, Şekil 2.7'deki gibi harici bir elektrik alanına yerleştirildiğinde, pozitif ve negatif yükler elektrostatik kuvvet altında zıt yönlerde küçük yer değiştirmeler yaparak birbirinden uzaklaşır. Bir dielektrik malzeme harici bir elektrik alan altında iken içindeki pozitif ve negatif yükler polarize olur, bu da bir dipol momentinin elde edilmesi anlamına gelir. Ayrıca elektrik alan sayesinde oluşan elektrostatik kuvvet, pozitif ve negatif yüklerin yer değiştirmesinden dolayı sürekli bir dipol momentine sahip molekülleri yönlendirir. Bu tür moleküller, kendilerini alanda yönlendirmeye çalışan bir kuvvetin etkisi altındadır. Harici elektrik alan etkisi ortadan kaldırıldığında, bu yükler tekrar eski konumlarına geri döner ve net dipol momentini sıfırlanır.

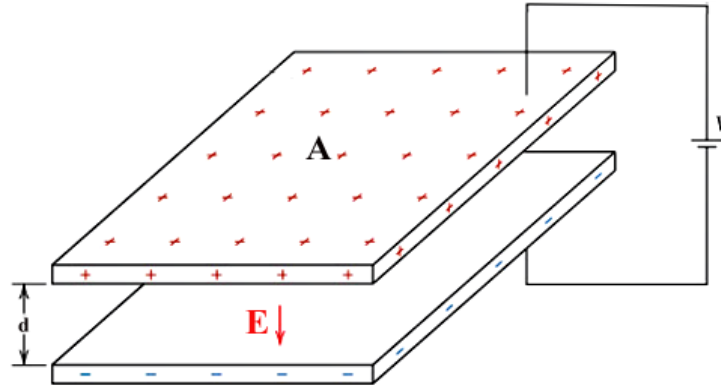
Sonuç olarak dipollerin net bir yönelimi dengeli bir polarizasyonu oluşturur. Bazı dielektrik malzemeler elektrik alanı içinde bu yük ayrılmasına sahiptir. Bu malzemeler net dipol momentine sahiptir. Dielektrik malzemelerin elektriksel özellikleri genellikle dielektrik sabitleri cinsinden ifade edilir. Çoğu malzemedeki, bu değer elektrik alanının büyüklüğünden bağımsızdır, ancak elektrik alanın frekansına bağlıdır.



Şekil 2.7. Elektrik alan etkisinde varken ve yokken dielektrik malzemedeki molekül dağılımlarının şematik gösterimi.

2.3.3. Dielektriksiz Paralel Plakalı Kondansatör

Yüzey alanı A ve plakalar arası genişliği d olan iki paralel plakalı kondansatör Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Dielektriksiz paralel plakalı kondansatör.

Kondansatör üstteki $+Q$ ve alttaki $-Q$ yüklerine sahip olan iki paralel plakadan oluşur. İki plaka arasında bir polimer/yalıtkan (dielektrik malzeme) olmazsa, yüklerin bir plakadan diğerine gidişi rahat olur. Bu plakalar bir voltaj kaynağının uçlarına bağlanırsa, kapasitör kolayca yüklenebilir. Plakalar arasındaki elektrik alan şiddeti aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.25)$$

Burada, ϵ_0 serbest uzayın (boşluğun veya vakumun) dielektrik geçirgenliğidir [53]. Bir diğer nicelik σ ise yüzey yükü yoğunluğudur. Birbirinden d uzaklığındaki plakalar arasındaki potansiyel fark şu şekilde yazılabilir.

$$V = E \cdot d \quad (2.26)$$

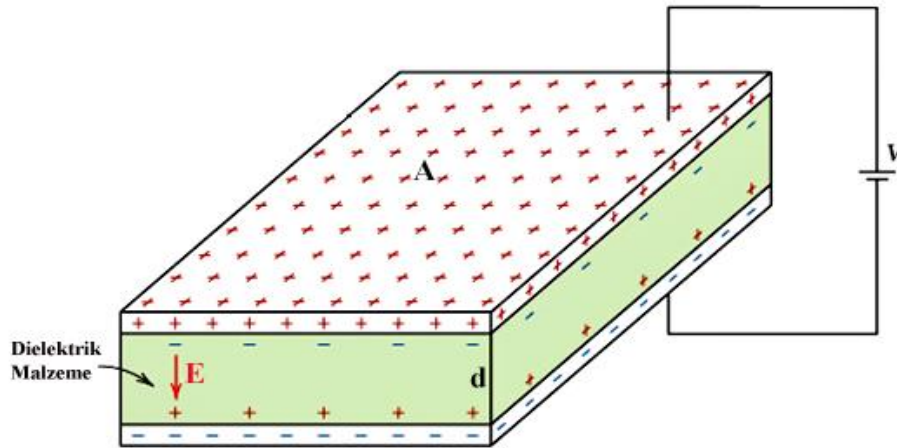
İki iletken plaka arasındaki toplam kapasite ifadesi Denklem (2.27)'deki şekli alır.

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.27)$$

Burada Q iki plakadaki yüklerin toplamıdır.

2.3.4. Dielektrikli Paralel Plakalı Kondansatör

Bir kondansatörün iki plakası arasındaki boşluk tamamen bir polimer/yalıtkan (dielektrik) malzeme ile doldurulursa, kondansatörün kapasitansı ϵ' çarpımı kadar artar. ϵ' , polimer /yalıtkanın dielektrik sabiti olarak adlandırılır. Arasında dielektrik malzeme bulunan paralel plakalı bir kondansatörün şematik gösterimi Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Dielektrikli paralel plakalı kondansatör.

Bir dielektrik madde yokluğunda, paralel plakalı kondansatörün kapasitesi C_0 , uçları arasındaki potansiyel fark V_0 ve elektrik alanı da E_0 olarak ifade edilir. İki plaka arasına bir dielektrik madde yerleştirilirse, o zaman potansiyel fark ve boş alandaki elektrik alanı $1/\epsilon'$ ile çarpılır ve yeniden yazılır.

$$V = \frac{V_0}{\epsilon'} \quad (2.28)$$

$$E = \frac{E_0}{\epsilon'} \quad (2.29)$$

Q yükü kondansatörde değişmediğinden, kapasite değeri ϵ' katsayısı kadar bir çarpan ile artar.

$$C = \frac{Q_0}{V} = \frac{\epsilon' Q_0}{V_0} = \epsilon' C_0 \quad (2.30)$$

Plakalar arasındaki alan dielektrik malzeme ile tam olarak doldurulduğunda, paralel plakalı kondansatörün kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C = \frac{\epsilon' \epsilon_0 A}{d} \quad (2.31)$$

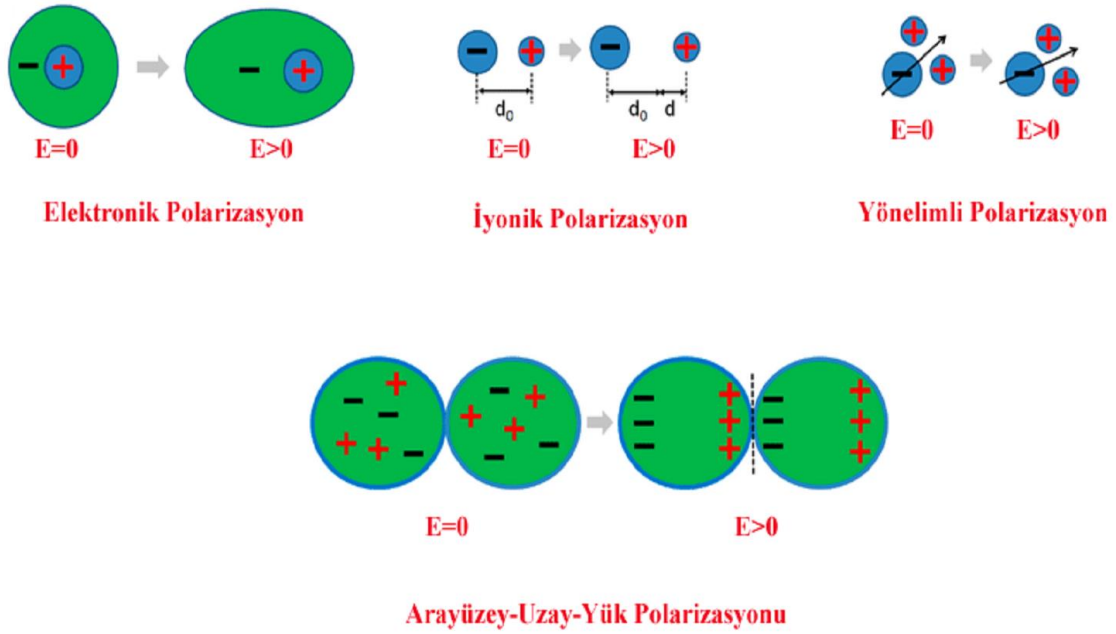
2.3.5. Dielektrik Polarizasyon

Yalıtkan maddeye bir elektrik alanı uygulandığında, elektronlar yani negatif yükler o alanın yönünün zıt yönünde hareket ederlerken, deşikler yani pozitif yükler ise bu alanla aynı yönde hareket ederler. Bu yüklerin ayrışması polarizasyon olarak adlandırılır.

Bir dielektrik malzeme, kondansatörün plakaları arasına yerleştirildiğinde potansiyel farktaki azalma, elektrik alan kuvvetinin azalmasına sebep olur ($E=V/d$). Elektrik alan şiddeti ($E=\sigma/\epsilon_0$) azaldıkça plakaların birim yüzeyindeki net yük veya etkin yük azalır. Bu sadece dielektrik malzemenin plakalara değen yüzlerindeki karşıt işaretli yükler birbirinden ayrışırsa mümkündür. Çünkü harici olarak uygulanan elektrik alandan dolayı dielektrik madde içinde de bir iç elektrik alan oluşur ki bu alan harici alana zıttır.

Bir dielektrik malzeme kondansatörün plakaları arasına yerleştirildiğinde, plakalara karşı dielektrik malzemenin yükü devreye girer. Bazı dielektrik malzemelerin molekülleri kalıcı bir dipol içerir. Polar denilen bu malzemelerde, pozitif ve negatif yüklerin kütle merkezleri örtüşmez, bu nedenle yükler çok az miktarda ayrılır. Bir dielektrik malzeme elektrik alanına yerleştirildiğinde, elektronlar çok küçük miktarda yer değiştirir. Böylece, atomlar çok küçük (atomik) dipoller haline gelir ve elektriksel olarak polarize olurlar. Böylece molekülün dipol momenti elektrik alanına paralel olacaktır. Elektrik alan ortamdaki kaldırıldığında, atomlar tekrar normal hallerine döner ve dipoller kaybolur.

Tipik olarak dört ana mekanizma tarafından tanımlanan çeşitli dielektrik polarizasyon mekanizmaları vardır [54], [55]. Şekil 2.10'da elektronik, iyonik, yönelimli ve arayüzey-uzay-yük polarizasyonlarının şematik gösterimi verilmektedir. Arayüzey polarizasyonu aynı zamanda uzay-yük polarizasyonu olarak da adlandırılır.



Şekil 2.10. Dielektrik polarizasyon mekanizmaları.

2.3.5.1. Elektronik Polarizasyon

Elektrik alanın uygulanmasıyla bütün atomlar ve iyonlarda ortaya çıkar. Tüm dielektrik malzemelerde diğer tür polarizasyonlar olmazsa dahi bu polarizasyon gözlenebilir. Nötr bir atom, merkezde pozitif çekirdek ve çekirdeği çevreleyen elektron bulutlarından oluşur. Elektrik alan uygulandığında atomdaki yük merkezleri birbirinden ayrışır ve indüklenmiş dipol momentler oluşur. Bu şekilde meydana gelen polarizasyon türüne, elektronik polarizasyon denir. Elektronik polarizasyon neredeyse frekanstan bağımsızdır ve bu nedenle tüm frekans aralığında devam eder [55]–[57]. Elektronun kütlesi oldukça küçük olduğundan uygulanan dış elektrik alanla kısa bir süre içinde oluşur (10^{-15} s). İyonik yapı olmayan dielektriklerde yalnızca elektronik polarizasyon oluşur ve polar olmayan bu maddelerin optik kırılma indislerinin karesi dielektrik sabitine eşittir ($n^2=\epsilon$). Buna Maxwell ilişkisi denmektedir.

2.3.5.2. İyonik Polarizasyon

Harici bir elektrik alanının altında birbirine yakın olan pozitif ve negatif iyonların yayılması ile meydana gelir. Farklı tipteki molekülleri oluşturan atomlar olduğu zaman, elektron bulutları güçlü bağları olan atomlara doğru dış merkezli olarak yer değiştirir. Böylece atomlar zıt kutuplu yükler edinirler ve bu net yüklerde etkili olan bir harici elektrik alan, atomların denge konumlarını değiştirmek için onları yönlendirir. Bu yüklü atom ya da atom gruplarının birbirlerine göre yer değiştirmesi ile indüklenmiş dipol

momentin ikinci bir tipi oluşur. Bu tür dipoller, atomik polarizasyon ile ilgilidir. Yüklü atomların veya atom gruplarının birbirlerine göre bu yer değiştirmesi ile ikinci bir tip etkileşmeli çift-kutup moment meydana gelecektir. Bu, dielektriğin iyonik polarizasyonudur. Elektronik polarizasyona göre daha uzun sürede oluşmaktadır (10^{-13} - 10^{-12} s). Bu polarizasyonun varlığında Maxwell ilişkisi geçerli değildir [55]–[58].

2.3.5.3. Yönelimli Polarizasyon

Dipolar polarizasyon olarak da bilinir ve genellikle polimer malzemeler ve dipolar seramikler gibi kalıcı dipollere sahip olan polar dielektrik malzemelerde meydana gelir. Harici bir elektrik alan yokken, sıfır dipol momentine ve polarizasyona sahip polar dielektrik malzemelerde bulunan dipoller rastgele yönlendirilir. Harici elektrik alan uygulandığında, dipoller sıfır olmayan net dipol momentine ve polarizasyona sahip olarak uygulanan elektrik alan yönünde yönelir. Yönelimli polarizasyon, dipolar bağların varlığına ve moleküler dönme direncine bağlı olarak mikrodalga frekansları sırasında doğru beslem altında gerçekleşir [56]–[58].

2.3.5.4. Arayüzey-Uzay-Yük Polarizasyonu

Makroskopik mesafelerde uygulanan harici elektrik alanda elektron veya iyonlar ile yer değiştiren yüklerin varlığı ile ilişkilidir. Bu yükler; kusurlarda, boşluklarda, kirliliklerde, tane veya faz sınırlarında ve elektrot arayüzeylerinde sıkışma eğilimi gösterirler ve bu bölgelerde toplanırlar. Birikmiş yükler iç elektrik alanını bozarak toplam elektrik alanı değiştirir. Özellikle, polimer-seramik nanokompozitler gibi heterojen veya çok fazlı sistemlerde arayüzey polarizasyonu önemlidir. Arayüzey-uzay-yük polarizasyonu, genellikle düşük frekanslarda gözlemlenir [55], [56].

Genel olarak bir dielektrik ortam birden fazla polarizasyon mekanizması sergiler. Böylece, molekül başına ortalama indüklenmiş dipol momentine, malzemenin dielektrik geçirgenliğini belirlemek için polarizasyon katkılarının toplamı olacaktır. Örneğin, arayüzey-uzay-yük polarizasyonu, PVA gibi yarı kristalli polimerlerin geçirgenliğinde önemli bir rol oynar. Bir başka örnek olarak, iyonik bağlı ve kalıcı dipollere sahip polar dielektrik malzeme, iyonik ve elektronik polarizasyonların yanı sıra yönelimli polarizasyona da sahip olabilir [57].

2.3.6. Dielektriklerde Elektrik Alan ve Dielektrik Kayıp

Dielektrik malzemedeki yüklerin uygulanan harici elektrik alana duyarlı olması, elektriksel özellikleri hakkında bilgi edinmeyi sağlayan önemli unsurdur. Bu yüzden dielektrik malzeme, basit elektriksel devre ile eşleştirilir. Dielektrik malzeme ile doldurulmuş bir paralel plakalı kondansatör yapısı, admittans spektroskopisi ile karakterize edilebilir. Admittans Y ile gösterilir. Buna göre,

$$Y = \frac{1}{Z} = G + j\omega C \quad (2.32)$$

Bu denklemde Y admittans, Z empedans, G iletkenlik, C , kapasitans ve ω açısal frekanstır. C , kapasitans ifadesi yerine yazılırsa,

$$Y = \frac{1}{Z} = G + j\omega(C_0\varepsilon^*) \quad (2.33)$$

denklemini elde edilir. ε^* dielektrik maddenin boşluğa göre sahip olduğu bağımlı dielektrik geçirgenlik sabitidir ve Denklem (2.34) ile ifade edilir.

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega) \quad (2.34)$$

Bu durumda, dielektrik sabiti Denklem (2.33)'de yerine yazılırsa, admittans aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$Y = G + j\omega(\varepsilon' - j\varepsilon'') \quad (2.35)$$

$$Y = (G + \omega\varepsilon''C_0) + j\omega C_0\varepsilon' \quad (2.36)$$

Bu ifadeden admittansın tersi olarak Z empedansı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Z = \frac{1}{j\omega C_0\varepsilon' + G} = \frac{1}{j\omega C_0\varepsilon' + G} \quad (2.37)$$

Denklem (2.34), Denklem (2.37)'de yerine yazılırsa dielektrik sabitinin sanal kısmı bulunabilir ve aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} = \frac{1}{\omega R C_0} \quad (2.38)$$

ε' parametresi Denklem (2.30)'da açıklanmıştır. İdeal dielektrik maddelere ac voltajı uygulandığında, tükenen enerji sıfırdır ve akım ile voltaj arasındaki faz açısı 90 derecedir. Genel olarak, ticari dielektrikler malzemelerde faz açısı 90 dereceden büyüktür. Tümler açısı $\delta=90-\phi$ dielektrik kayıp açısı ($\tan\delta$) olarak adlandırılır. Bu açı, her döngüde harcanan gücü hesaplayabilir. Buradan dielektrik kayıp ifadesi ise dielektrik sabitinin

sanal kısmının reel kısmına oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.39)$$

Burada, $\tan\delta$ kayıp faktörü ya da harcanan dielektrik olarak adlandırılır. Bir ac voltaj uygulandığında dielektrik malzemede kaybolan enerjinin değerini temsil eder.

Kompleks elektriksel modülüs (M^*) özellikle elektronik polarizasyon ve taşıyıcı nedeniyle dielektrik sabitinin çok yüksek olduğu durumlarda ve nispeten yüksek sıcaklıklarda, polimer bir malzemenin dielektrik davranışını analiz etmek için kullanılabilir. Kompleks elektriksel modülüs spektrumu, yapıdaki iyon enerjilerinin veya dizilimlerinin dağılımının ölçüsünü temsil eder. Aynı zamanda iyonik yüklerin elektriksel relaksasyon ve mikroskobik özelliklerini de açıklar. Bu nedenle, kompleks elektriksel modülüs spektrumu, malzemenin içindeki yüklerin dinamik özelliklerini yansıtmaktadır [59]. Kompleks elektriksel modülüs, kompleks dielektrik sabitinin matematiksel tersi ile tanımlanır.

$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} = jC_0Z^* \quad (2.40)$$

$$M^* = M' + jM'' \quad (2.41)$$

Buradan, Denklem (2.41) aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

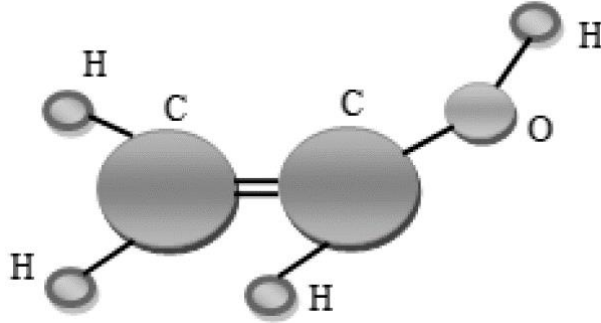
$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} = M' + jM'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + j \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (2.42)$$

Burada, M^* kompleks elektriksel modülüs olmak üzere, M' ve M'' elektriksel modülüsün reel ve sanal kısımlarıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

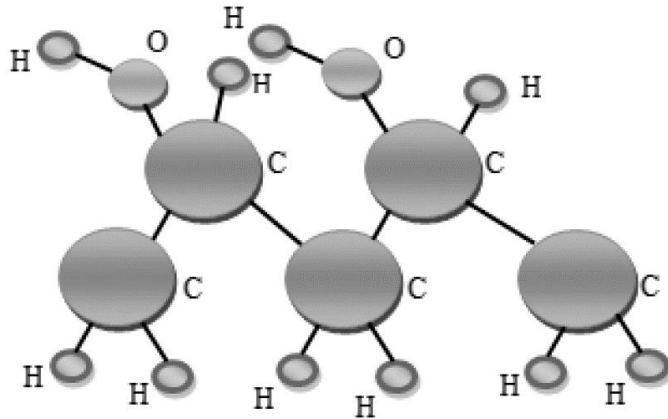
3.1. POLİVİNİL ALKOL POLİMERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Polivinil Alkol (PVA) çözünürlük olarak oda sıcaklığındaki suda iyi çözünen fakat etanolde az çözünen yapay bir polimerdir. Meydana getirmek için kullanılan önemli hammadde vinil alkol monomeridir. Vinil alkolün kimyasal yapısı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Vinil alkolün kimyasal yapısı.

PVA ticari polimeri, vinil alkol monomerinin polimerleşmesiyle elde edilir. Polivinil alkolün kimyasal yapısı Şekil 3.2’de verilmiştir. Vinil Alkolün polimerleşme özellikleri, polivinil alkolün polimerizasyon koşulları, hidroliz koşulları, kurutma ve öğütme işlemlerinden etkilenir.



Şekil 3.2. Polivinil alkolün kimyasal yapısı.

PVA'nın özellikleri, hazırlanma yöntemine, kristalliğe, molekül ağırlığına, nem oranı gibi parametrelerin yanısıra Çizelge 3.1'deki özelliklere bağlıdır.

Çizelge 3.1. Polivinil alkol'ün fiziksel özellikleri [60].

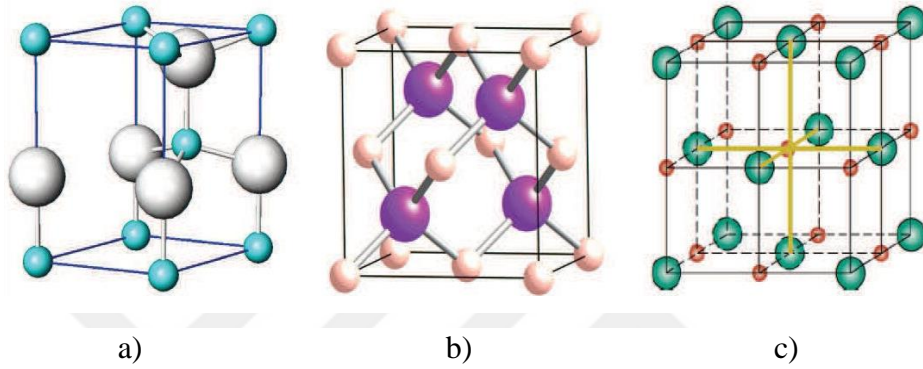
Özellik	Değeri	Açıklamalar
Görünüm		Beyaz veya fildişi beyazı granül tozu.
Özgül Ağırlığı	1.19-1.31 g/dm ³	
Erime Noktası (E _m)	200 °C	
Camsı Geçiş Sıcaklığı (T _g)	85 °C	
Elektriksel Direnci, Ω·cm	(3.1-3.8)×10 ⁷ Ω·cm	
Termal kararlılığı		100 °C'nin üzerinde kademeli renk değişimi oluşur; 150 °C'nin üzerinde hızla koyulaşır; 200 °C'nin üzerinde hızlı ayrışma meydana gelir.
Depolama kararlılığı (katı)		Neme karşı korunduğunda gerçekleşir.
Yanıcılık		Kağıda benzer şekilde yanar.
Güneş ışığındaki kararlılığı	Mükemmel	

PVA polimeri, hidrofilik oluşu, kimyasal kararlılığı ve iyi film olabilme özelliklerinden dolayı çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [61]. Çoğunlukla cilalar, reçineler, cerrahi iplikler, nanofiber üretimi ve gıda ile temas halinde olan gıda ambalaj malzemeleri gibi ticari ve tıbbi sektörlere uygulanabilmektedir [62]. PVA, kâğıt kaplama ve tekstil boyutlandırmada gibi uygulamalarda kullanılan doğal polimerler içerisinde biyobozunur özelliğe sahip olan bir polimer türüdür [63]. Ayrıca PVA, canlı dokulara zararsız bir polimer türüdür. İnsan dokusuna zararsız oluşu ve hücreye tutunarak proteinler tarafından soğurulması gibi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu için biyomedikal uygulamalarda membran yapımında kullanılmaktadır [64].

3.2. KADMIYUM SÜLFÜR KRİSTALLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Kadmiyum sülfür (CdS), suda çözünmeyen ancak seyreltik mineral asitlerde çözünen II-VI grubu bir yarıiletkenidir. CdS, 0.48 eV aktivasyon enerjisine ve 2.42 eV yasak enerji

aralığına sahiptir [65]. CdS; Wurtzit, kübik ve kaya-tuz fazı olmak üzere üç çeşit kristal yapıya sahip olabilir ve bu kristal yapı çeşitlerinin şematik gösterimi Şekil 3.3'de verilmiştir. Bunlar arasında Wurtzit üç fazın en kararlı olanıdır ve kolayca sentezlenebilir. Wurtzit fazı hem bulk hem de nanokristal CdS'de gözlenebilirken, kübik ve kaya tuzu fazları sadece nanokristal CdS'de gözlemlenebilir. Wurtzite formu, atomların dizilme sırasının ABABAB.... olduğu altıgen yapıya yakın örgüye sahipken, diğer iki yapı kübik yapıya yakın örgü olarak adlandırılan ABCABC.... gibi atomların dizilme sıralamasına sahiptir [66]–[69].



Şekil 3.3. CdS birim hücresi için a) Wurtzit b) Kübik c) Kaya tuzu formları.

CdS nanoparçacıkların kristal yapısı fiziksel, kimyasal ve yapısal özellikleri sebebiyle elektronik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek kararlılığı, kullanılabilirliği, hazırlanma ve işleme kolaylığı nedeniyle CdS nanomalzemeler yaşamın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır [70]. CdS nanoparçacıkları kuantum boyutu etkileri ve yüzey etkileri nedeniyle teknolojik uygulamalar olan optik, elektronik ve manyetik alanlarda kullanım alanına sahiptir. CdS nanoparçacıkları Fotoseller, Işık Yayan Diyotlar (LED), Lazerler, Alan-Etkili-Transistörler (FET'ler) üretmek için optoelektronik ve yarıiletken cihaz teknolojilerinde kullanılabilir [70]–[73]. Fotonik uygulamalarda foto iletkenleri ve elektriksel özellikleri sayesinde Sensörler, Fotodetektörler ve Optik Filtreler gibi cihazlarda tercih edilir. Fotovoltaik, hetero-eklem güneş hücreleri ve ince film güneş pilleri gibi uygulamalarda CdS nanoparçacıkları yüksek fotoduyarlılık gösterdiğinden dolayı yaygın olarak kullanılır [74]–[76].

İnce film veya toz formunda CdS'yi üretmek için; RF-magnetron püskürtme tekniği, hidrotermal sentez, elektron ışını vakumlu buharlaştırma tekniği (e-beam), elektrodepozisyon, fiziksel buhar biriktirme (PVD), spin kaplama tekniği, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve Bilyalı öğütme (ball-milling) gibi çeşitli teknikler kullanılır [70],

[77]–[83]. Bu tez çalışmasında CdS nanoparçacıkları Bilyalı öğütme metodu ile üretilmiştir.

3.3. BİLYALI ÖĞÜTME (BALL-MILLING) METODU

Bilyalı öğütme (ball milling) yöntemi, mekanik enerjiden yararlanarak tozların birbiri ile reaksiyona girmesi veya faz geçişleri sağlanması temeline dayanan bir yöntemdir. Yöntemin en önemli özelliği işlem sırasında plastik deformasyon ve kimyasal reaksiyonun eş zamanlı yürümesidir. Bilyalı öğütme yöntemi kullanarak geleneksel yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan yeni malzemeleri oda sıcaklığında üretmek mümkündür. Bilyalı öğütme yöntemi ile yarı metaller, katı karışımlar, hidritler ve organik bileşikler reaksiyona sokulabilmekte ve nano boyutta ürün elde edilebilmektedir. Bilyalı öğütme ile üretim yönteminde reaksiyonun oluşması için, kapalı bir pota içerisine yerleştirilen başlangıç malzemelerine, yüksek enerjili bilyelerle öğütme işlemi uygulanmaktadır. Uygulanan bu öğütme sırasında başlangıç karışımının tane boyutunda hızla küçülme ve fazların karışımı meydana gelmektedir. Zamanla daha homojen hale gelen karışımda reaksiyon, bilyelerin pota çeperi ve kendi aralarında çarpışmasından açığa çıkan enerji ile gerçekleşmektedir. Reaksiyon sonrası açığa çıkan ürünler değişik fazlarda, şekillerde ve boyutlarda olabilmektedir[84], [85].

Bilyalı öğütme yöntemi; indirgeme, oksitlendirme, yeniden şekillendirme ve faz değişimi gerçekleştirme özelliklerinden dolayı hidrojen depolama malzemeleri, gaz tutucular, gübre ve katalizör gibi birçok alana hitap eden ürünleri üretme imkânı sağlamaktadır.

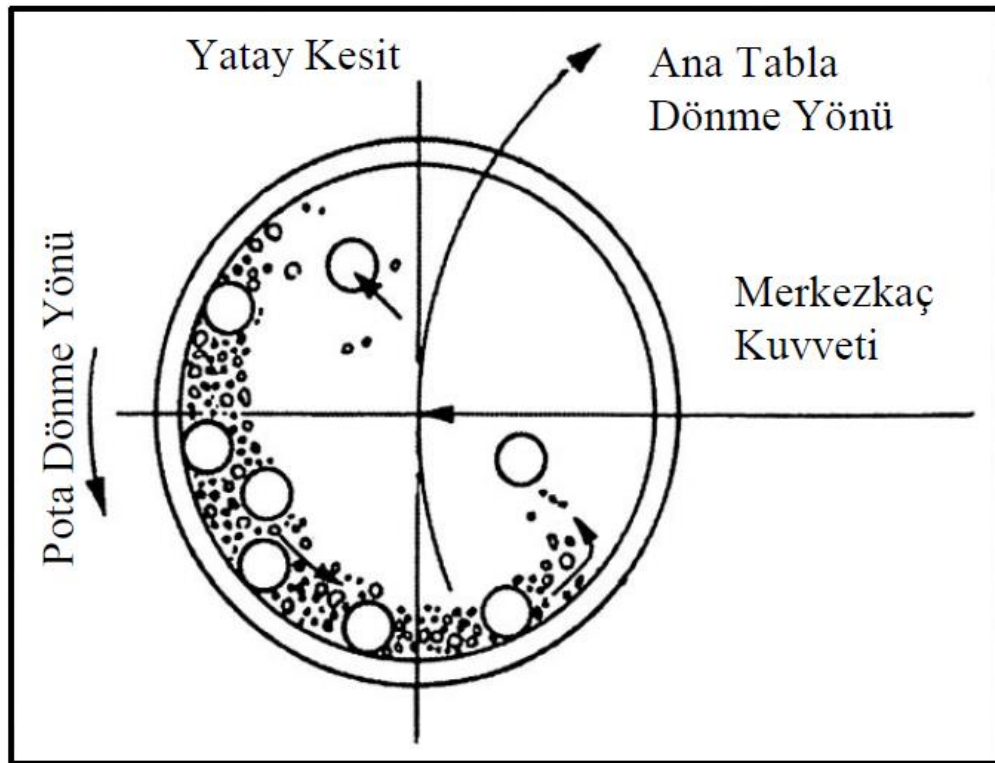
3.3.1. Malzeme Seçimi

Bilyalı öğütme ile üretim yönteminde genellikle ticari olarak satılan 1-200 μ tane boyutunda saf tozlar kullanılmaktadır. Ancak bu tane boyut aralığının üzerinde tozlar kullanılmak istendiğinde, reaksiyon gerçekleştirilecek pota, sınırlayıcı bir etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Pota hacminin izin verdiği ölçüde bilyelerle birlikte büyük tane boyutunda tozlar kullanılabilir. İşlemin gerçekleşmesi ile büyük tane boyutları zamanla öğütülmektedir. İşlem için seçilen tozlar saf metallerin yanısıra temel alaşımlar, ön alaşımlandırılmış malzemeler veya refrakter bileşikler de olabilmektedir [84], [85]. Katı-katı reaksiyonlarda en basit yol elementleri teker teker başlayarak üretim gerçekleştirmektir. Bu işlem için üretilecek bileşiğin stokiometrik oranında hazırlanan karışımına yüksek enerjili Bilyalı öğütme yapmak gerekmektedir. Yüksek saflıkta ürün

üretilmesine olanak sağlayan bu yol, başlangıç malzemelerinin maliyetli olmasından dolayı çok tercih edilmemektedir.

3.3.2. Öğütücü Tipleri

Bilyalı öğütme yönteminde, farklı hacimlerde öğütme imkânı olmasının yanı sıra farklı çalışma prensiplerine sahip birçok öğütücü kullanmak da mümkün olmaktadır. Bu cihazları birbirlerinden ayıran en temel özellik, bilyelerin çarpışması için tasarlanan hareket rotasıdır. Bunun yanı sıra isteğe bağlı olarak gaz besleme, soğutma/ısıtma sağlama gibi ekstra özelliklere sahip farklı öğütücüler tasarlamakda mümkündür. En yaygın kullanıma sahip öğütücü tipi ise uydu tip öğütücüdür. Bu öğütücülerde aynı anda 4 adet 500 ml hacimli potayı kullanmak mümkündür. İşlem sırasında potalar öğütücünün ana tablası üzerine bağlanmaktadır ve ana tabla ile potalar birbirinin tersi istikametinde dairesel olarak dönmektedir. Bu dönme hareketi ile bilyelerin pota çeperine güçlü bir şekilde çarpması sağlanmakta ve böylece yüksek enerji açığa çıkmaktadır [84], [85]. Bu tez çalışmasında uydu tip öğütücü kullanılmış olup uydu tip öğütücünün çalışma prensibi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Uydu tip öğütücünün çalışma prensibi [91]-[93].

3.3.3. Bilyalı Öğütmede Üretimi Etkileyen Parametreler

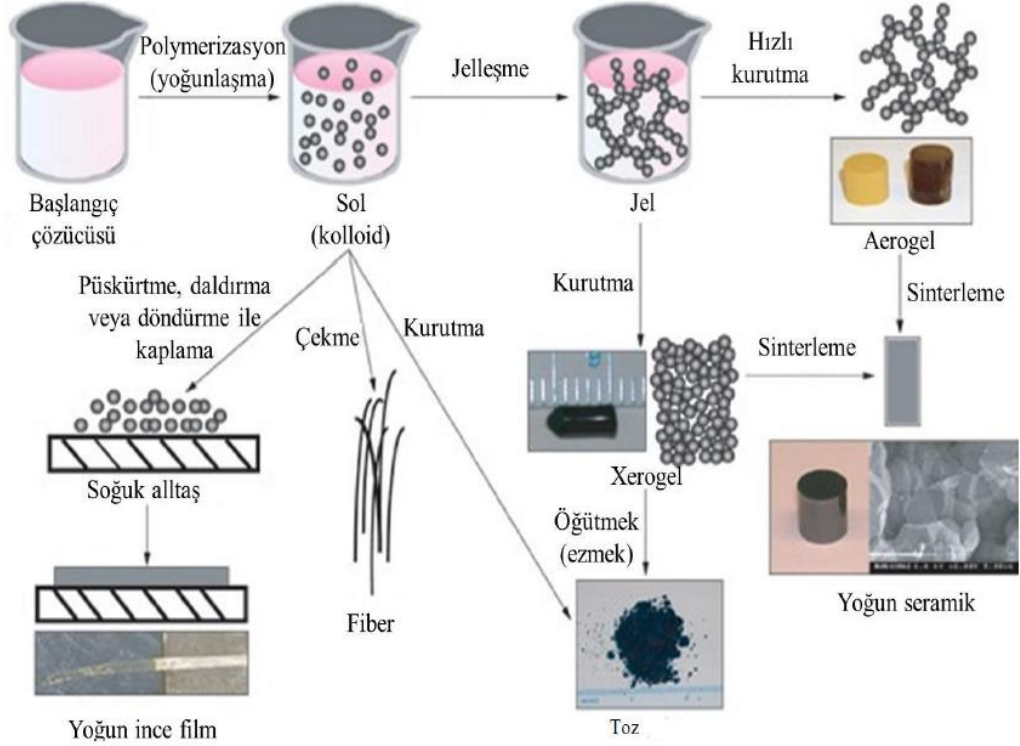
Bilyalı öğütme yönteminde istenilen fazda veya mikro/nano yapıda ürün üretebilmek için üretimi etkileyen birçok parametrenin optimize edilmesi gerekmektedir. Ürün üzerinde önemli etkisi olan bu etken parametreleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Öğütme tipi,
- Pota hacmi,
- Öğütme hızı,
- Başlangıç malzemesinin tipi, boyutu ve tane boyut dağılımı,
- Bilye/toz oranı,
- Pota doluluk oranı,
- İşlem kontrol alanı,
- İşlem sıcaklığı,
- Reaksiyon atmosferi.

3.4. SOL-JEL METODU

Sol, nano boyutta katı partiküllerin sıvı süspansiyonu içindeki haline verilen isimdir. Moleküller arası Van der Wals ve elektriksel itme kuvvetlerinin etkisi yerçekimi kuvvetine göre daha fazla olduğu için solü meydana getiren malzemeler dibe çökmez. Molekül çözelti içinde genişleyerek büyük bir boyuta ulaştığında bu maddeye jel denir. Sol-jel yönteminin birçok avantajı vardır. İnce film elde etmede oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemle kaplanarak elde edilmiş filmler homojen kalınlıktadır ve düşük ısı işlem sıcaklığı ile elde edilebilmektedir. Farklı üretim işlemlerini uygulamak mümkündür ve hazırlanan ortamla etkileşimde bulunmaz. Farklı geometrik şekile sahip malzemeler üzerine sol-jel metodu ile kaplama yapılabilmektedir. Ancak bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; elde edilen filmlerde çözelti maddesi kalması, işlem sırasında malzeme kaybının fazla olması, işlem süresinin uzun olması, kimyasalların sağlığa zarar vermesi olarak sıralanabilir [86]. Sol-jel yöntemi; kimyasal sensörler [87], membranlar [88], fiberler [73], optik sensörler [89], fotokromik uygulamalar [90] ve katı hal elektrokimyasal cihazlar [91] için yeni materyallerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

Şekil 3.5’de Sol-jel yönteminin aşamaları gösterilmiştir. Sol-jel işleminde, hazırlanan çözelti yüzey üzerine daldırma, püskürtme ve döndürme teknikleriyle kaplanabilmektedir.



Şekil 3.5. Sol-jel kaplama metodu aşamaları [92].

- (a) Döndürme ile kaplama yöntemi: Sert bir yüzey üzerine ince film üretmek için kullanılan bir işlemdir. Kaplama işlemi gerçekleştirilirken ilk olarak yüzey üzerine bir miktar çözelti dökülür. Döndürme işleminde çözelti merkezciil kuvvet nedeni ile taşıyıcı yüzeyin dışına doğru akar. Döndürme sonunda, fazla olan sıvı taşıyıcı yüzeyinden taşar. Film kalınlığının azalması ile yüzeyden taşan sıvının miktarında azalma olur. Bu olayın nedeni filmin incelmeye ile akışkanlığa karşı olan direncin büyümesi olarak açıklanabilir. İnce film oluşunun gerçekleşmesi için son olarak buharlaşma safhası gerçekleştirilir.
- (b) Daldırma ile kaplama yöntemi: Genellikle saydam tabakalar üretmek için kullanılır. Hazırlanan çözelti içirisine kullanılan altlık malzemesi belirli bir hızla daldırılır ve yine aynı hızla beklenmeden geri çekilir. Altlık malzemenin çözelti ile temasa giren kısımları kaplanmış olur. Daldırma sonunda, fazla olan çözelti damlaları alt malzemenin kenarlarından süzülür ve yüzeyden düşmeyen çözelti

damlacıkları damlacıkları buharlaşarak uçar. Tavlama işleminden sonucunda film haline gelmektedir.

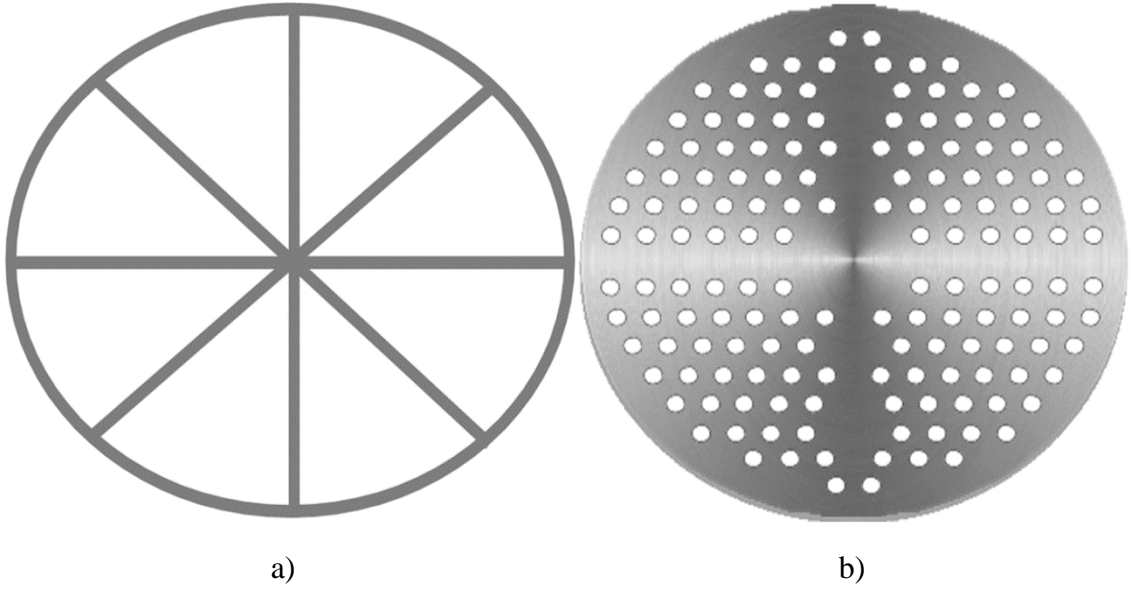
- (c) Püskürtme ile kaplama yöntemi: İlk olarak güneş pili uygulamalarında kullanılmak üzere CdS ince filmlerin üretiminde kullanılmıştır. Püskürtme yönteminde hazırlanan sulu çözeltilerin karıştırılır ve sıcak taban üzerine hava ya da azot gazı yardımı ile atomize edilerek püskürtülür.

Bu tez çalışmasında, p-Si alttaş üzerine CdS-PVA çözeltisi döndürme ile kaplama yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

3.5. Al/(CdS-PVA)/p-Si YAPILARININ ÜRETİM SÜRECİ

Kadmiyum sülfür (CdS) nanoparçacığı sentezlemek için kadmiyum asetat ($Cd(CH_3COO)_2$), polivinil alkol (PVA) ve sodyum sülfür ($Na_2S.9H_2O$) kimyasalları kullanıldı. 0,2 M $Cd(CH_3COO)_2$ solüsyonu 0,87g ve 20 ml'lik ultra saf suda, başka bir kapta ise 0,48g $Na_2S.9H_2O$ solüsyonu 20ml ultra saf su (0,1 M) içerisinde çözündürülerek hazırlandı. Kadmiyum asetat çözeltisi daha sonra sodyum sülfür çözeltisine eklendi, mikrodalgaya yerleştirildi ve çözelti, mikrodalga ışınlama ile 5 dakika (600 W) ısıtıldı. Çözeltiye bir PVA konsantrasyonu (%5) ilave edildi ve ilavenin etkisi karakterize edildi. Hazırlanan süspansiyon, çökelti elde etmek için çöktürme kabına (Santrifüj) konuldu ve reaksiyona girmeyen reaktifleri çıkarmak için ultra saf su ve etanol kullanılarak dört kez yıkandı ve 80 °C'de bir fırında 3 saat kurutuldu. Bu tez çalışmasında, Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları, 5.08 cm çapında, (100) oryantasyon ve ≈ 350 μm kalınlığında bor katkılı (p-Si) alttaş üzerine imal edilmiştir. Silikon alttaş, yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakasını çıkarmak için 40 saniye amonyum peroksit içine daldırıldı ve daha sonra, asit çözeltileri ile Sülfürik Asit (H_2SO_4), Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ve su (H_2O) karışımı (3:1:1) ile 60 saniye boyunca ve daha sonra Hidroklorik Asit (HCl) ve su (H_2O) karışımı (1:1) ile de 60 saniye daha sırayla kazındı. Temizlenmiş Si alttaş, 18 M Ω dirençli ultra saf su içinde durulandı ve nitrojen gazı ile (N_2) kurutuldu.

Omik kontak oluşturmak için p tipi Si alttaşın mat yüzeyine yüksek saflıkta Al (% 99.999) fiziksel metal buharlaştırma sistemi (PVD) ile yaklaşık 10^{-6} torr basınçta kaplandı. Omik kontak için kaplanan Al metalinin kalınlığı 1500 Å olarak ölçülmüştür. Omik kontak maskesi Şekil 3.6 a'da gösterilmektedir.

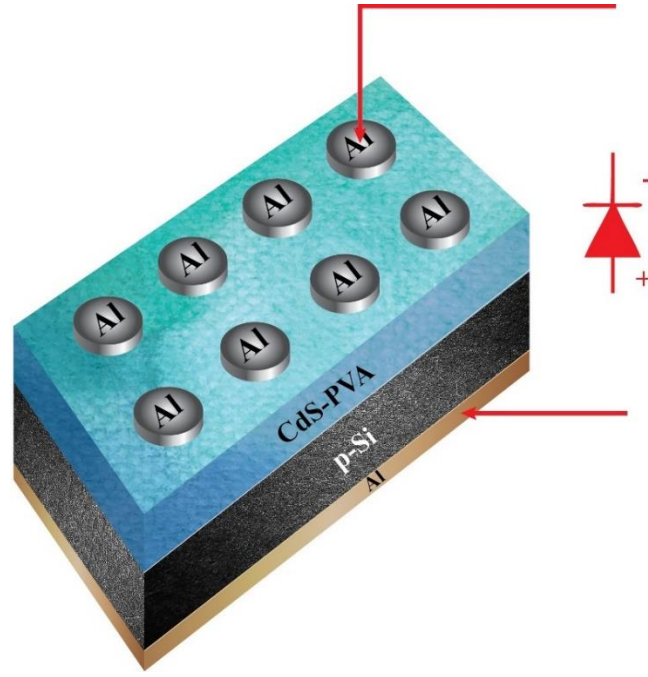


Şekil 3.6. a) Omik kontak maskesi b) Doğrultucu kontak maskesi.

Düşük dirençli omik kontak elde edebilmek için Al kaplanmış p-tipi Si alttaş azot atmosferinde 5 dakika boyunca $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavlansmıştır. Al/(CdS-PVA)/p-Si (MPY) yapılarının üretilebilmeleri için, CdS-PVA arayüz tabakası, sol-jel yöntemi kullanılarak p tipi Si alttaşın ön yüzeyine (parlak yüzey) büyütülmüştür. Arayüzey tabakası kalınlığı (d_i), kalınlık monitöründe 6000 Å olarak belirlenmiştir.

CdS-PVA arayüz malzemelerinin oluşturulmasından sonra, yaklaşık olarak 1500 Å kalınlığında ve yaklaşık 1 mm ($\text{alan}=7,85\times 10^{-3}\text{cm}^2$) çapındaki yüksek saflıkta Al doğrultucu kontakları fiziksel metal buharlaştırma sistemi ile p-tipi Si alttaşın ön tarafına termal olarak buharlaştırılmıştır. Doğrultucu kontak maskesi Şekil 3.6 b'de gösterilmektedir.

Doğrultucu kontak oluşturma işleminden sonra, Al/(CdS-PVA)/p-Si (MPY) yapıların üretim işlemleri tamamlanmıştır. Yapının şematik gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir. Metal kalınlık tabakası ve kaplama oranları, kuvars kristal kalınlık monitörü yardımıyla izlenmiştir. Son olarak, bu yapıların elektriksel ölçümünün yapılabilmesi için, gümüş pasta yardımıyla bir bakır (Cu) tutucu üzerine monte edilmiş ve gümüş kaplı küçük bakır teller kullanılarak üst elektrotlara elektriksel ölçümlerin yapılabilmesi için yapıştırılmıştır.



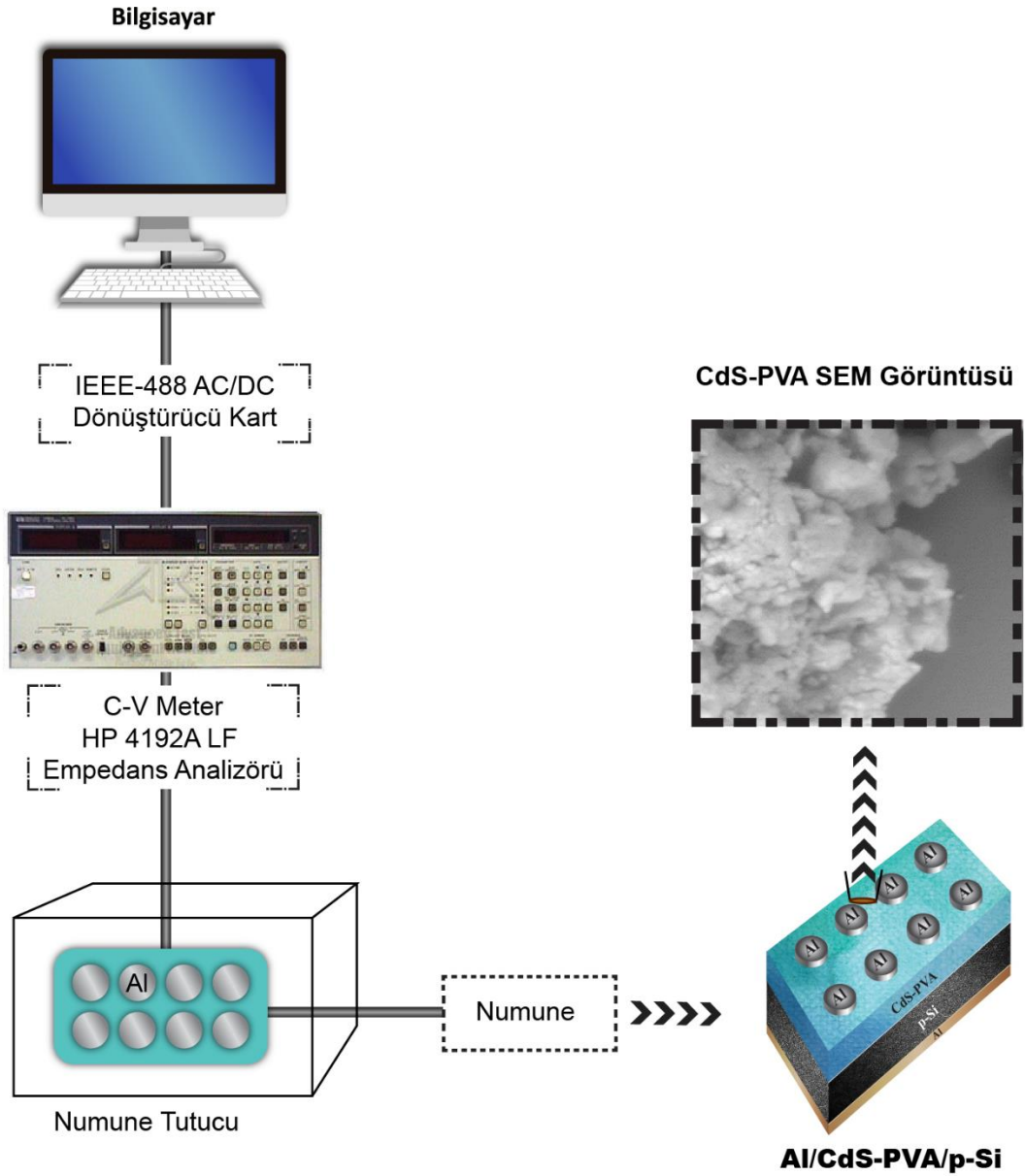
Şekil 3.7. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların şematik gösterimi.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları oluşturmak için kullanılan malzemeler ve ölçüm cihazları aşağıda belirtilmiştir.

- Ultra saf su kaynağı (18 MΩ.cm),
- Bazı kimyasal asit ve çözücüler (H₂SO₄, HCl),
- Bazı yarıiletken alttaşlar (p tipi Si),
- Bazı saf metallere (Al),
- Azot gazı (N₂) atmosferi,
- Bazı kimyasal malzemeler (Cd(CH₃COO)₂, Na₂S.9H₂O),
- Bazı polimer malzemeler (PVA),
- JANES-475 Kriyostatta IEEE-488 AC/DC dönüştürücü kartı,
- Gümüş pasta,
- Bakır (Cu) tutucu,
- Gümüş kaplı küçük Cu-teller,
- Ultrasonik banyo,
- Keithley 2400 akım-voltaj kaynağı,
- Janis VPF-475 kriyostatı (77-475 K),
- Lakeshore sıcaklık kontrol ünitesi,
- HP 4192A LF Empedans Analizörü (5Hz-13 MHz).

3.6. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ

Elektrik ve dielektrik parametreler, Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Starlab Laboratuvarında yapılan ölçümlerle belirlendi. Kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V) ölçümlerinde Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü (5 Hz-13 MHz) kullanıldı. Tüm bu ölçümler bilgisayara takılan bir IEEE-488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların C-V ve G/ω -V ölçümleri ± 1.0 V gerilim aralığı ve 5 kHz-5 MHz geniş frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. C-V ve G/ω -V ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 3.8’de şematik olarak gösterilmiştir.



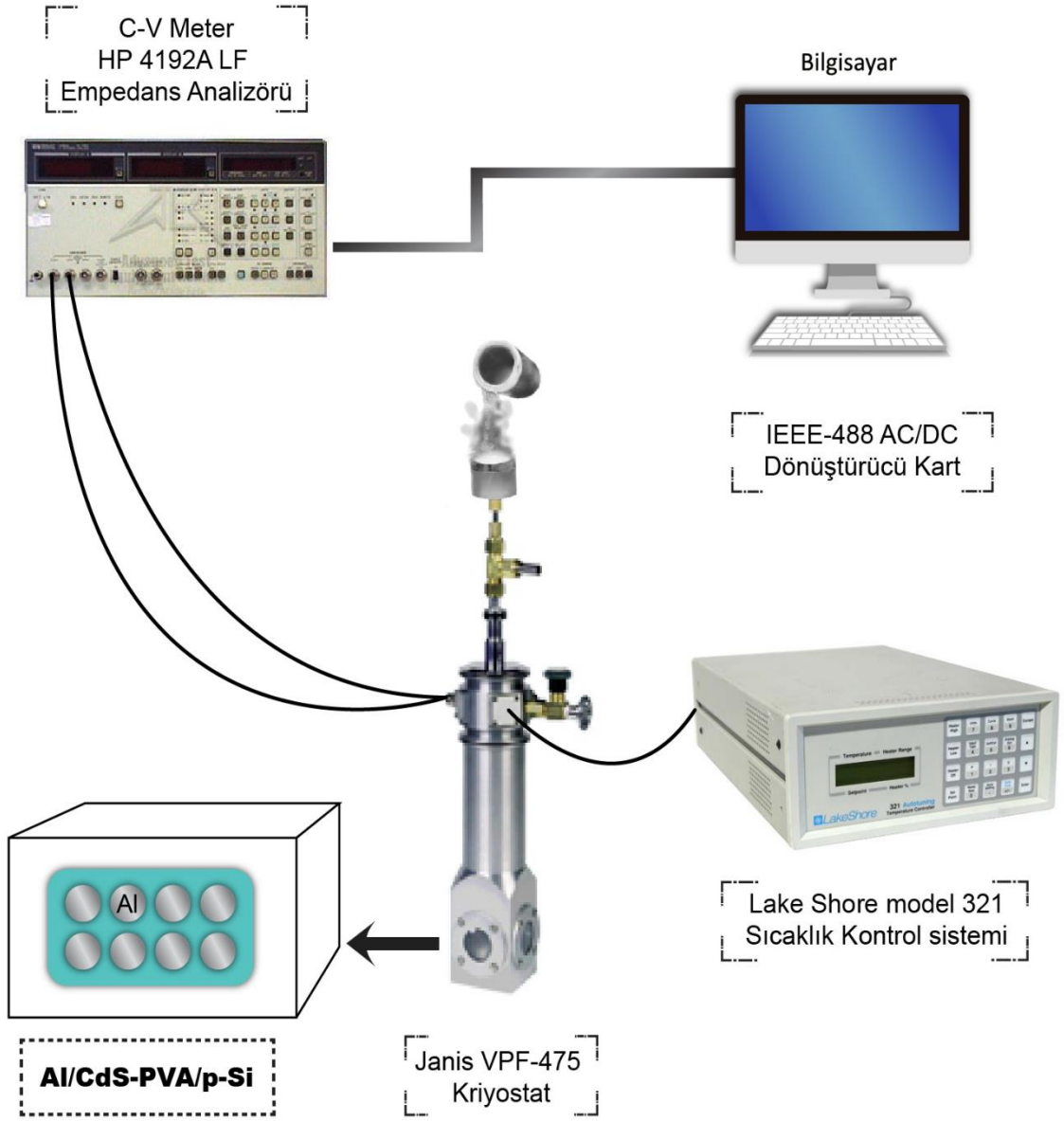
Şekil 3.8. HP 4192A LF empedans analizörü ölçüm sistemi.

Akım-voltaj (I-V) ölçümlerini gerçekleştirmek için bir Keithley 2400 akım-voltaj kaynağı kullanıldı. Gerilim ölçüm aralığı $\pm 1 \mu\text{V}$ 'den $\pm 200 \text{ V}$ 'a kadar ve akım ölçüm aralığı $\pm 10 \text{ pA}$ 'dan $\pm 1 \text{ A}$ ' ya kadar çıkabilmektedir. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapının I-V ölçümleri oda sıcaklığında $\pm 4.0 \text{ V}$ aralığında gerçekleştirilmiştir. I-V ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 3.9'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı ölçüm sistemi.

C-V-T ve G/ ω -V-T ölçümleri, sabit frekans uygulamak için HP 4192A LF empedans analizörü ve gürültü ya da dış etkilerden azaltmak için Lakeshore kontrollü JANES-475 Kriyostat (yaklaşık 10^{-3} Torr vakum altında) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri 500 kHz'de -3.0 V ile +5.0 V gerilim ve 230 K ile 340 K sıcaklık aralığında tamamlanmıştır. Şekil 3.10'da sıcaklık ölçümü sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.

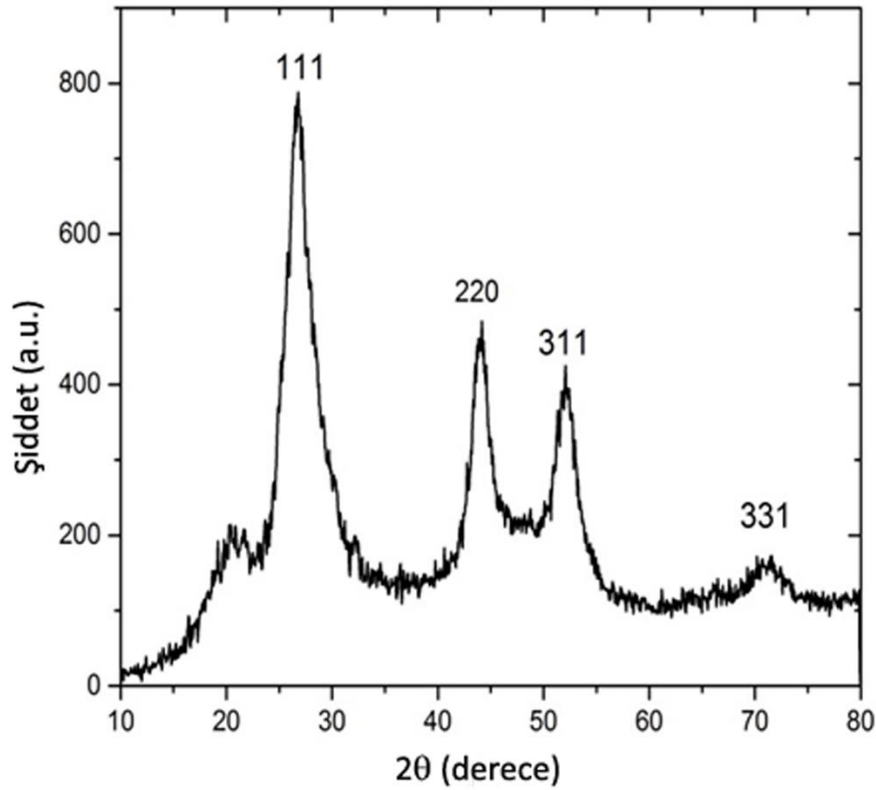


Şekil 3.10. Sıcaklığa bağlı deneysel C-V ölçüm sisteminin şematik görünümü.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLER

Bilyalı Öğütme yöntemiyle hazırlanan CdS nanoparçacıklarının XRD grafikleri, Şekil 4.1’de gösterilmiştir. XRD grafiği, hazırlanan CdS’nin kristal yapıda olduğunu göstermektedir. Altıgen Wurtzite yapısı, standart Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi (JCPDS) dosya verileriyle 2θ değerindeki uyumluluktan anlaşılmaktadır. XRD karakterizasyonu, CdS’de nanoparçacık oluşumunu belirleyen pikler ile net bir genişleme göstermektedir.



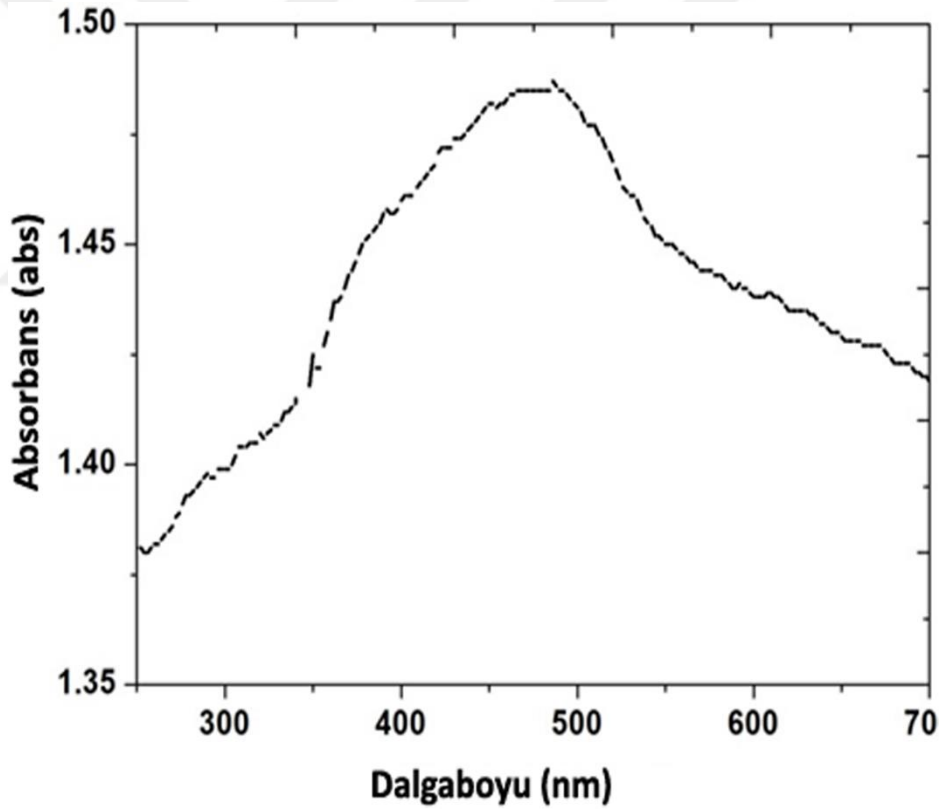
Şekil 4.1. CdS nanoparçacıklarının XRD karakteristiği [28].

CdS nanoparçacıklarının ortalama kristal boyutu, Debye-Scherrer denkleminde yararlanılarak Denklem (4.1)’de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$D = 0.94\lambda / \beta \cos \theta \quad (4.1)$$

Burada, D ortalama kristal boyutu, λ X-ışını dalga boyu, β pik noktasının yarı maksimumundaki tam genişliği ve θ pik değerine karşılık gelen kırılma açısıdır [93]. Bilyalı Öğütme yöntemiyle hazırlanan CdS-PVA nanoparçacıklarının, kristal boyutu yaklaşık olarak 30 nm'dir.

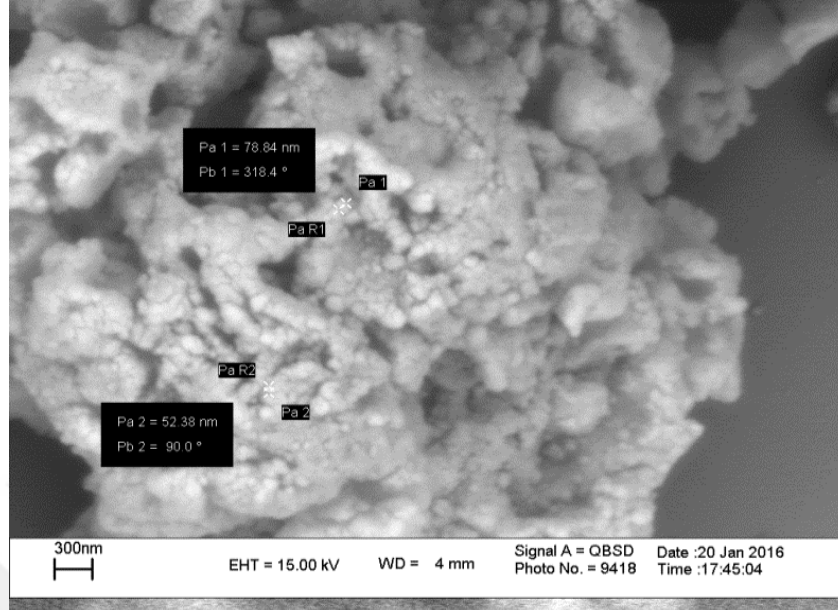
Hazırlanan CdS-PVA nanoparçacıklarının UV-spektrumu (görünür bölge) Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Absorpsiyon kenarını tahmin etmek veya hazırlanan nanoparçacıklarının bant boşluğunu incelemek için, Şekil 4.2'de gösterilen spektrum enerji ölçeğine (elektronvolt) dönüştürülmüştür. Bu, nanoparçacıkların absorpsiyon spektrumundaki maksimum değişim hızını verir. Bu şekilde elde edilen CdS-PVA nanoparçacıklarının bant aralığı, yaklaşık 477 nm dalga boyuna karşılık gelen 2.60 eV'dir. Elde edilen bu bant aralığı değeri; bulk-CdS bant aralığı için bilenen 2.42 eV değeri ile karşılaştırılırsa, yaklaşık 0.18 eV'lik bir kayma gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2. CdS-PVA nanoparçacıklarının UV-spektrumu [34].

Hazırlanan CdS-PVA nanoparçacıklarının yüzey morfolojisinin incelenebilmesi için SEM görüntüsü alınmıştır ve yapının SEM görüntüsü Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde, hazırlanan CdS örneklerinin küre şeklinde olduğu ve parçacık şekillerinin düzenli olduğu açıkça görülmektedir. Kürelerin homojen ve benzer boyutta

olduğu ve iyi kristalite özelliği gösteren CdS kürelerinin kaliteli bir büyüme ortamına sahip olduğu da anlaşılmaktadır.



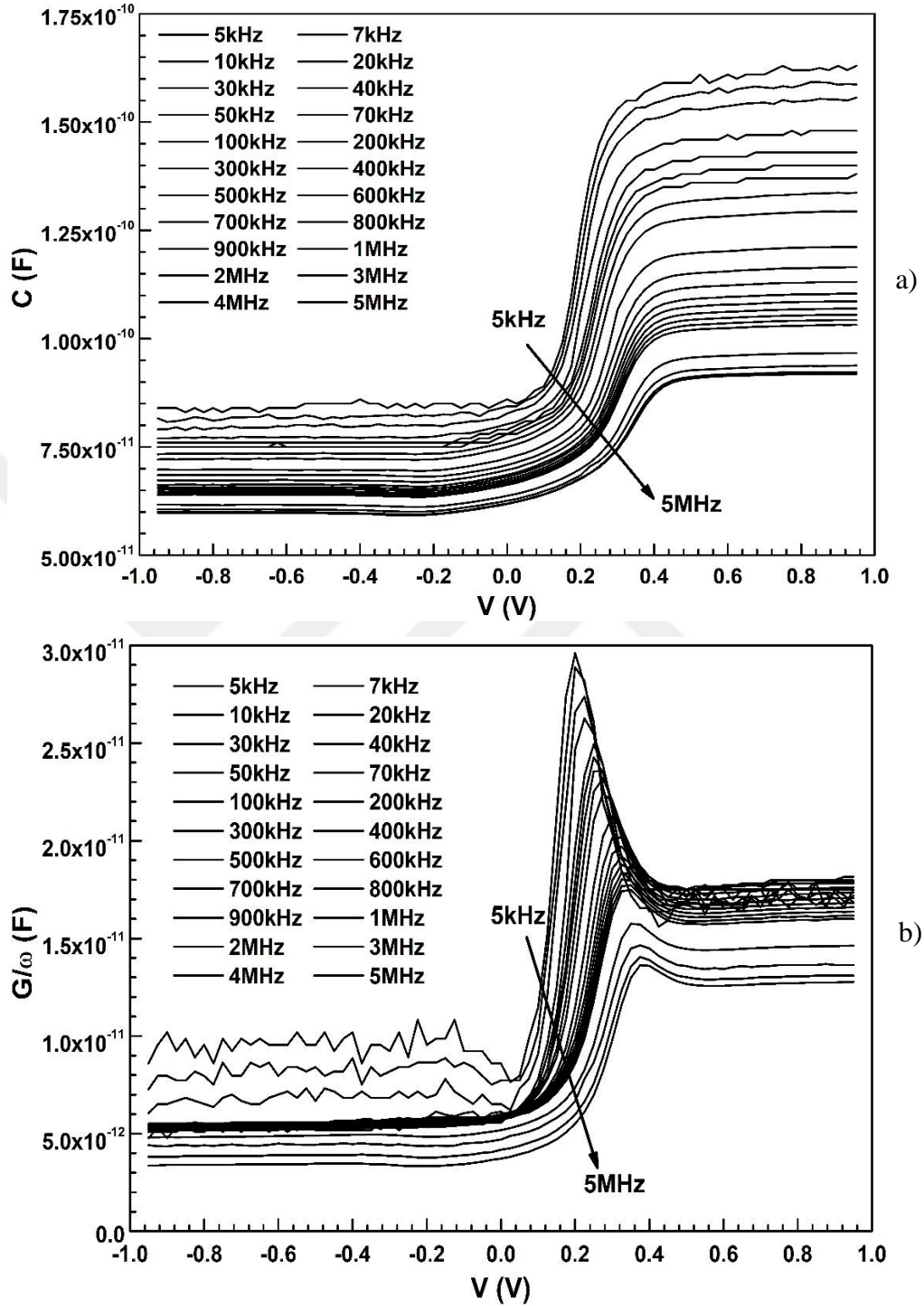
Şekil 4.3. CdS nanoparçacıklarının SEM görüntüsü [34].

4.2. ODA SICAKLIĞINDA C-V, G/ω-V VE I-V ÖLÇÜMLERİ

4.2.1. Kapasitans ve İletkenlik Özellikleri

Oda sıcaklığında 5 kHz-5 MHz frekans aralığında ölçülen Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların C-V ve G/ω-V karakteristikleri Şekil 4.4 a ve b'de gösterilmektedir. Şekil 4.4 a incelendiğinde, C-V grafiği; ±1.0 V voltaj aralığında her frekans için terslenim (-1.0 V ile 0.0 V arası), tükenim (0.0 V ile 0.4 V arası) ve yığılım (0.4 V ile 1.0 V arası) bölgelerine sahiptir. C değerleri voltajın artması ile artarken, frekansın artması ile azalmaktadır. G/ω-V değerleri artan frekans ile azalmakta ve (CdS-PVA)/p-Si arayüzeyinde lokalize olan tuzak yükleri dağılımı nedeniyle tükenim bölgesinde pik vermektedir [94]–[97]. G/ω-V grafiğindeki piklerin genlikleri, frekansın artması ile azalmakta ve pik pozisyonları, pozitif gerilim bölgesine doğru kuvvetli bir şekilde kaymaktadır. Bu karakteristik davranışın sebebi, CdS-PVA arayüzeyine ve seri dirençlerin varlığına atfedilebilir [31]. Arayüzey yükleri düşük frekanslarda ac sinyali kolayca takip edebilmekte ve ölçülen C ve G/ω değerlerine ek katkı sağlayabilmektedir. Bu sebeple düşük frekanslarda daha yüksek C ve G/ω değerleri gözlenmektedir. Yüksek C ve G/ω değerleri yüzey durumlarındaki ve tuzaklardaki taşıyıcı yüklerine ve bu

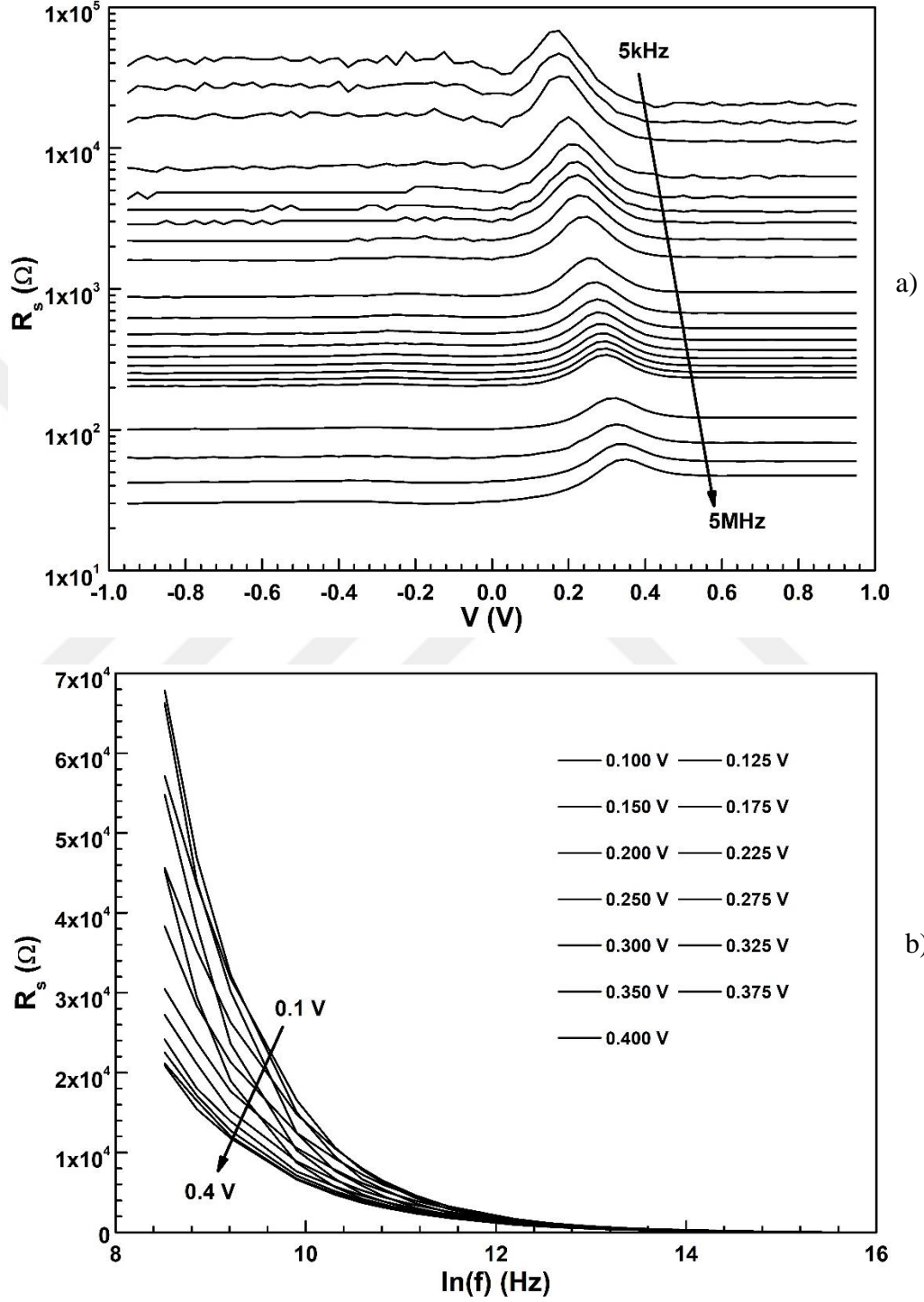
yüklerin durulma sürelerine (τ) atfedilmektedir [28]. Dipol moleküllerinin düşük ve orta frekanslarda kolay yönlenebilmeleri de C ve G/ω değerlerinde artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.4. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için a) C-V b) G/ω -V grafikleri.

4.2.2. Elektriksel Özellikler

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için gerilime bağlı direnç (R_s) admitans yöntemi [24] kullanılarak, C ve G/ω değerlerinden elde edilmektedir.



Şekil 4.5. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için a) R_s -V b) R_s - $\ln(f)$ karakteristikleri.

Yapının ölçülen direnci aşağıdaki denklem ile verilebilir.

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.2)$$

Burada R_s MPY yapının herhangi bir voltaj veya frekans için ölçülen direnci, $\omega=2\pi f$ açısal frekans ve C_m ve G_m , herhangi bir voltaj için ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerleridir. R_s 'nin voltaja bağlı grafiği Şekil 4.5 a'da ve 0.1 V-0.4 V gerilim aralığı için frekansa bağlı değerleri Şekil 4.5 b'de verilmiştir. R_s -V grafiği incelendiğinde, 0.1 V ile 0.4 V arasında yeri değişen ve ayırtedilebilen pik noktaları vermektedir. R_s -V grafiklerindeki bu pik davranışı, Al/(CdS-PVA)/p-Si yapısının arayüzey tabakasındaki durumlara (D_{it}) ve üretim işlemi süresince kimyasal safsızlıkların dağılımına atfedilebilir [28]. Frekansın artması ile birlikte piklerin pozisyonu pozitif voltaj bölgesine doğru kaymaktadır. Her bir frekans değeri için verilen R_s değerleri pik bölgesi haricince genel olarak voltaja bağlı olarak değişmemektedir. Güçlü yığılım bölgesinde yeterince yüksek frekanslar (≥ 500 kHz) için R_i değeri, yapının R_s değerine karşılık gelir. Yeterince yüksek frekanslarda ($f \geq 500$ kHz), tuzaklardaki veya yüzey durumlarındaki yükler harici bir ac sinyali takip edemez [16], [20].

D_{it} -V grafiğini elde etmek için en uygun tekniklerden biri düşük-yüksek frekanslı (C_{LF} - C_{HF}) düzeltilmiş kapasitans yöntemidir [98], [99]. Ölçülen C-V karakteristiğinden kapasiteye katkıda bulunan D_{it} verileri belirlenebilmektedir. MPY yapıların eşdeğer devresinde, düşük frekanslar için arayüzey tabakası kapasitansı (C_i); arayüzey tuzak kapasitansı (C_{it}) ve uzay yükü kapasitansı (C_{sc})'nin paralel bileşimi ile seri bağlıdır. Buradan, C_{it} Denklem (4.3) ile hesaplanabilir.

$$C_{it} = \left[\frac{1}{C_{LF}} - \frac{1}{C_i} \right]^{-1} - C_{sc} \quad (4.3)$$

Bilindiği gibi, D_{it} harici ac sinyalini takip edememekte ve doğrudan toplam kapasiteye katkıda bulunamamaktadır. Bu nedenle, eşdeğer C, C_i ve C_{sc} 'nin seri bağlanmış halidir ve aşağıdaki formülde verilmiştir.

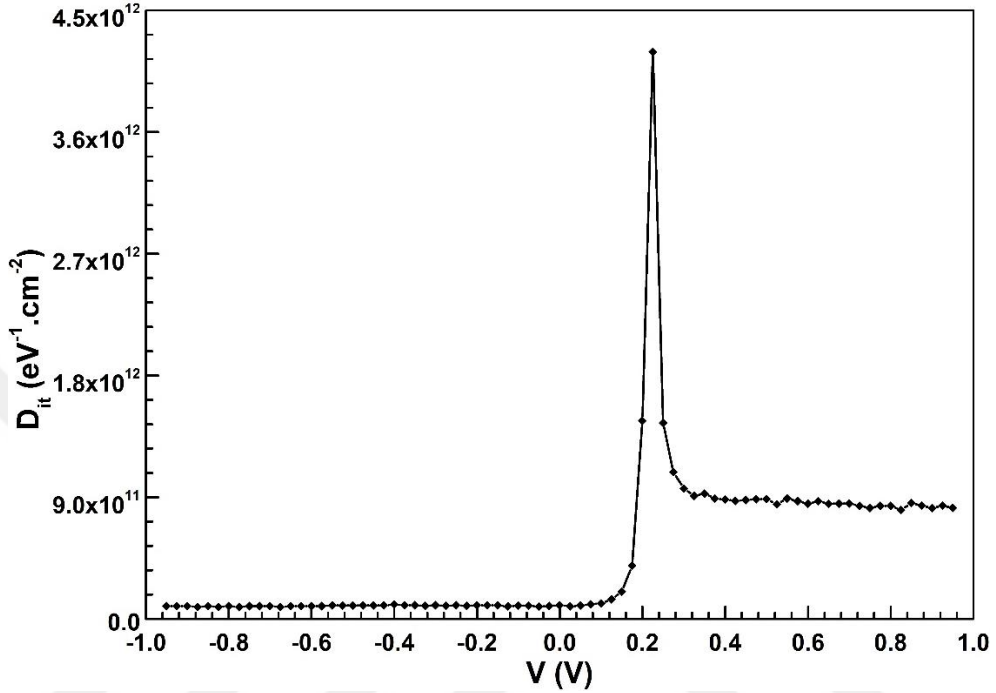
$$\frac{1}{C_{HF}} = \frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_{sc}} \quad (4.4)$$

Böylece, D_{it} aşağıdaki formül ile elde edilebilmektedir.

$$qAD_{it} = C_{it} = \left[\frac{1}{C_{LF}} - \frac{1}{C_i} \right]^{-1} - \left[\frac{1}{C_{HF}} - \frac{1}{C_i} \right]^{-1} \quad (4.5)$$

Burada, q elektrik yüküdür ve A yapının doğrultucu kontağının alanıdır.

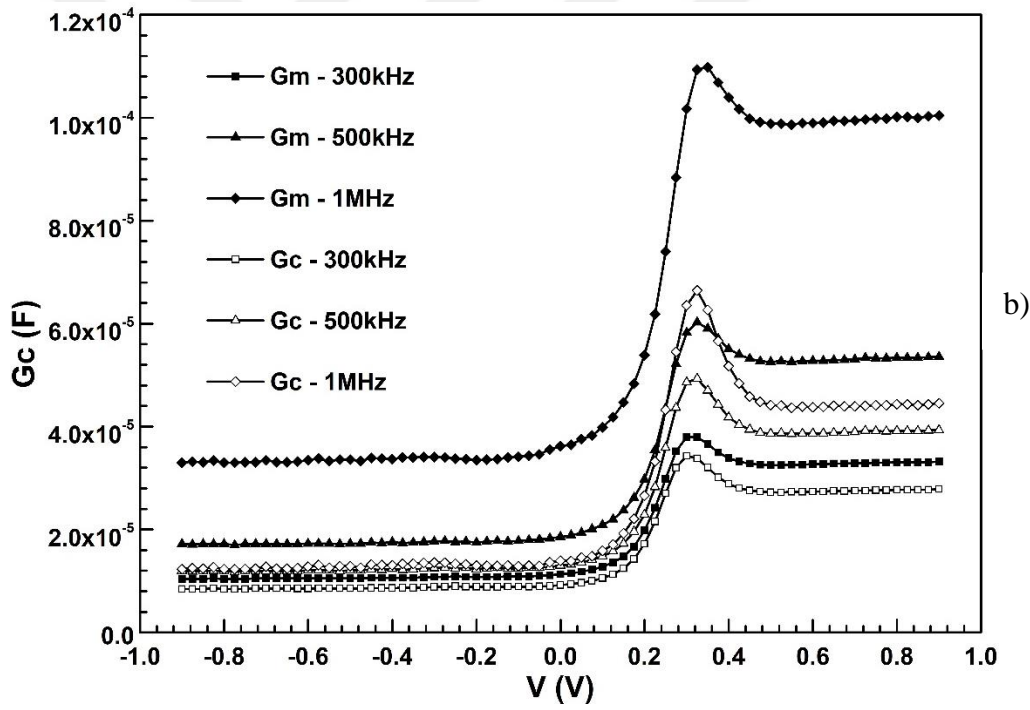
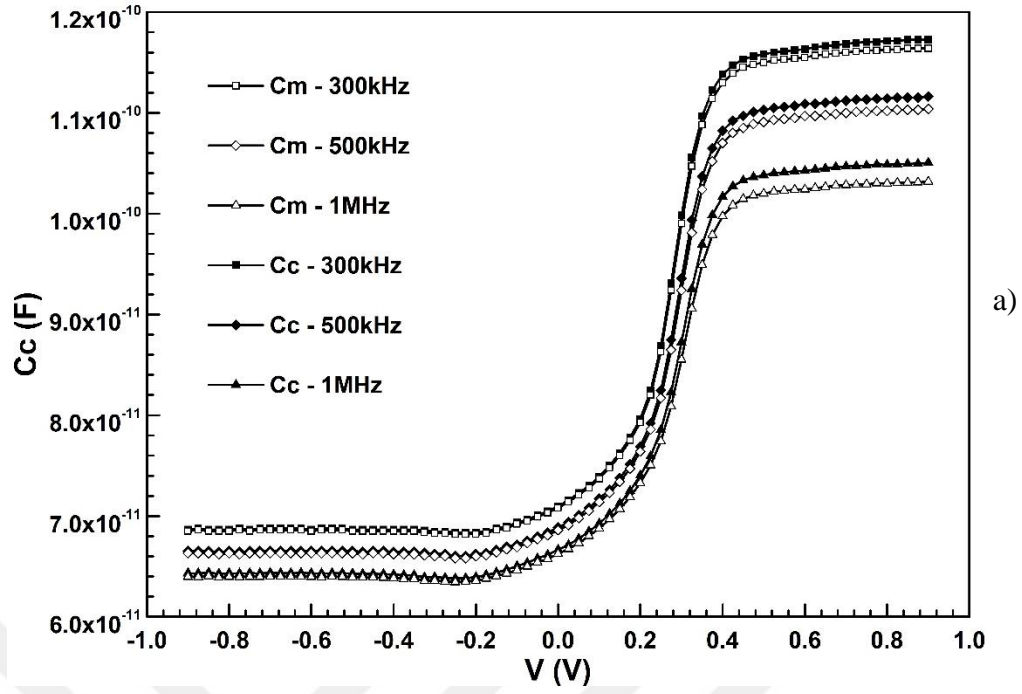
Düşük frekans (5 kHz) ve yüksek frekans (5 MHz) kullanılarak C_{LF} - C_{HF} yönteminden elde edilen D_{it} -V grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Yüksek frekanslarda, tuzaklardaki yüklerin harici ac sinyali izleyebildiği ancak düşük frekanslardaki koşullarda ise harici ac sinyali takip edememektedir [25], [100], [101].



Şekil 4.6. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için D_{it} -V enerji dağılım grafiği.

Şekil 4.6 incelendiğinde, -1.0 V ile 0.1 V aralığında D_{it} değerleri uygulanan gerilimden bağımsızdır. 0.2 V ile 0.3 V aralığında D_{it} değerleri keskin bir pik vermektedir. Pik davranışı kristalin yüzeyindeki periyodik kafes yapısının bozulmasına ve yarıiletkenin yasak bant aralığındaki yoğunluk dağılımına atfedilebilir [25].

Yüksek frekanslarda ($f > 500$ kHz) ölçülen C ve G/ω grafiklerinde arayüzey durumlarının yoğunluğu ihmal edilebilir. 500 kHz'in üzeri frekanslarda arayüzey durumları ac sinyallerini takip edememektedir [16]. Güçlü yığılım bölgesinde seri direnç yarıiletkenin elektriksel karakteristiklerinin belirlenmesinde hataya neden olur. Bu hatanın en aza indirilebilmesi, numunenin en uygun şartlarda üretilmesiyle, ölçümler uygun frekanslarda alınmasıyla ve C -V ve G/ω -V değerlerinde R_s etkisinin çıkarılarak düzeltilmesiyle mümkündür. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için seri direncinin, kapasitans ve kondüktans değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla düzeltilmiş C_c ve G_c/ω karakteristikleri elde edildi.



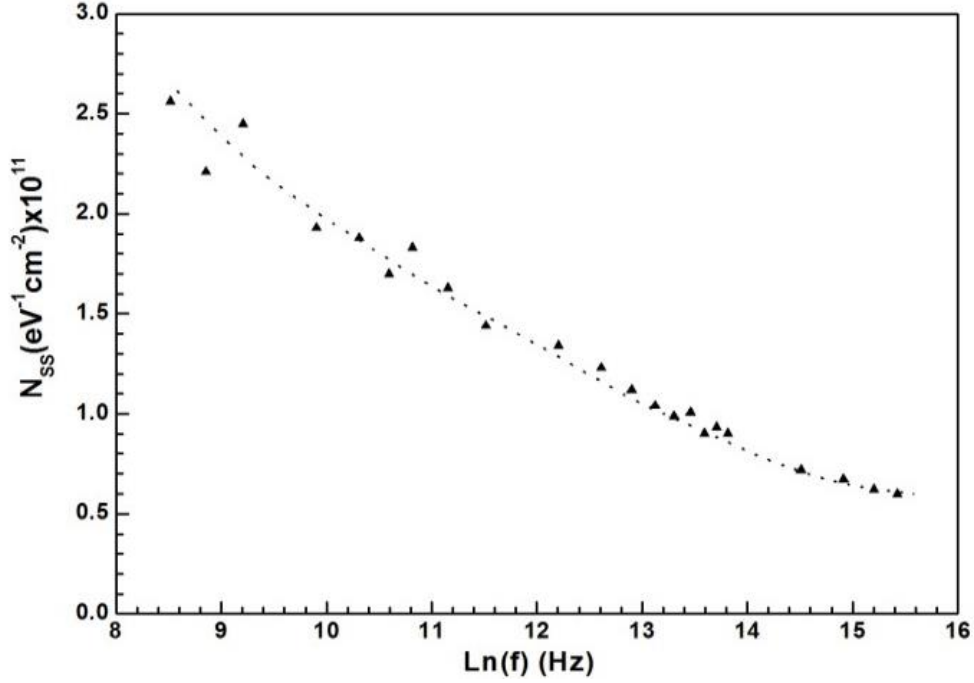
Şekil 4.7. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) C_c -V b) G_c/ω -V grafikleri.

Şekil 4.4 a ve b'de ters ve ileri gerilimli C-V ve G/ω -V karakteristikleri frekansa ve voltaja bağlıdır. C_c ve G_c/ω karakteristikleri Şekil 4.7'de verilmiştir. C ve G/ω eğrilerinin düzeltilmesi Denklem (2.21), (2.22) ve (2.23) kullanılarak yapılabilmektedir [102], [103].

Hill-Coleman yöntemine [104] uygun olarak, N_{ss} yoğunluk dağılımı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$N_{ss} = \left(\frac{2}{qA} \right) \frac{(G_m/\omega)_{max}}{((G_m/\omega)_{max}/C_i)^2 + (1-C_m/C_i)^2} \quad (4.6)$$

burada, C_i , ara yüzey tabakasının kapasitansıdır.



Şekil 4.8. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için N_{ss} -Ln(f) karakteristiği.

Arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) karakteristiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir. N_{ss} değerleri, frekansın artması ile üstel olarak azalmaktadır. Sonuç olarak, N_{ss} düşük frekanslarda ac sinyalini izleyebilmekte ve ölçülen C ve G değerlerine ek katkı sağlayabilmektedir. Ancak yüksek frekanslarda ac sinyalini takip edememekte ve ölçülen C ve G değerlerine fazladan katkı sağlayamamaktadır [16].

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için tüm frekanslarda (5 kHz-5 MHz) C-V ve G/ ω -V grafiklerinden elde edilen çeşitli parametrelerin değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmektedir. Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, N_{ss} ve R_s değerleri artan frekans ile azalmaktadır.

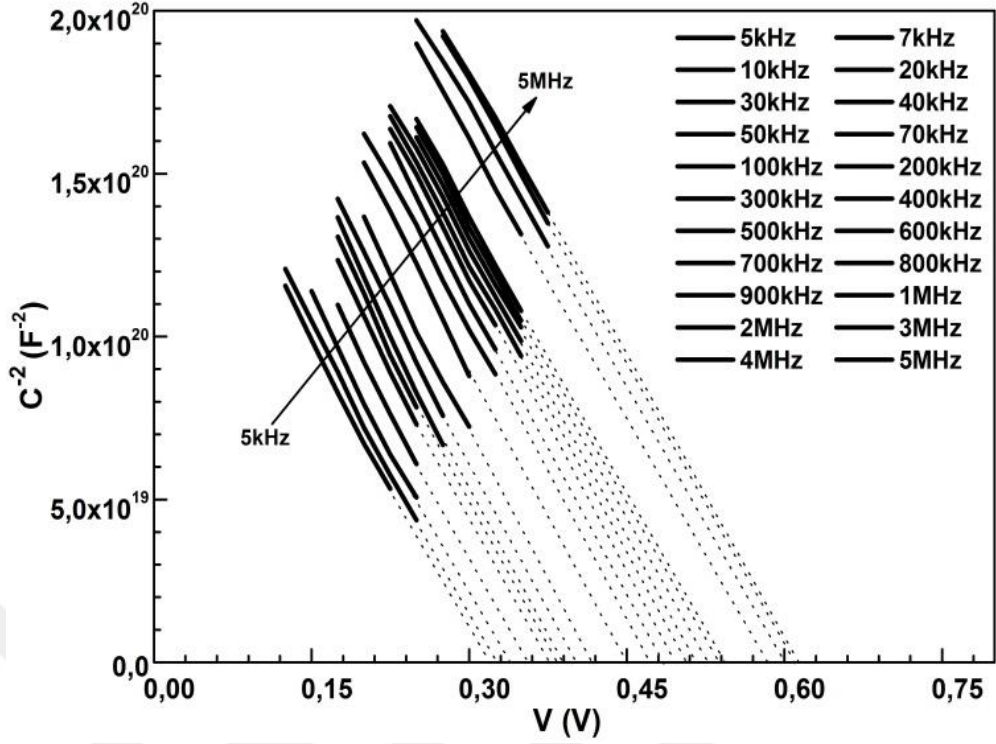
Çizelge 4.1. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için V_m , C_m , G_m/ω , N_{ss} ve R_s değerleri.

f (kHz)	V_m (V)	C_m (F)	G_m/ω (F)	N_{ss} ($eV^{-1}cm^{-2}$)	R_s (Ω)
5	0.200	1.25×10^{-10}	2.96×10^{-11}	2.56×10^{11}	57133
7	0.200	1.19×10^{-10}	2.88×10^{-11}	2.21×10^{11}	43528
10	0.225	1.26×10^{-10}	2.73×10^{-11}	2.45×10^{11}	26299
20	0.225	1.16×10^{-10}	2.62×10^{-11}	1.93×10^{11}	14781
30	0.250	1.17×10^{-10}	2.49×10^{-11}	1.88×10^{11}	9248
40	0.250	1.13×10^{-10}	2.42×10^{-11}	1.70×10^{11}	7233
50	0.275	1.18×10^{-10}	2.35×10^{-11}	1.83×10^{11}	5181
70	0.275	1.13×10^{-10}	2.31×10^{-11}	1.63×10^{11}	3958
100	0.275	1.08×10^{-10}	2.24×10^{-11}	1.44×10^{11}	2947
200	0.300	1.07×10^{-10}	2.12×10^{-11}	1.34×10^{11}	1432
300	0.325	1.05×10^{-10}	2.01×10^{-11}	1.23×10^{11}	941
400	0.325	1.01×10^{-10}	1.96×10^{-11}	1.12×10^{11}	740
500	0.325	9.81×10^{-11}	1.91×10^{-11}	1.04×10^{11}	612
600	0.325	9.61×10^{-11}	1.87×10^{-11}	9.86×10^{10}	520
700	0.325	9.44×10^{-11}	1.83×10^{-11}	9.38×10^{10}	452
800	0.325	9.29×10^{-11}	1.80×10^{-11}	9.01×10^{10}	400
900	0.350	9.60×10^{-11}	1.77×10^{-11}	9.34×10^{10}	329
1000	0.350	9.49×10^{-11}	1.74×10^{-11}	9.02×10^{10}	299
2000	0.350	8.72×10^{-11}	1.57×10^{-11}	7.19×10^{10}	160
3000	0.375	8.73×10^{-11}	1.46×10^{-11}	6.72×10^{10}	99
4000	0.375	8.52×10^{-11}	1.40×10^{-11}	6.23×10^{10}	75
5000	0.375	8.44×10^{-11}	1.36×10^{-11}	5.98×10^{10}	59

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için C^{-2} -V grafiği 5 kHz-5 MHz frekans aralığında Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafikteki tüm doğrular paralel olup benzer eğime sahiptirler. C^{-2} -V karakteristiği için yapının tükenim tabakası kapasitesi aşağıdaki formülle tanımlanabilir [30].

$$C^{-2} = \frac{2(V_0+V)}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_A} \quad (4.7)$$

burada N_A alıcı atomların katkı konsantrasyonu ve q elektrik yüküdür.



Şekil 4.9. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının C^{-2} -V grafiği.

Difüzyon potansiyeli (V_D) ve N_A değerleri, her frekans için kesişme noktalarından (V_0) ve C^{-2} -V eğrilerinin eğimlerinden elde edilir. Bu nedenle fermi Enerji Seviyesi (E_F) ve N_A değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$V_0 = V_D - kT/q \quad (4.8)$$

burada, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve E_F fermi enerji seviyesi olup aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır.

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_V}{N_A} \right) \quad (4.9)$$

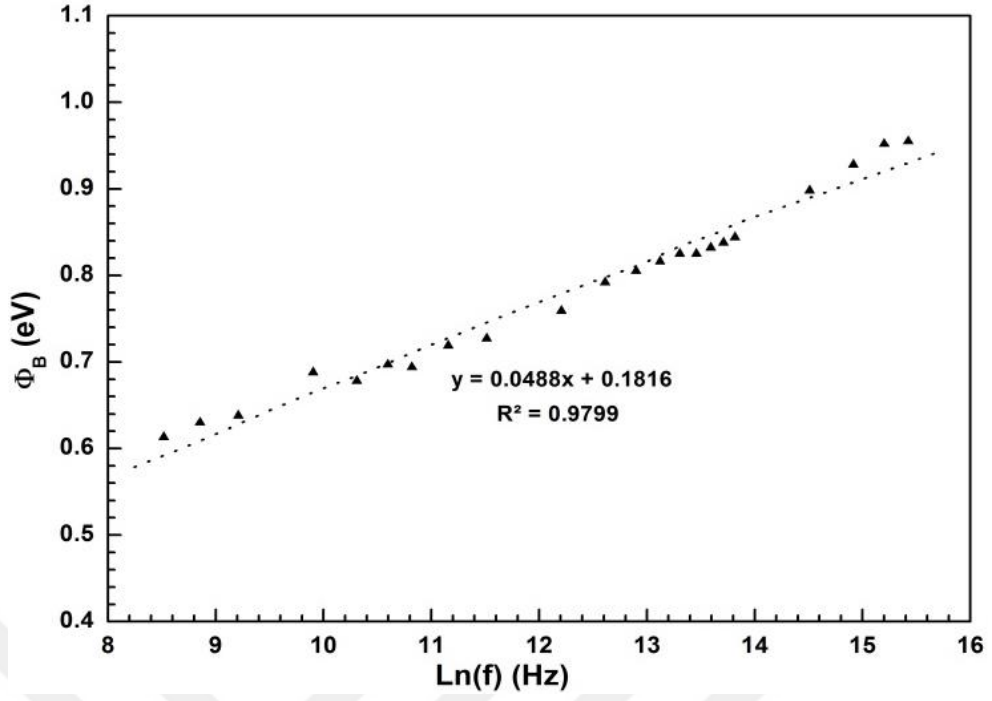
N_V ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$N_V = 4.82 \times 10^{15} T^{3/2} (m_h^*/m_0)^{3/2} \quad (4.10)$$

Burada, N_V Silisyumun valans bandındaki durumlarının etkin yoğunluğu, $m_h^* = 0.16m_0$ deşiklerin etkin kütlesi [98], ve m_0 elektronun kütlesidir. Her bir frekans için bariyer yüksekliği Φ_B aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmektedir.

$$\Phi_B(C - V) = \left(V_0 + \frac{kT}{q} \right) = E_F \quad (4.11)$$

Elde edilen bariyer yüksekliği karakteristiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Φ_B -Ln(f) grafiği.

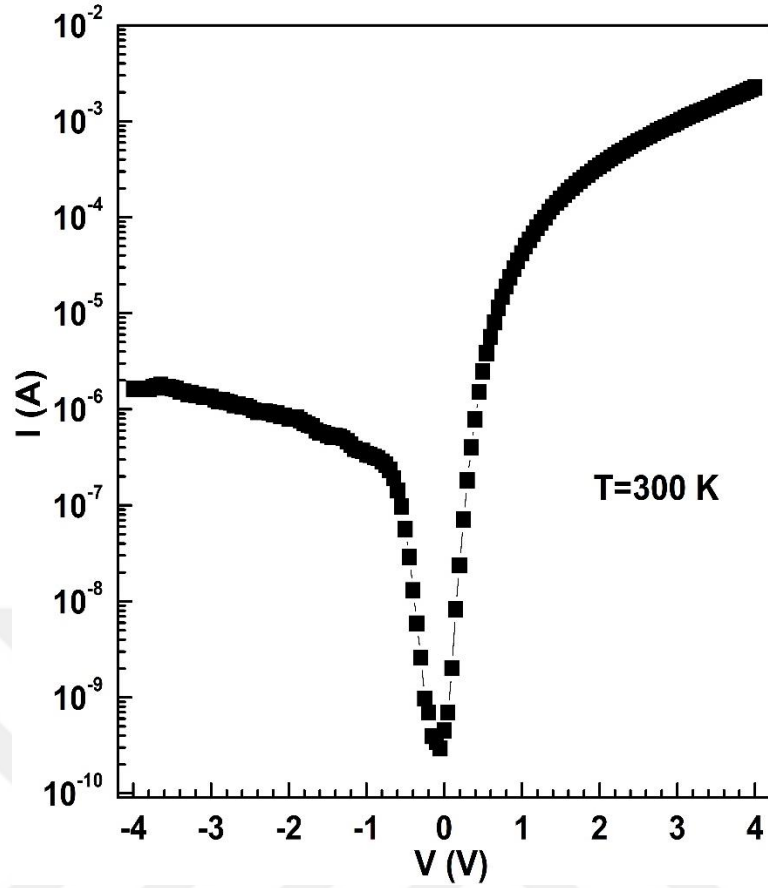
Şekil 4.10 ve Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, bariyer yüksekliği değerleri frekansın artması ile birlikte doğrusala yakın olarak artmaktadır.

Çizelge 4.2. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için V_0 , N_A , V_D , E_F ve Φ_B değerleri.

f(kHz)	V_0 (V)	N_A (cm ⁻³)	V_D (eV)	E_F (eV)	Φ_B (eV)
5	0.292	2.79x10 ¹⁴	0.318	0.271	0.613
7	0.310	2.96x10 ¹⁴	0.336	0.269	0.630
10	0.317	2.85x10 ¹⁴	0.343	0.270	0.638
20	0.375	3.88x10 ¹⁴	0.400	0.262	0.688
30	0.358	2.88x10 ¹⁴	0.383	0.270	0.678
40	0.380	3.19x10 ¹⁴	0.405	0.267	0.697
50	0.374	2.92x10 ¹⁴	0.400	0.269	0.694
70	0.401	3.16x10 ¹⁴	0.426	0.267	0.719
100	0.407	3.00x10 ¹⁴	0.433	0.269	0.727
200	0.441	3.08x10 ¹⁴	0.466	0.268	0.759
300	0.475	3.30x10 ¹⁴	0.501	0.266	0.792
400	0.488	3.27x10 ¹⁴	0.513	0.267	0.805
500	0.499	3.27x10 ¹⁴	0.524	0.267	0.816
600	0.509	3.31x10 ¹⁴	0.534	0.266	0.825
700	0.507	3.17x10 ¹⁴	0.533	0.267	0.825
800	0.514	3.19x10 ¹⁴	0.540	0.267	0.832
900	0.520	3.19x10 ¹⁴	0.545	0.267	0.838
1000	0.527	3.22x10 ¹⁴	0.552	0.267	0.844
2000	0.583	3.44x10 ¹⁴	0.608	0.265	0.898
3000	0.613	3.57x10 ¹⁴	0.639	0.264	0.928
4000	0.639	3.73x10 ¹⁴	0.664	0.263	0.952
5000	0.641	3.68x10 ¹⁴	0.666	0.264	0.955

4.2.3. Akım-Gerilim Özellikleri

Şekil 4.11, oda sıcaklığında ölçülen yarı logaritmik I-V karakteristiği verilmiştir. Yarı-logaritmik I-V karakteristiğinde orta gerilim bölgesi 0.0 V ile 1.0 V arasındadır. Ancak yapıya yeterince büyük bir voltaj ($V > 1$) uygulandığında R_s 'nin etkisinden dolayı lineerlikten sapar. Şekil 4.11'den görüldüğü gibi Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların karakteristiği bir doğrultma davranışı sergilemektedir. Doğru öngerilim bölgesinde akım voltaj ile birlikte eksponansiyel olarak artarken, ters öngerilim bölgesinde akımın voltaja bağımlılığının zayıf olduğu görülmektedir.



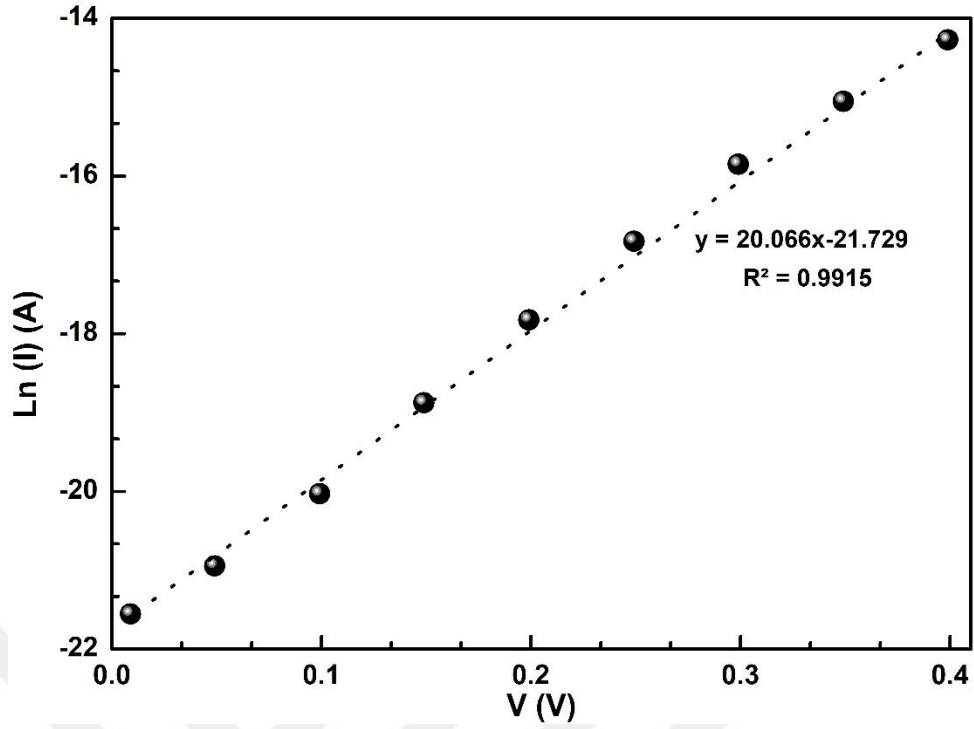
Şekil 4.11. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için I-V grafiği.

Şekil 4.12, $\ln(I)$ -V karakteristiğini göstermektedir. $\ln(I)$ -V grafiğinde 0.0 V ile 0.4 V orta gerilim bölgesine karşılık gelmekte ve lineer davranış göstermektedir. $\ln(I)$ -V grafiğinin eğiminden yapının ters doyum akımı (I_0), bariyer yüksekliği (Φ_{B0}) ve idealite faktörü (n) değerleri sırasıyla Denklem (4.12), Denklem (4.13) ve Denklem (4.14) kullanılarak hesaplanmıştır.

Ters öngerilim doyum akımı $\ln(I)$ -V eğrisinin sıfır beslemde doğrusal olarak x-eksenini kestiği yer olup Denklem (4.12) ile verilmiştir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (4.12)$$

Burada, Burada Φ_{B0} metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği, A diyodun doğrultucu kontak alanı ve A^* etkin Richardson sabiti olup p-tipi Si için $32 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ 'dir.



Şekil 4.12. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ln(I)-V grafiği.

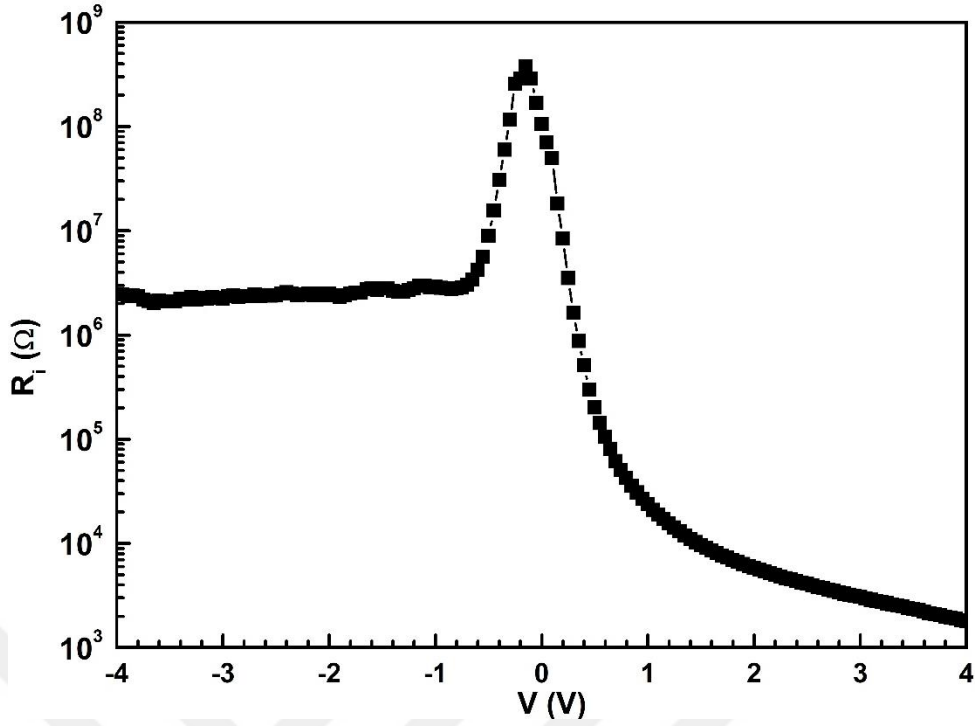
Diyotun doğrultucu kontak alanı ile I_0 değeri ve etkin Richardson sabiti hesaplandığında sıfır beslem engel yüksekliği Denklem (4.13) ile verilmiştir.

$$\Phi_{B0} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{AA^*T^2}{I_0} \right] \quad (4.13)$$

İdeal termiyonik emisyon teorisine göre elde edilen Ln(I)-V eğrisinde meydana gelen doğrusallıktan sapma idealite faktörünün hem 1'den büyük ve hem de lineer bölgenin daha dar olduğunu göstermektedir. Bu eğride doğrusal bölgenin eğiminden idealite faktörünün değeri elde edilir

$$n = \frac{q}{kT} \frac{d(V - IR_s)}{d(\ln(I))} \quad (4.14)$$

Termiyonik emisyon (TE) teorisine göre idealite faktörünün 1'den büyük olması pratikte mümkün değildir. İdealite faktörünün (n) 1'den büyük olması durumunda seri direncin etkisi görülmektedir. İdealite faktörü Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarda Schottky engel yüksekliğinin alçalması ile bir polimer malzemeden oluşan MY arayüzey durumuna bağlıdır. İdealite faktörünün yüksek değeri yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumları (N_{ss}) ve rekombinasyona atfedilebilir [16].



Şekil 4.13. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_i -V grafiği.

Şekil 4.13’de Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_i -V grafiği verilmiştir. R_i -V grafiğini elde etmek için ohm kanunu olarak bilinen Denklem (4.15) kullanılmıştır.

$$R_i = \frac{dV}{dI} \quad (4.15)$$

Burada V diyota uygulanan gerilim ve I diyotun akım değeridir. Ters beslemde direncin en yüksek değeri şönt direncidir ve bu değer 2.44×10^6 olarak bulunmuştur. Doğru beslemde direncin en düşük değeri seri dirençtir ve bu değer 1.78×10^3 olarak bulunmuştur.

Elde edilen temel elektriksel parametrelere ait değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının temel elektrik parametreleri.

I_0 (A)	n	ϕ_{B0} (eV)	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)	RR
3.66×10^{-10}	1.93	0.885	1.78×10^3	2.44×10^6	1.37×10^3

4.2.4. Dielektrik Özellikler

4.2.4.1. Voltaja Bağlı Dielektrik Özellikler

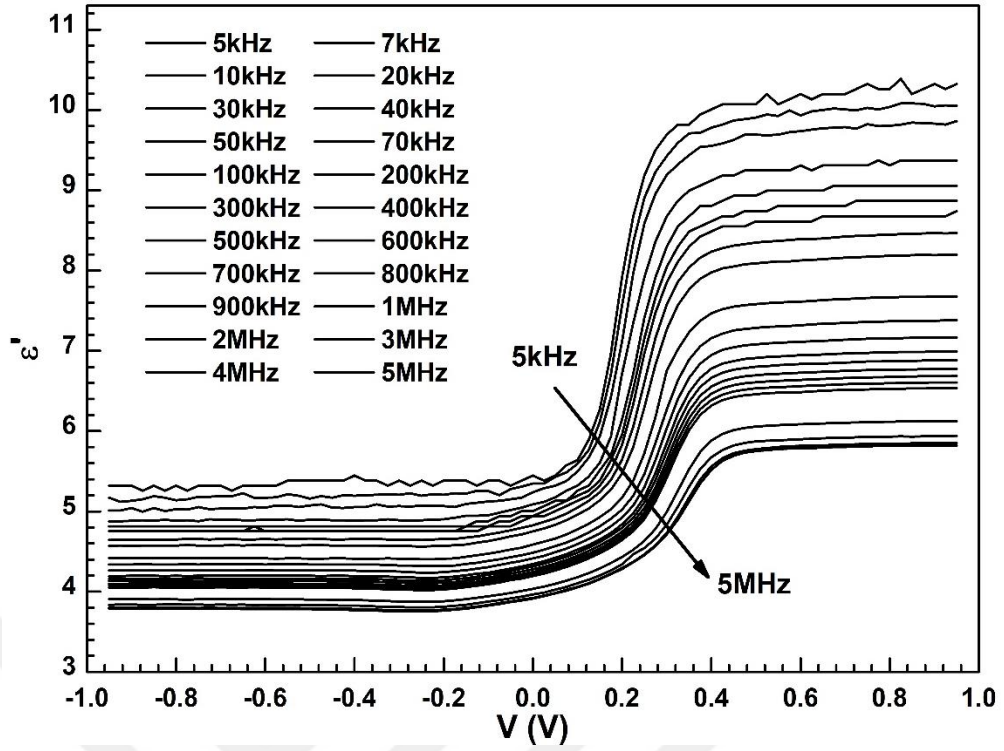
Elektronik cihazlar için malzeme seçiminde dielektrik özellikler, elektriksel modülüs ve elektrik iletkenliği önemli parametrelerdir. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' ve σ_{ac} gibi temel elektrik ve dielektrik parametreleri 5 kHz-5 MHz frekans ve ± 1.0 V voltaj aralığında C-V ve G/ω -V karakteristiklerinden elde edildi. MY kontak incelenirken dielektrik arayüz katmanı ve yüzey durumları dikkate alınmalıdır. Uygulanan voltaj; dielektrik tabakalar, tükenim tabakası ve yüzey durumları arasında dağıtılır. Denklem (2.39), Denklem (2.42), Denklem (4.16) ve Denklem (4.17) kullanılarak yukarıdaki parametreler hepsi voltaj ve frekans bağımlı olarak elde edilmiştir. [97], [105]–[107].

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' = Cd/A\epsilon_0 - j(Gd/\omega A\epsilon_0) \quad (4.16)$$

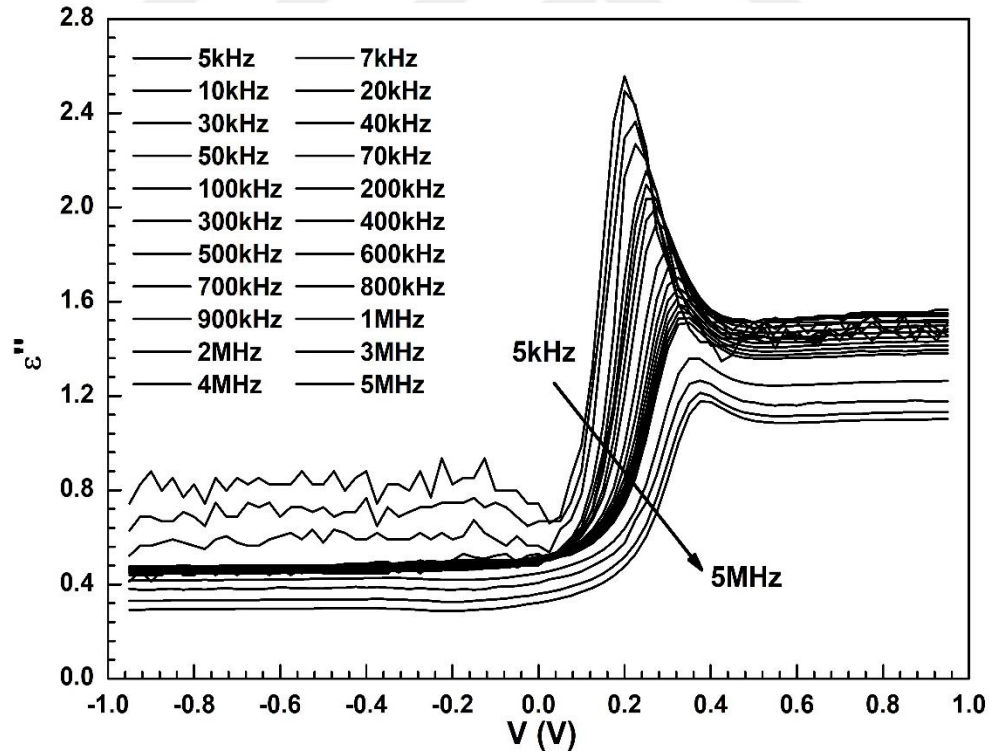
$$\sigma_{ac} = \omega C \tan\delta(d/A) = \epsilon''\omega\epsilon_0 \quad (4.17)$$

Burada ϵ' ve ϵ'' kompleks dielektrik sabitinin reel ve sanal kısmı, j -1'in karekökü, A doğrultucu kontakın cm^2 cinsinden temas alanı, d arayüzey tabaka olarak kullanılan CdS-PVA'nın kalınlığı, ϵ_0 ($=8.85 \times 10^{-14}$ F/cm) boşluğun dielektrik geçirgenliği, C_0 boşluğun kapasitansı ve ω ($=2\pi f$) uygulanan elektrik alanın açısal frekansıdır.

Şekil 4.14, 5 kHz-5 MHz frekans aralığı için Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının reel dielektrik sabitinin (ϵ') gerilime bağlı karakteristik davranışlarını göstermektedir. Deneysel sonuçlar, ϵ' değerlerinin, özellikle de tükenim ve yığılım bölgelerinde, gerilim ve frekansın güçlü bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Tükenim ve yığılım bölgelerinde ϵ' değerleri artan frekansla azalırken, terslenim bölgesinde sabit kalır. ϵ' değerlerinin artan frekansla azalmasının sebebi arayüzey dipollerinin frekansın artmasıyla harici elektrik alan yönünde kendilerini yönlendirmek için daha az zamana sahip olmaları ile açıklanabilir [97], [107], [108].



Şekil 4.14. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ' -V grafiği.

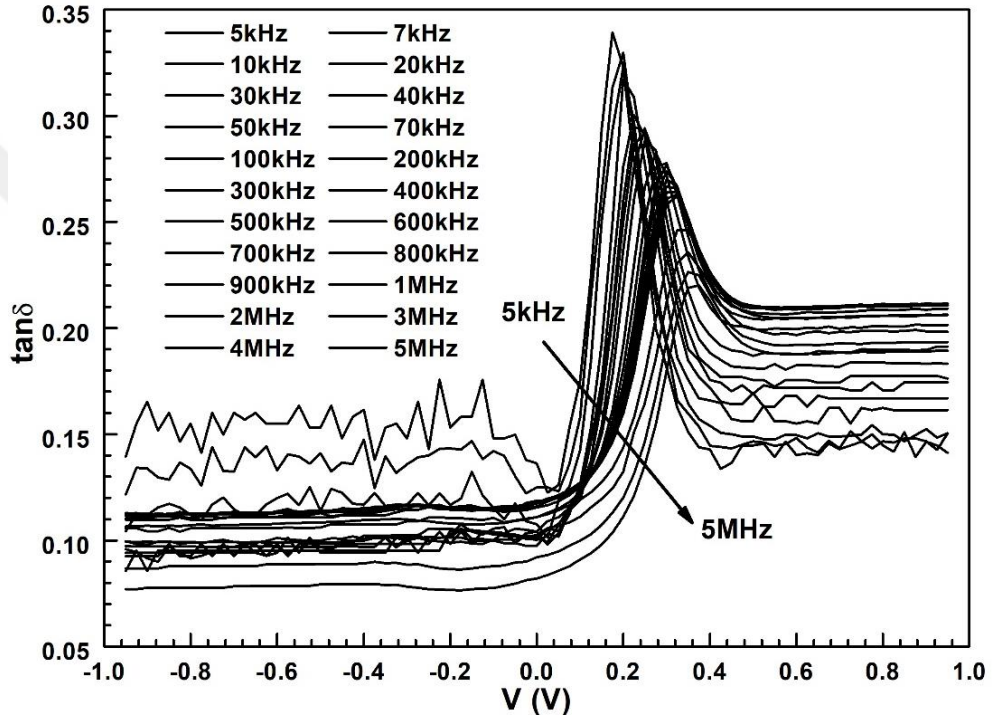


Şekil 4.15. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ'' -V grafiği.

Şekil 4.15, oda sıcaklığında 5 kHz-5 MHz frekans aralığı için yapıların ϵ'' değerlerinin voltaja bağlı grafiğini göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, ϵ'' değerleri hem frekansa hem de uygulanan gerilime büyük ölçüde bağlıdır. Terslenim ve yığılım

bölgelerinde ϵ'' değerleri frekansın artması ile azalmaktadır. ϵ'' -V grafiklerinde, tükenim bölgesinde ortaya çıkan geniş pik noktaları vardır ve bu pik değerlerinin büyüklüğü frekansın artmasıyla azalmaktadır. Frekansın artması ile ϵ'' değerlerinde meydana gelen dağılımlar, Maxwell-Wagner [108] ve uzay yükü polarizasyonuna atfedilebilir [109], [110].

ϵ' ve ϵ'' parametreleri kullanılarak türetilen $\tan\delta$ 'nın gerilime bağlı davranışı oda sıcaklığında 5 kHz-5 MHz frekans aralığı için Şekil 4.16'da gösterilmiştir. $\tan\delta$ değerleri uygulanan voltaj ve frekansın kuvvetli fonksiyonu olarak bulunmuştur.

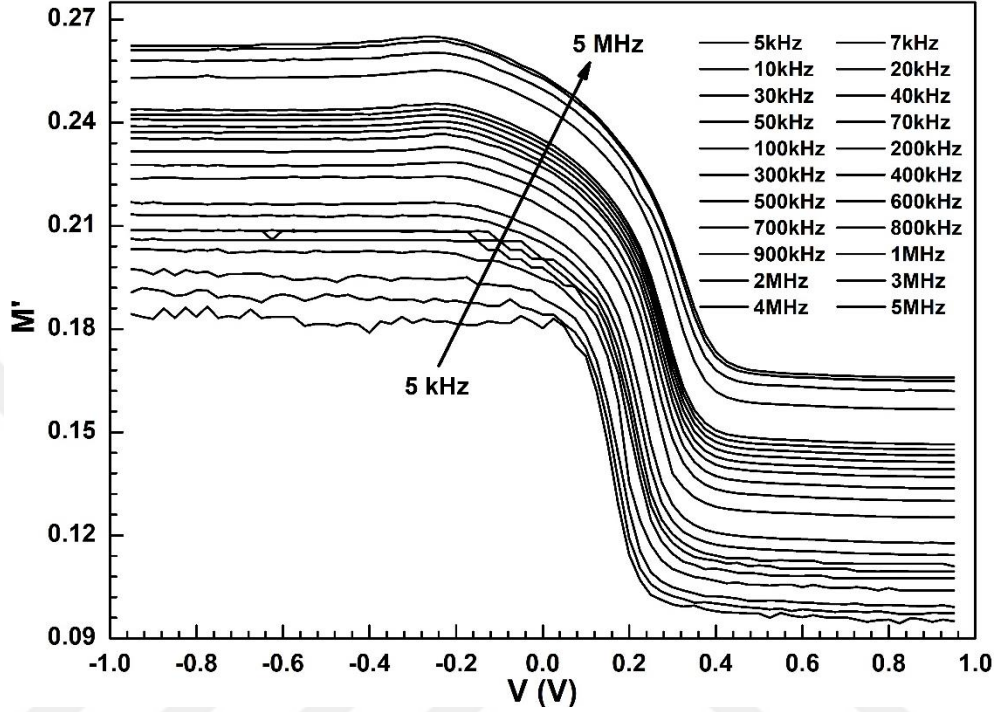


Şekil 4.16. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için $\tan\delta$ -V grafiği.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının $\tan\delta$ -V grafikleri ϵ' ve ϵ'' değerlerine bağlı olarak tükenim bölgesinde bir pik davranışı göstermektedir. $\tan\delta$ -V'nin pik değerleri frekansın artması ile azalmaktadır. $\tan\delta$ pik konumları, frekansın artması ile pozitif voltaj bölgesine doğru kaymaktadır. Pikin pozitif gerilimin artan kısmına doğru kayması R_s 'nin ortaya çıkmasına da sebep olan arayüzey durumlarının kapasitif etkilerine ve arayüzey kapasitesinin dolup boşalma zamanına atfedilmektedir [107], [111].

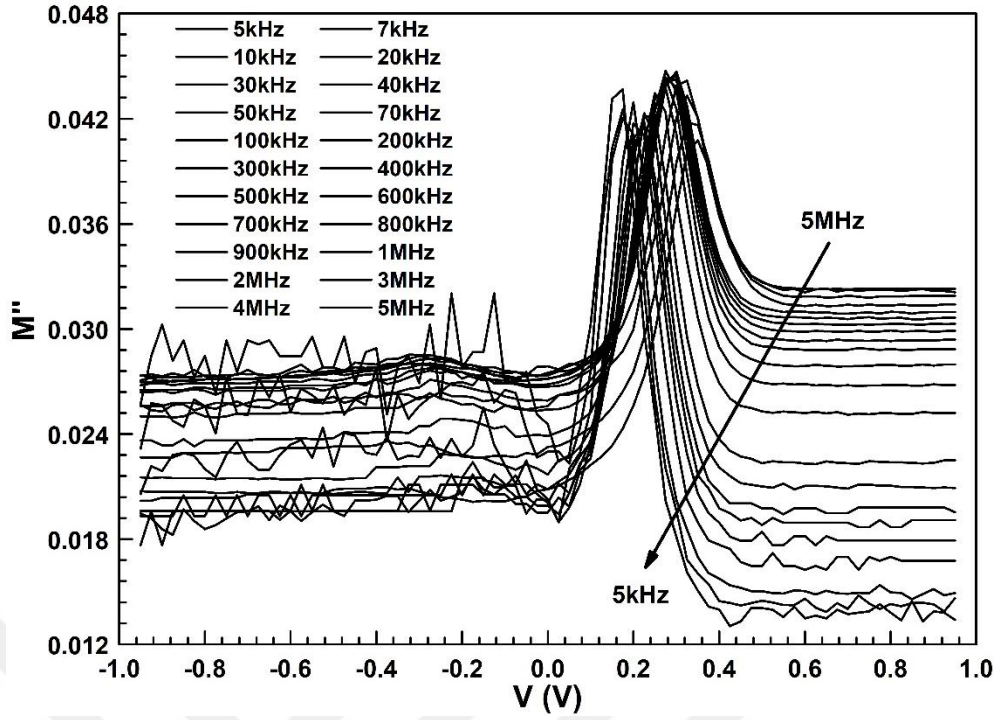
Şekil 4.17, oda sıcaklığında 5 kHz-5 MHz frekans aralığı için yapıların elektriksel modülüs reel kısmı (M') değerlerinin voltaja bağlı grafiğini göstermektedir. M' değerleri Denklem (2.42) kullanılarak hesaplanmıştır. M' değerlerinin uygulanan gerilim ve frekansın kuvvetli bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. M' değerleri frekansın artması ile

artarken, tüketim bölgesinde voltajın artması ile azalmıştır. İleri negatif ve pozitif voltaj bölgesinde M' değerlerinin sabit kaldığı görülmektedir. M' değerlerinin bu davranışı dielektrik durulma mekanizmalarının yığılım ve terslenim bölgelerinde uygulanan voltajdan ziyade frekansa daha duyarlı olmasına atfedilir [110], [112].



Şekil 4.17. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M' -V grafiği.

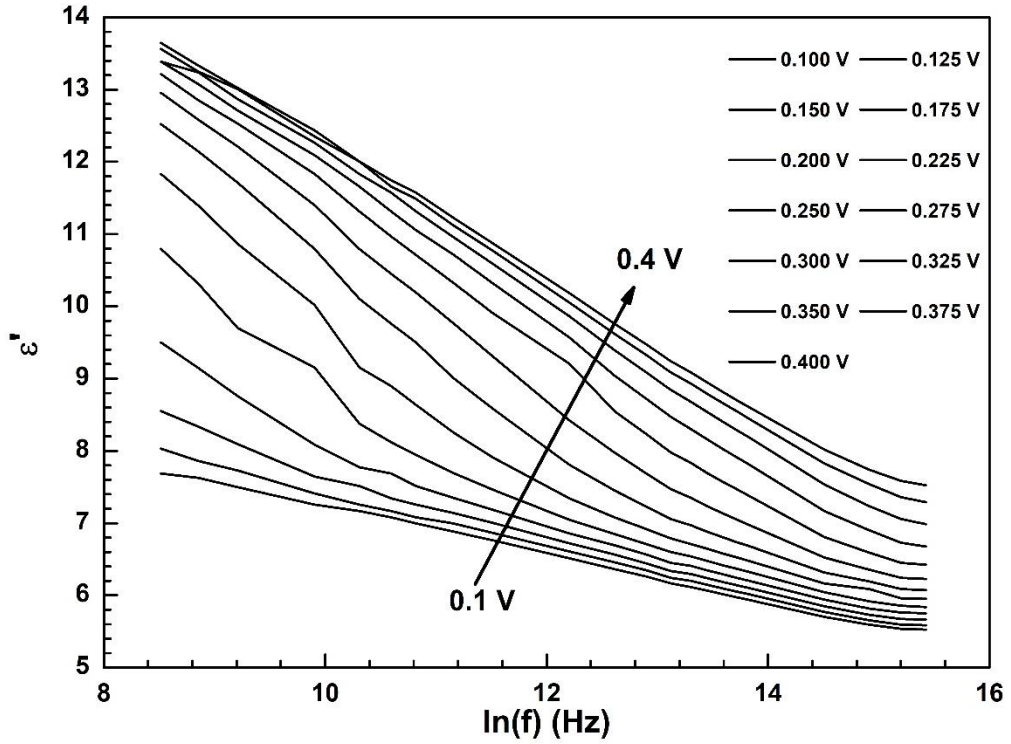
Şekil 4.18, oda sıcaklığında 5 kHz-5 MHz frekans aralığı için yapıların elektriksel modülüs sanal (imajiner) kısmı (M'') değerlerinin voltaja bağlı grafiğini göstermektedir. M'' değerleri Denklem (2.42) kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde, M'' değerleri, özellikle tüketim bölgesinde uygulanan voltajın güçlü bir fonksiyonudur. M'' değerlerinin frekasin ve voltajın artmasıyla arttığı ve tüketim bölgesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Pik pozisyonları frekasin artmasıyla, pozitif ön gerilime doğru hafifçe kaymaktadır. Sonuçlar literatür ile uyumludur [107], [113]. Bu pik davranışları arayüzey malzemesinde ve tuzaklardaki yüklerin durulma süreçlerine katkı sağlamalarına atfedilebilir [106].



Şekil 4.18. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M'' -V grafiği.

4.2.4.2. Frekansa Bağlı Dielektrik Özellikler

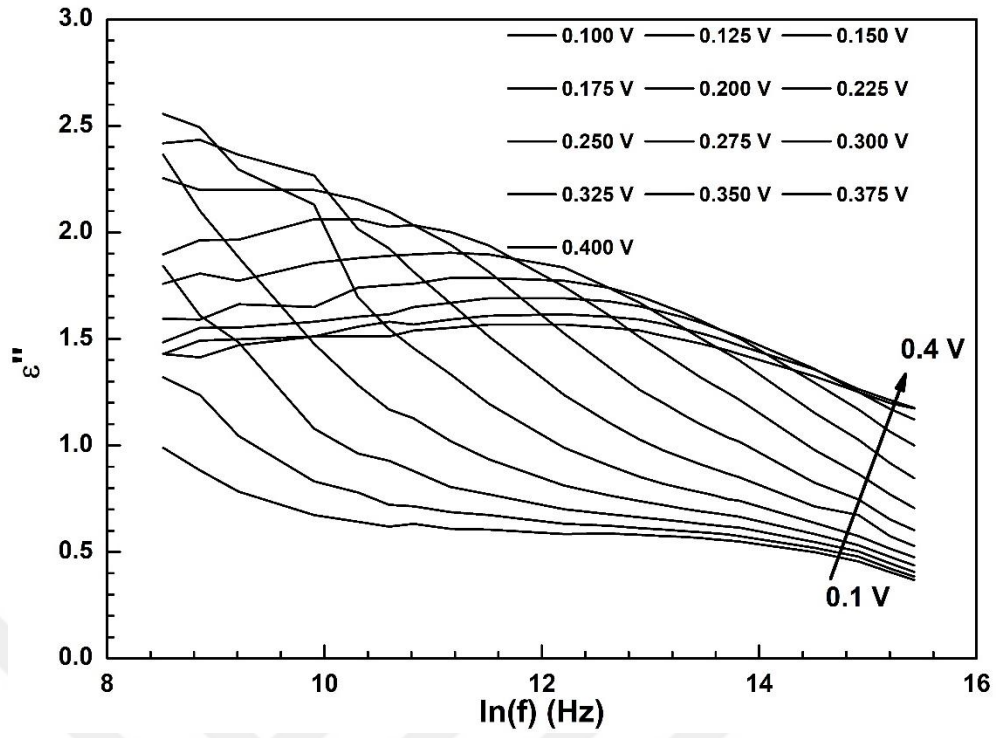
Reel dielektrik sabitinin (ϵ') 0.1 V-0.4 V voltaj aralığında frekansa bağlı grafiği Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



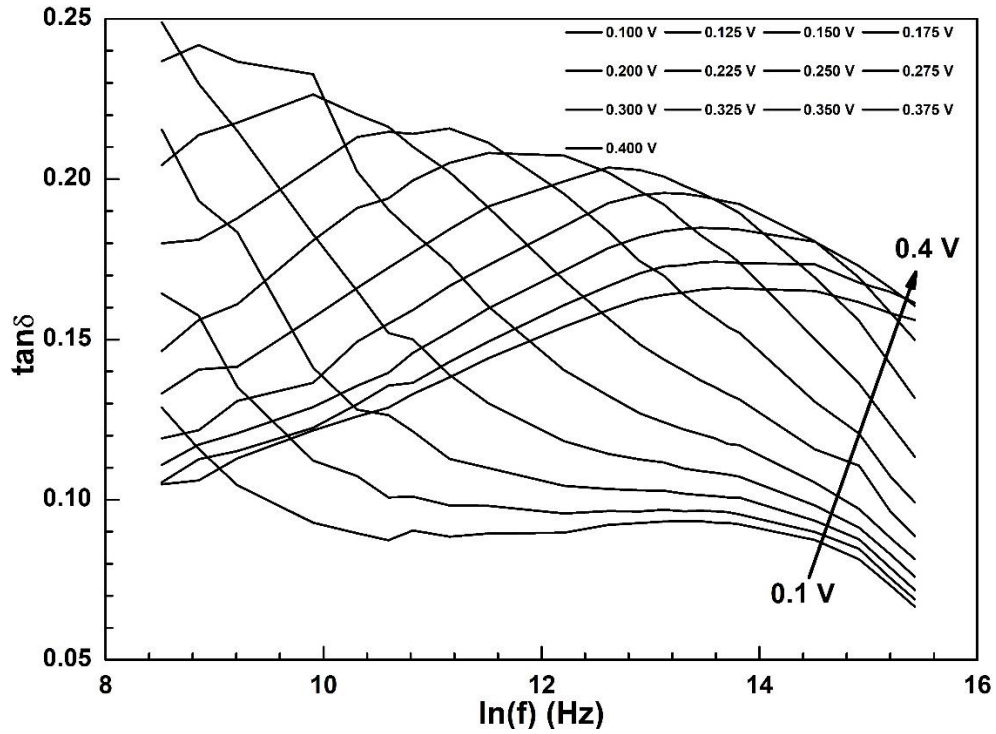
Şekil 4.19. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ' -ln(f) grafiği.

Düşük frekanslardaki ϵ' değerleri uygulanan voltajın güçlü bir fonksiyonudur. Bu davranış bir dielektrik malzemenin normal davranışdır [114]. Frekans ve uygulanan öngerilim voltajı değerleri, özellikle tükenim bölgesinde yapının dielektrik parametrelerini etkilemektedir. ϵ' değerleri her voltaj değeri için frekansın artmasıyla birlikte keskin bir düşüş göstermektedir. Frekansa bağlı olarak ϵ' değerlerinin bu dağılımı arayüzey yüklerinden kaynaklı olan uzay yük polarizasyonuna ve Maxwell-Wagner polarizasyonuna atfedilebilir [108], [109].

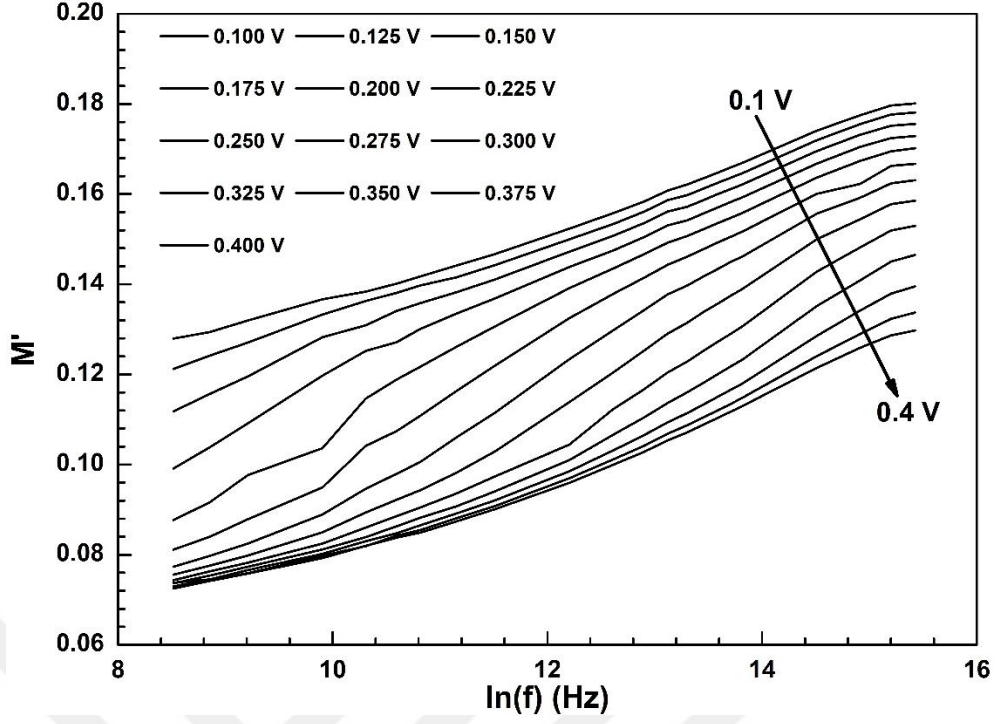
Oda sıcaklığında ϵ'' ve $\tan\delta$ grafikleri 0.1 V-0.4 V voltaj aralığında frekansa bağlı davranışı Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de gösterilmektedir. ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri frekansın ve uygulanan gerilimin güçlü bir fonksiyonudur. ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri yüksek frekanslarda frekansın artması ile azalmaktayken, voltajın artması ile artmaktadır. Her iki grafikte de orta frekans bölgesinde ortaya çıkan ve genliği daha yüksek voltaj bölgesine doğru kayan belirgin pik noktaları bulunmaktadır. Polarizasyon mekanizması düşük frekanslarda dielektrik sabitindeki yüksek değerlerin sebebidir. Dielektrik kaybın düşük frekansta yüksek değer alması düşük frekanslardaki yüksek iletkenlik katkısından kaynaklanmaktadır. CdS-PVA yapısı içerisinde var olan polarizasyonlar; iyonik, elektronik, dipolar ve uzay yükü polarizasyonlarıdır [114]. Elektronik polarizasyon nedeniyle dielektrik kayıplarındaki azalma oldukça azdır. ϵ'' ve $\tan\delta$ değerlerine arayüzey durumlarının yanı sıra düşük frekanslarda dipolar ve arayüzey polarizasyonları etki etmektedir.



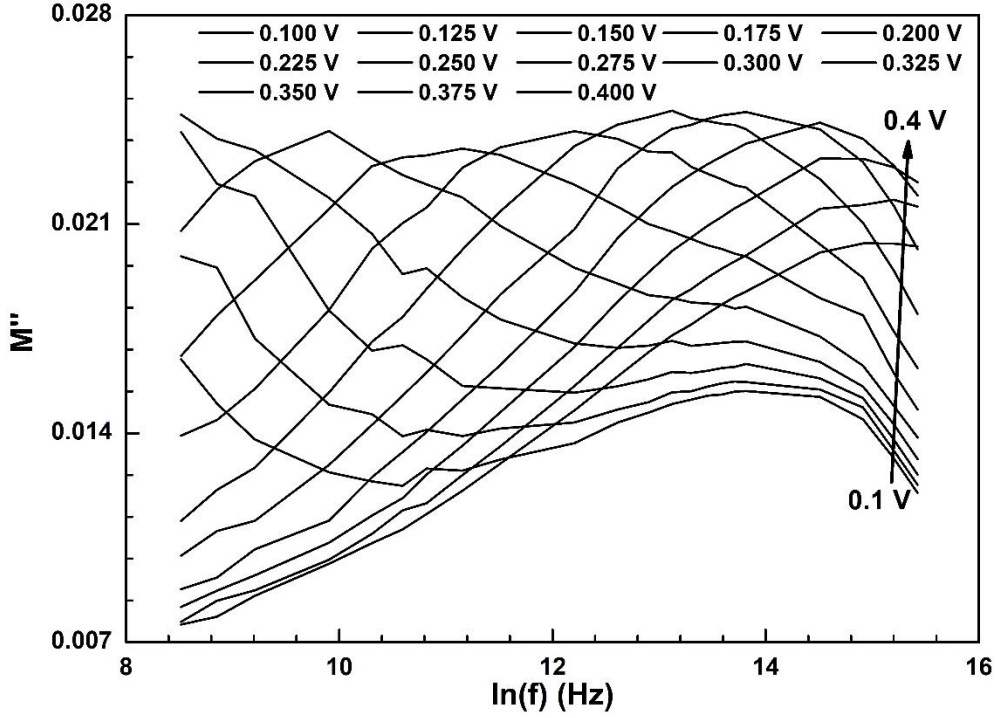
Şekil 4.20. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için ϵ'' - $\ln(f)$ grafiği.



Şekil 4.21. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için $\tan\delta$ - $\ln(f)$ grafiği.



Şekil 4.22. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M' - $\ln(f)$ grafiği.



Şekil 4.23. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için M'' - $\ln(f)$ grafiği.

Oda sıcaklığında M' ve M'' grafikleri 0.1 V-0.4 V voltaj aralığında frekansa bağlı davranışı Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de gösterilmektedir. M' ve M'' değerleri frekansın ve uygulanan gerilimin güçlü bir fonksiyonudur. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının elektriksel modülüsünün M' değerleri voltajın artması ile azalmaktadır ve frekansın artması ile

artmaktadır. Düşük frekanslarda elektriksel polarizasyon kolaylıkla oluşur ve harici elektrik alanı takip eder, yüksek frekanslarda polarizasyon oluşmaz [115]. M' değerleri, düşük frekans bölgesinde voltajın artmasıyla birlikte 0.13'ten 0.07'ye düşmektedir. Yüksek frekans bölgesinde ise voltajın artmasıyla birlikte 0.18'den 0.12'ye düşer.

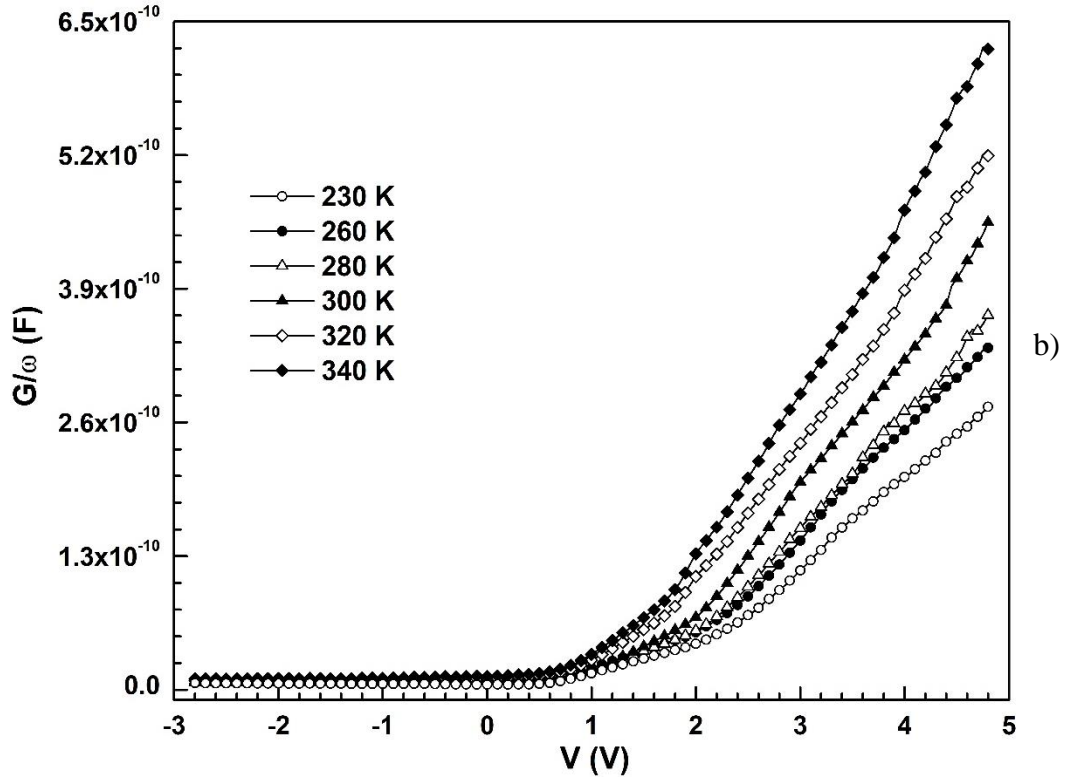
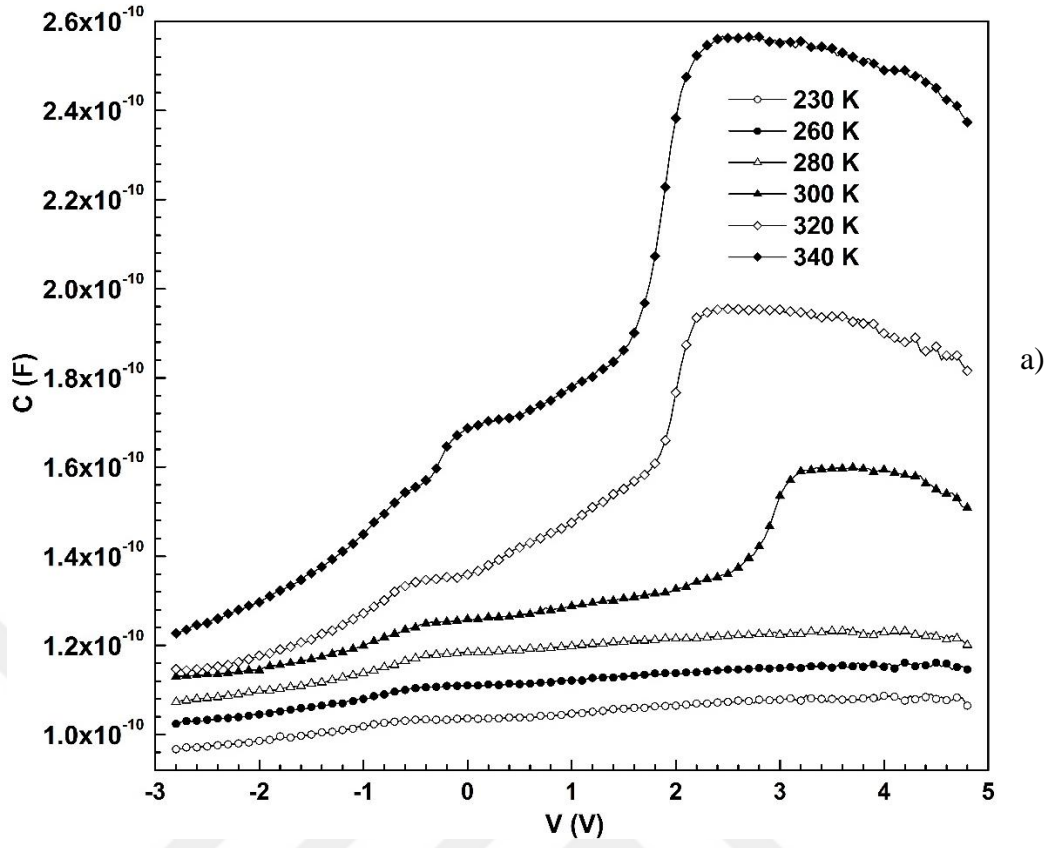
M'' değerleri ise düşük frekans bölgesinde 0.100 V ile 0.175 V arasında frekansın artmasıyla azalmakta ve 0.200 V ile 0.400 V arasında frekansın artmasıyla artmaktadır. M'' - $\ln(f)$ karakteristiği, frekansın artmasıyla birlikte pik vermektedir. Pik pozisyonu, voltajın artması ile birlikte daha düşük frekanslara doğru kaymaktadır. Piklerin genliği, ara yüzey tuzak yükünün katkısından dolayı frekansın azalması ile artmaktadır. Bu davranış, dielektrik durulma mekanizmalarının tükenim ve yığılım bölgelerinde uygulanan voltajdan ziyade frekansın daha etkili olmasına atfedilebilir [116].

4.3. FARKLI SICAKLIKLARDA C-V VE G/ω -V ÖLÇÜMLERİ

4.3.1. Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Özellikler

Elektrik ve dielektrik özellikleri üzerine sıcaklık etkilerinin incelenmesi için ölçüm yapılacak Al/(CdS-PVA)/p-Si yapı bir bakır tutucuya monte edildi ve gümüş teller kullanılarak üst elektrotlarla elektrik kontakları oluşturuldu. Sıcaklığa bağlı empedans ölçümleri HP 4192A LF empedans analizörü kullanılarak 500 kHz frekans değerinde kriyostat içerisinde 230 K ile 340 K sıcaklık aralığında gerçekleştirildi.

Şekil 4.24 a ve b grafikleri, 500 kHz frekansta, sırasıyla Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj eğrilerinin sıcaklığa bağlılığını göstermektedir. Şekil 4.24 a'daki karakteristikler incelendiğinde, yığılım bölgesinde oda sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda bir pik noktası göstermektedir. Pikin pozisyonları sıcaklık ve voltajın etkisi altında değişmektedir. Pik noktaları elektrik alan etkisinde sıcaklığın artması ile birlikte tuzaklarda oluşan yüklerin yeniden yapılandırılması ve yeniden sıralanmasına sebep olur. Oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda C-V-T grafiği pik davranışı sergilemektedir. Bu pik noktaları 340 K'de 2.4 V'da, 320 K için 2.3 V'da ve 300 K'de 3.2 V'da görülmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte termal enerjideki artış nedeniyle tükenim bölgesi daha düşük voltajlara doğru kaymaktadır. C-V-T'nin bu pik noktaları, arayüzey varlığına ve arayüzeyin homojen olmamasına atfedilebilir [34].

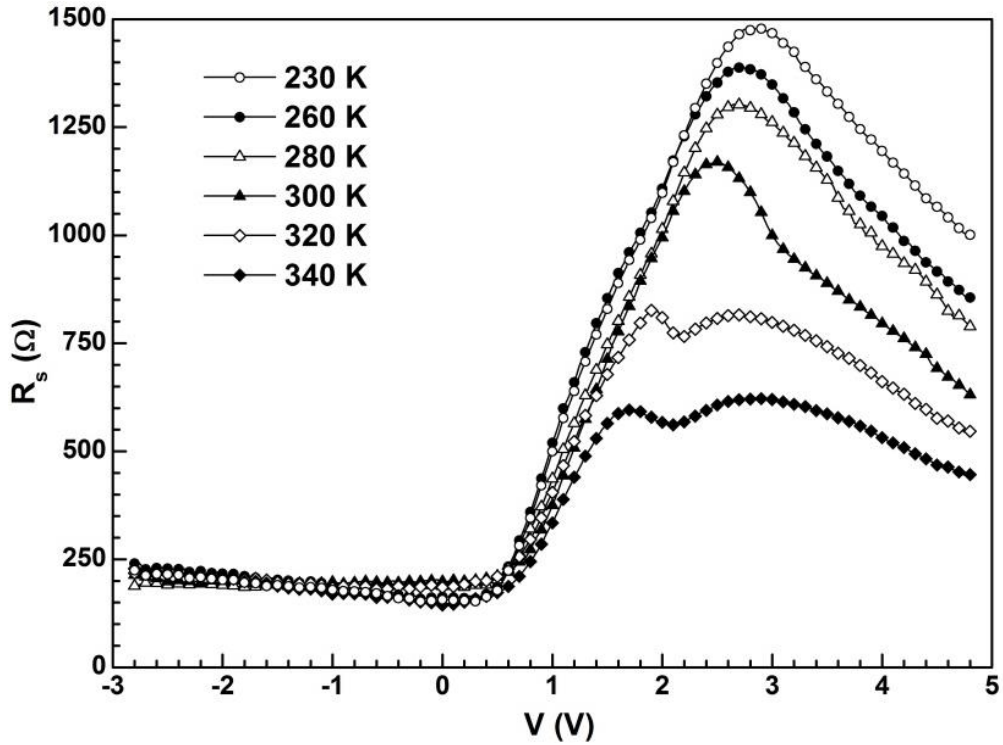


Şekil 4.24. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) C-V-T b) G/ω -V-T grafikleri.

Şekil 4.24 b üzerinde görüleceği üzere G/ω değerleri sıcaklığın artması ile ileri beslem bölgesinde artış göstermektedir. Bu artış, arayüzey tabakasında sıcaklık ile aktive olan yük taşıyıcılarından kaynaklanabilir. Bu artışın bir diğer nedeni de alan yükünün arayüzey katmanındaki dağılımıdır [28], [97].

Yapının 500 kHz'de güçlü yığılım bölgesinde ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerlerinden çıkartılan R_s değeri, Denklem (2.24) kullanılarak hesaplanabilir [117]–[119].

Denklem (2.24) kullanılarak hesaplanan R_s -V karakteristiği Şekil 4.25'de verilmiştir.

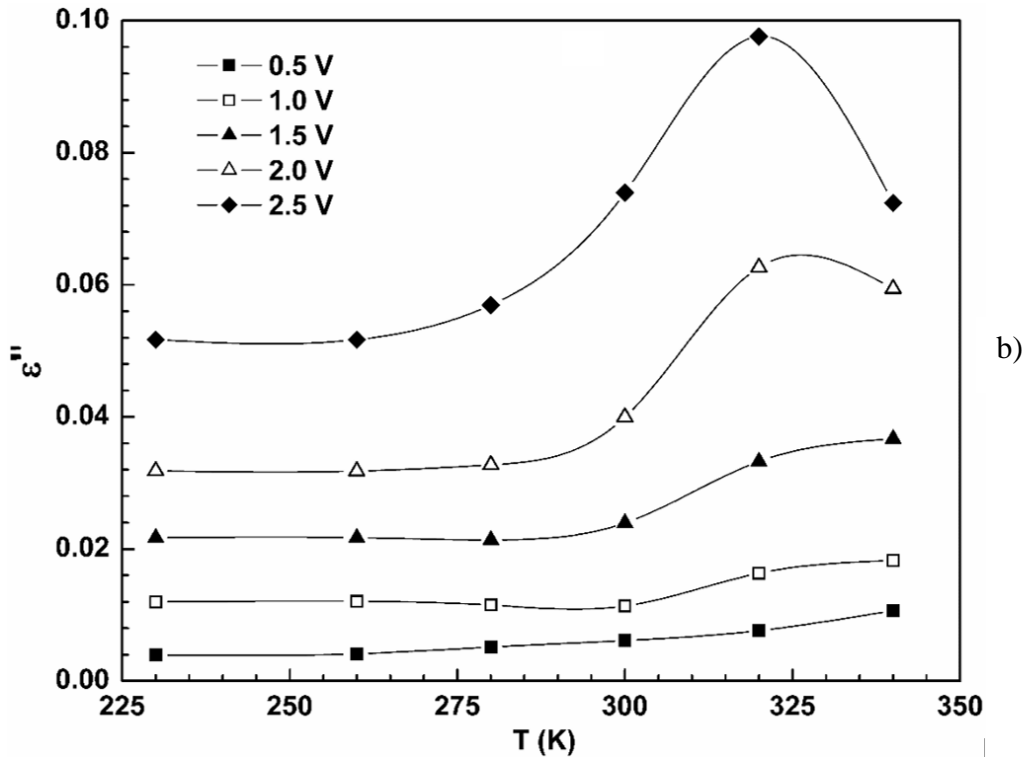
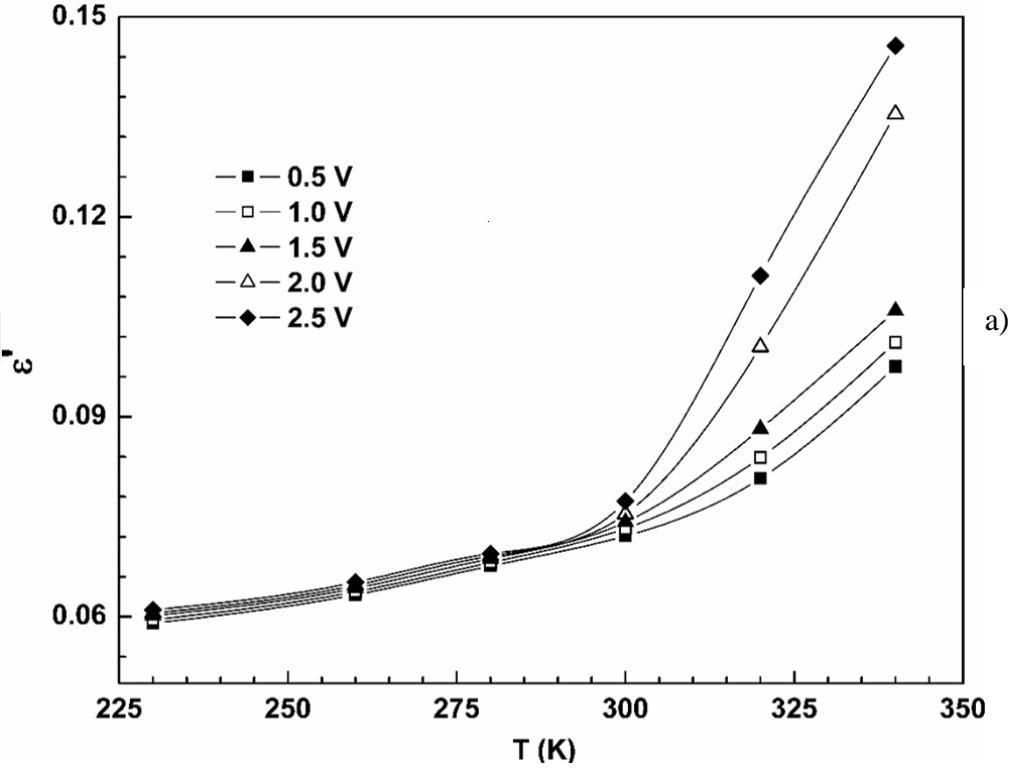


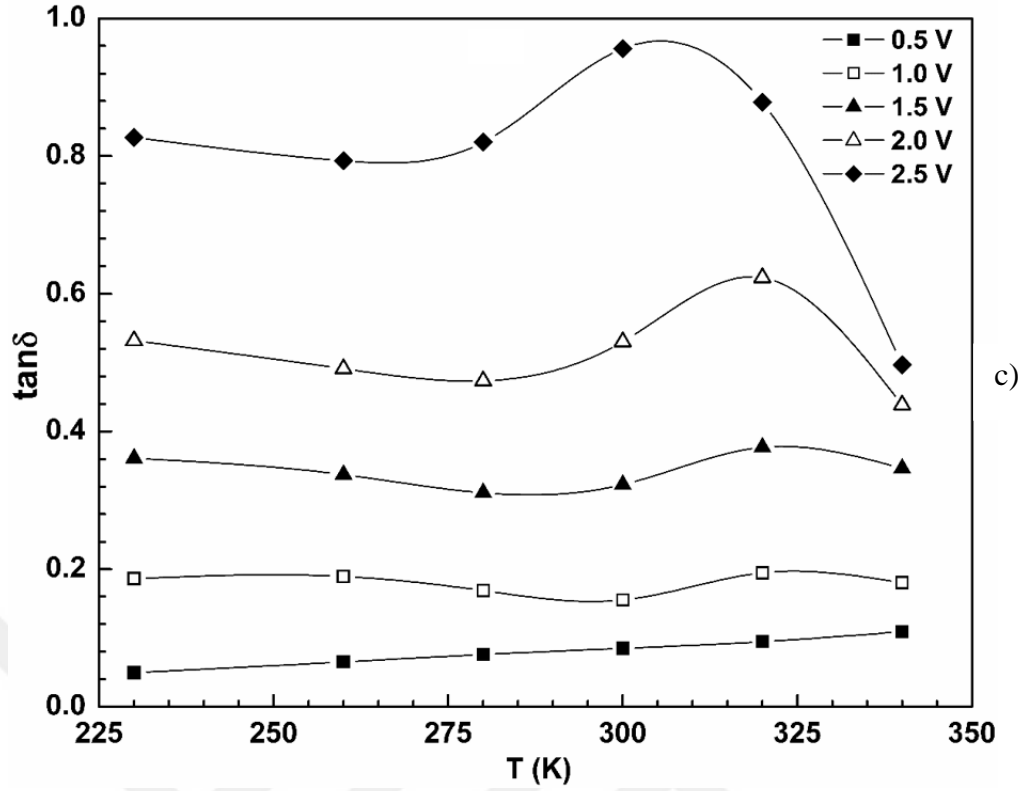
Şekil 4.25. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_s -V-T grafiği.

-3.0 V ile 0.8 V aralığında R_s değerleri hemen hemen sıcaklık ve voltajdan bağımsızdır. 230 K, 260 K, 280 K ve 300 K için 2.0 ile 3.0 V gerilim aralığında R_s değerleri pik vermektedir. 320 K ve 340 K için 1.0 V ile 2.0 V (ilk pik noktası) ve 2.5 V ile 3 V (ikinci pik noktası) aralıklarında iki pik noktası bulunmaktadır. R_s -V eğrisinde ortaya çıkan pik davranışları, bir elektrik alanın etkisi altında arayüzey durumlarının varlığına ve yüklerin yeniden düzenlenmesine ve yeniden yapılandırılmasına atfedilebilir [31], [95], [117]. Yüksek sıcaklıklarda yükler, metal ve yarıiletken arayüzeyi arasında yer alan tuzaklardan kurtulmak için yeterli enerjiyi kazanıp iletme katkıda bulduklarından tükenim ve yığılım bölgelerinde seri dirençte bir azalma ortaya çıkmaktadır [120].

4.3.2. Sıcaklığa Bağlı Dielektrik Özellikler

ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{ac} parametreleri Denklem (4.16), Denklem (2.44) kullanılarak deneysel C_m ve G_m verilerinden hesaplanmıştır. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz frekansta ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı davranışları sırasıyla Şekil 4.26 a, b ve c'de gösterilmektedir.



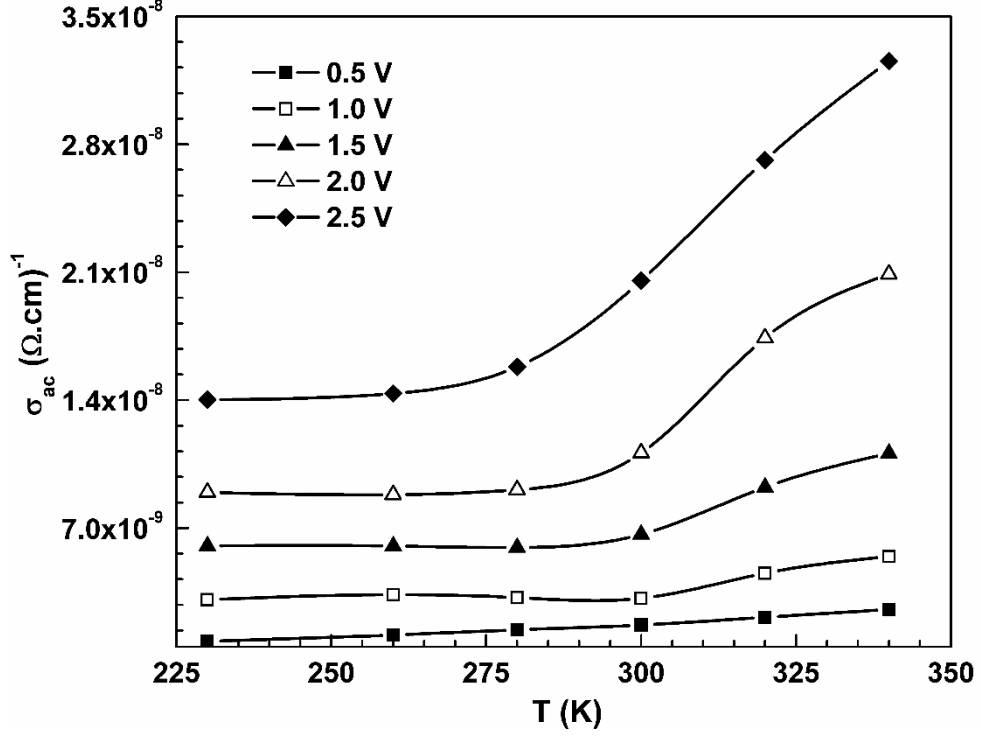


Şekil 4.26. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) ϵ' -V-T b) ϵ'' -V-T c) $\tan\delta$ -V-T eğrileri.

ϵ' , ϵ'' değerleri, sıcaklık ve voltajın artması ile genel olarak artmaktadır. Sıcaklık ve voltaj artışı çoğunluk yük taşıyıcılarının (elektron ve deşik) hareketliliğini artırır. Sıcaklık artışı örgü kusuru ve düzensizliğini arttırdığı için yük taşıyıcılarının sayısı üstel olarak artar ve daha fazla arayüzey polarizasyon meydana gelir. Polarizasyonun artması dielektrik sabitinde artış meydana getirir [121]. ϵ'' -T grafiği, 2.0 V ile 2.5 V için yaklaşık 320 K'de pik vermektedir. $\tan\delta$ -grafiği, 2.5 V için yaklaşık 300 K'de bir pik noktası verir ve pik pozisyonu 1.0 V'da yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır ve daha düşük gerilimler için pik kaybolmaktadır [24], [31]. Sıcaklık değişimleri ile ortaya çıkan ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ karakteristiklerinde meydana gelen değişimler uzay yükü polarizasyonuna, yüzey durumlarına ve elektrik alandaki bozulmalara atfedilebilir [122].

Oda şartlarındaki ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ değerleri ile kriyostat içerisinde alınan 300 K sıcaklığında elde edilen değerler arasında fark gözükmemektedir. Bu farkın oluşmasının sebebi Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarda ölçüm alınırken farklı kontakların kullanılmasıdır. Bu yüzden kontaklar arasında farklı ölçüm değerleri alınabilmektedir.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz frekansta σ_{ac} karakteristiğinin sıcaklığa bağlı davranışları Şekil 4.27’de gösterilmektedir. Sıcaklığa ve gerilime bağlı σ_{ac} değerleri 300 K’den sonra üstel bir artış göstermektedir. σ_{ac} ’nin üssel artışı, sıcaklığın artması ile seri dirençteki azalmadan kaynaklanır. Başka bir deyişle ara yüzey tabakasındaki yükler, sıcaklığın artmasıyla termal enerji kazanır. Bu sonuçlar literatürle uyumludur [31], [123].

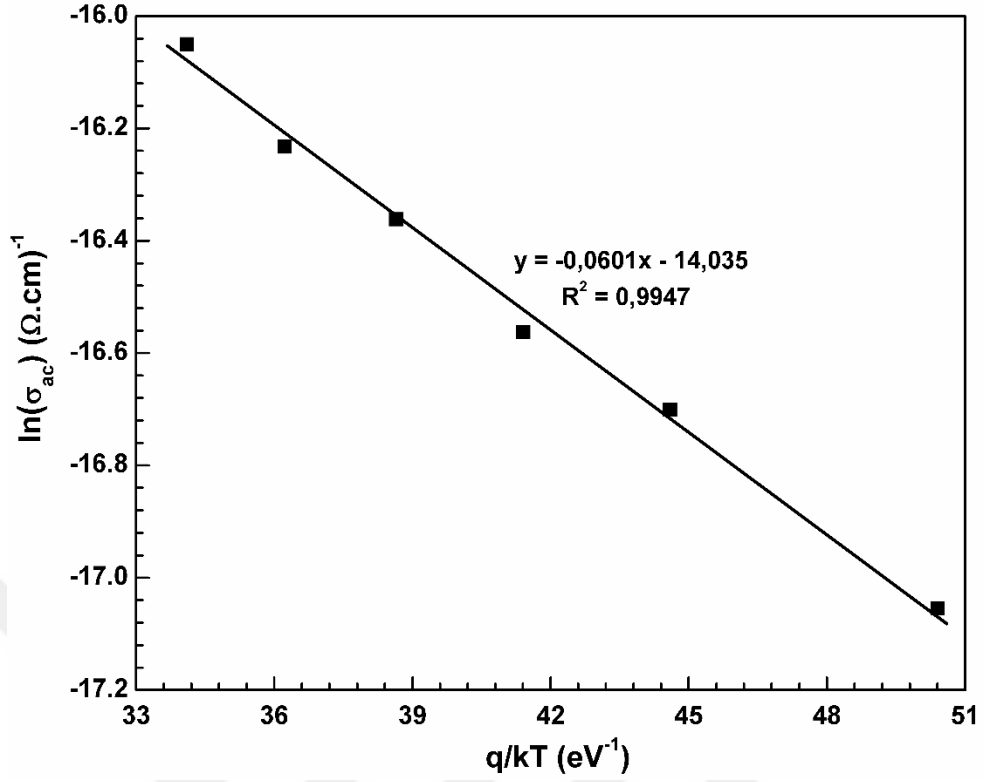


Şekil 4.27. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için σ_{ac} -V-T grafiği.

Literatüre göre [124]–[128], yüksek sıcaklıklarda σ_{ac} ’nin artışı, yapının parçacık sınırlarında bulunan kusurlarından kaynaklanır. Bu kusurlar, yarıiletken içerisindeki iletim bandının (E_c) tabanına uzanır; yapı içindeki kusurlar küçük aktivasyon enerjisine (E_a) sahiptirler. Yapıdaki elektriksel iletkenlik termal olarak aktive edildikten sonra, σ_{ac} ’nin sıcaklığa bağlılığı aşağıdaki formülle tanımlanabilir [123].

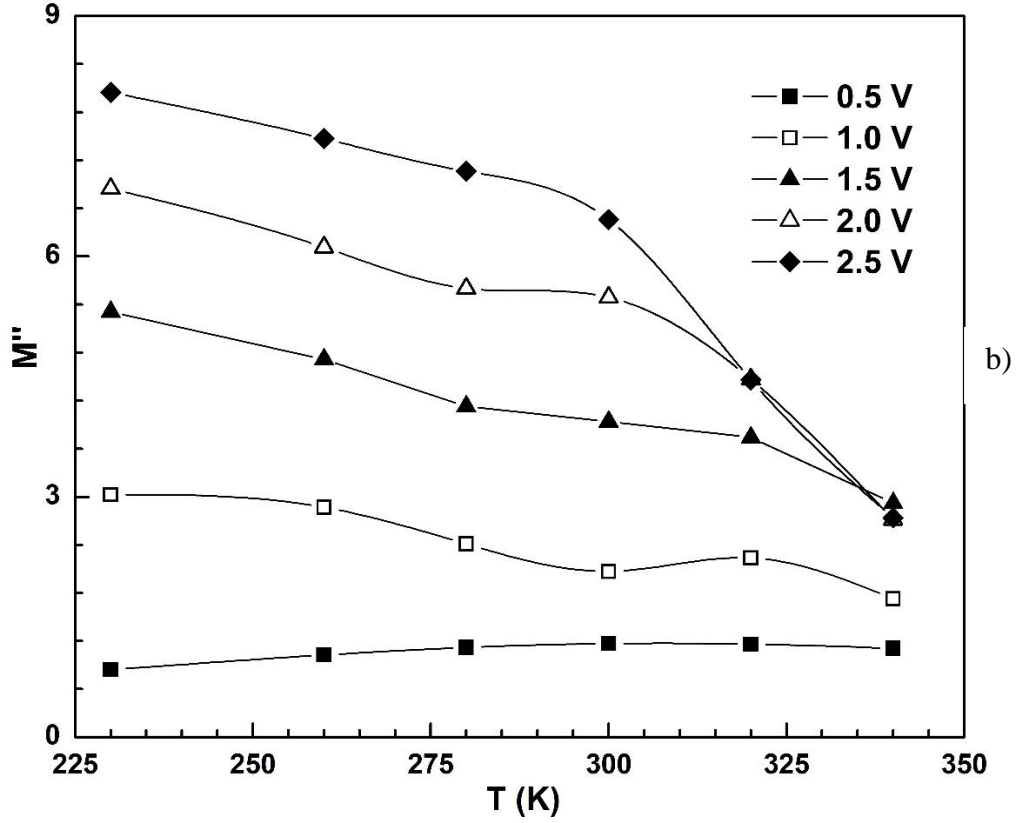
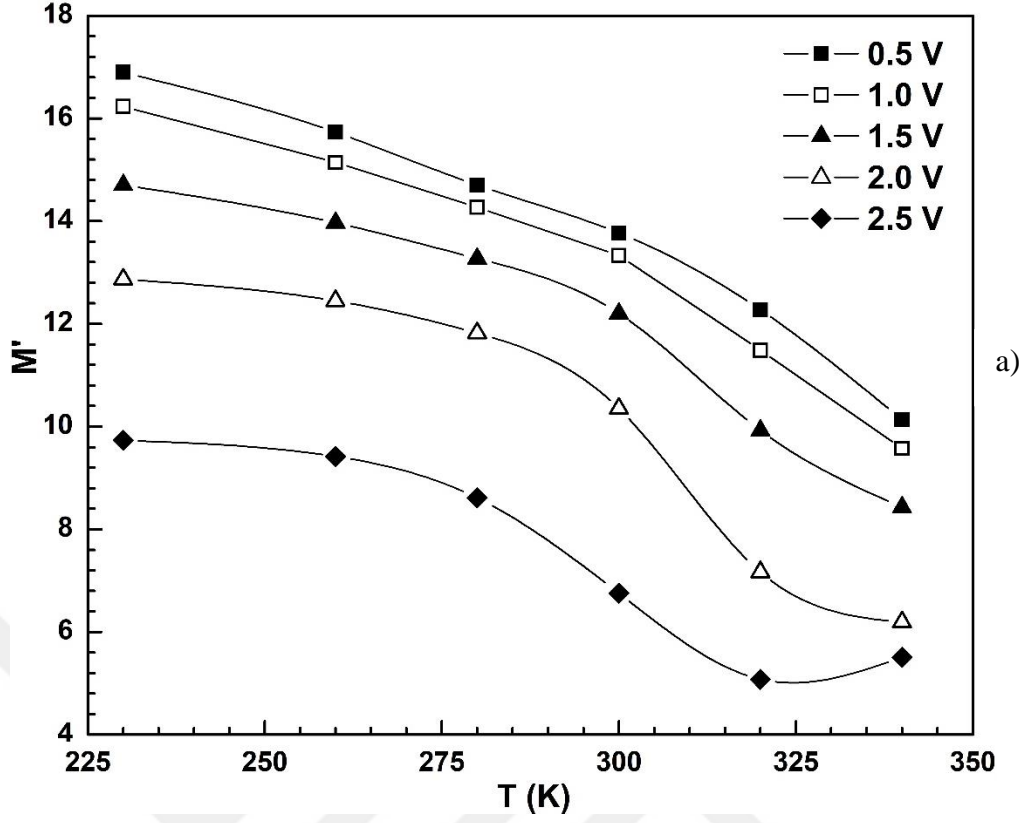
$$\sigma_{ac} = \sigma_0 \exp\left(\frac{-qE_a}{kT}\right) \quad (4.18)$$

burada, σ_0 0 K sıcaklıktaki elektriksel iletkenlik, k Boltzman sabiti ve q elektrik yükünü ifade etmektedir.



Şekil 4.28. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Arrhenius ($\ln(\sigma_{ac})-q/kT$) eğrisi.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz frekansta Arrhenius grafiğinin ($\ln(\sigma_{ac})-q/kT$) sıcaklığa bağlı davranışları Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri, q/kT 'ye karşı çizdirilen σ_{ac} eğrisinin eğiminden 0.0601 eV olarak elde edilmiştir [128]. Elde edilen aktivasyon enerjisi değeri düşük seviyededir. Düşük seviyeli E_a değerinin nedeni, termiyonik emisyon davranışı yüzünden daha fazla elektriksel yük ayrışmalarının sonucu olarak rekombinasyonun yeniden ortaya çıkmasıdır. Ayrıca, bulk tuzak seviyesi iç fermi enerji seviyesinin (E_F) üzerine çıkmaktadır ve E_c bant sınırına kadar yaklaşmaktadır [129].

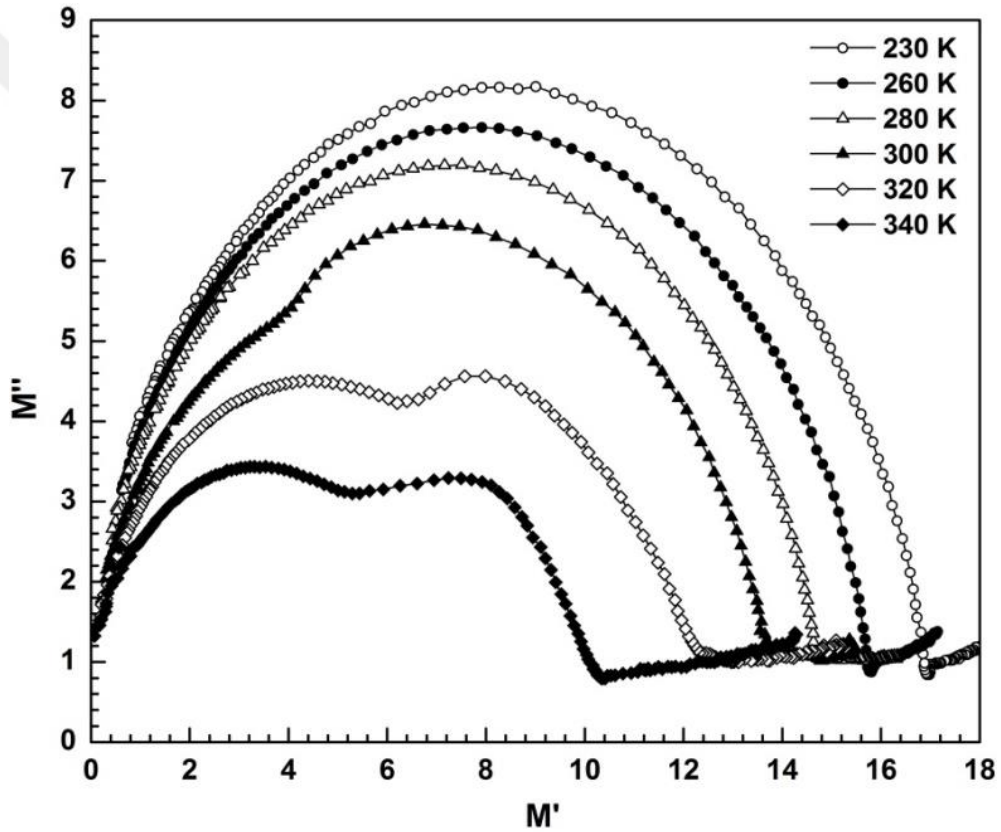


Şekil 4.29. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için a) M' -V-T b) M'' -V-T grafikleri.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz frekansta M' ve M'' karakteristiğinin sıcaklığa bağlı davranışları Şekil 4.29 a ve b'de gösterilmektedir. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının

kompleks elektriksel modülüs (M^*) formalizmi, yapıların dielektrik özelliklerinden hesaplanmaktadır [31]. Kompleks dielektrik ($\epsilon^*=1/M^*$) ilişkisi ise Denklem (2.47)'deki bağıntı kullanılarak kompleks M^* bağıntısına çevrilir.

M' değerlerinin sıcaklık ve voltajın artmasıyla azaldığı görülmektedir. M'' değerleri sıcaklığın artmasıyla azalırken, voltajın artmasıyla genel olarak artmaktadır. Elektriksel modülüsün sanal kısmı yaklaşık 0.5 V'da sıcaklıktan bağımsız hale gelmiştir. 1.5 V-2.5 V gerilim aralığında 300 K'den sonra M'' değerleri keskin şekilde azalmaktadır. Yapının elektriksel özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için elektriksel modülüsün reel ve sanal kısımlarından faydalanılarak Argand diyagramları incelenmelidir. Bunun için M' değerlerine karşı M'' grafiği olan Argand diyagramı çizilmiştir.



Şekil 4.30. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için Argand diyagramları.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz Argand diyagramları Şekil 4.30'de gösterilmektedir.

Şekil 4.30'den görüldüğü üzere, kompleks elektriksel modülüsün Argand diyagramları, 230 K-280 K'de bir yarım daire şeklinde tek bir durulma sürecine sahipken, bu diyagramlar 300 K-340 K'da çift yarım daire şeklinde çift durulma sürecine sahiptir.

300 K-340 K'deki çift yarım daire, Argand diyagramlarında bulunan birden fazla durulma mekanizmasını gösterir. Kompleks modülünün bu davranışı, kompleks dielektrik için çizilen Cole-Cole diyagramları ve özelliklerine oldukça benzemektedir. Durulma süreci yüzey ve dipol polarizasyonu etkilerine atfedilebilir [130]. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için oda sıcaklığında ve oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda durulma sürecinin daha iyi aktive olmasından dolayı sıcaklığın artışı ile birlikte bir yarım daire daha ortaya çıkarken, düşük sıcaklıklarda yük taşıyıcılarının atlama mekanizması daha baskın olduğundan dolayı sadece tek yarım daire oluşmaktadır. Hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıklarda durulma süreci kendisini daha çok ortaya çıkartmaktadır [131], [132]. Bu sonuçlar literatürle uyumlu olmakla birlikte özellikle son zamanlarda benzer çalışmalar da yapılmıştır [100], [133].



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Bu tez çalışması elektriksel ve dielektrik karakteristikler üzerine CdS-katkılı PVA arayüzey tabakasının etkilerinin incelenmesi ve araştırılması ile ilgilidir. Araştırma üç kısma ayrılabilir. Birinci olarak Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların üretim süreci. İkinci olarak oda sıcaklığında Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılarının yüksek ve düşük frekanslarda 5 kHz-5 MHz elektriksel ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi. Üçüncü olarak Al/(CdS-PVA)/p-Si yapısının geniş sıcaklık (230 K-340 K) ve voltaj (-3.0 V ile 5.0 V) aralıklarında elektriksel ve dielektrik özelliklerinin incelenmesidir. Bunun için ilk olarak, Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları üretilmiştir. Daha sonra temel elektriksel ve dielektrik parametreleri, oda sıcaklığındaki I-V, C-V ve G/ω -V karakteristiklerinden elde edildi. Elde edilen deneysel sonuçlar, bu parametrelerin sıcaklık, frekans ve voltaja oldukça bağlı olduğunu gösterdi. Hem C hem de G/ω değerleri sıcaklığın artmasıyla artarken, frekansın artmasıyla azalmıştır. C^2 -V karakteristiğinden, bariyer yüksekliğinin değeri elde edildi. Ölçülen I-V verilerinden elde edilen bariyer yüksekliği değeriyle karşılaştırıldığı zaman düşük frekanslarda daha düşük bir değer elde edildi. Yüksek frekanslardaki bariyer yüksekliği değeri ise I-V verilerinden elde edilen değere oldukça yakın bulundu. N_{ss} 'nin ve R_s 'nin karakteristiği, Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için sırasıyla Hill-Coleman ve Nicollian-Brews metotları kullanılarak, pozitif gerilimdeki C-V ve G/ω -V verileri kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu deneysel sonuçlar N_{ss} , R_s ve arayüzey tabakasının varlığının MPY yapılarının elektriksel özellikleri üzerinde çok etkili olduğunu doğrulamıştır. Her iki parametrenin de artan frekans ve sıcaklıkla azaldığı gözlemlendi. Bu azalma; düşük frekanslarda arayüzey durumlarının ac sinyalinin rahatlıkla takip edebilmesi ve düşük sıcaklıklarda ise yeterince yüklü taşıyıcının olmamasından kaynaklanmaktadır. N_{ss} değerleri ve polarizasyon özellikle tükenim bölgesinde baskınken R_s 'nin yığılım bölgesinde baskın olduğu görüldü.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıların ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' ve M'' gibi temel elektrik ve dielektrik parametreleri oda sıcaklığında C-V ve G/ω -V karakteristiklerinden elde edildi. Deneysel sonuçlar, bu parametrelerin özellikle tükenim ve yığılım bölgelerinde gerilim ve

frekansın güçlü bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. ϵ'' -V ve $\tan\delta$ -V grafiklerinde, tükenim bölgesinde ortaya çıkan geniş pik noktaları vardır ve bu pik değerlerinin büyüklüğü artan frekansla azalmaktadır. Ayrıca ϵ'' ve $\tan\delta$ 'nin pik davranışları katkı konsantirasyonu, arayüzey durum yoğunluğu ve yapının seri direnci gibi parametrelere atfedilebilir. M' değerleri relaksasyon mekanizması nedeniyle, $M^*=1/\epsilon''$ 'ye karşılık gelen bir maksimum sabit değere ulaşmaktadır. Bu tür davranışlar, dielektrik relaksasyon mekanizmalarının tükenim ve yığılım bölgelerinde uygulanan voltajdan ziyade frekansa daha duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır. M'' değerlerinin hem frekansın hem de voltajının artmasıyla arttığı ve tükenim bölgesinde bir maksimum değere ulaşarak pik noktası oluşturduğu görülmektedir. Bu pik noktalarının; relaksasyon mekanizmalarında oluşan polarizasyonlardan ve tuzaklarkaki yüklerin relaksasyon mekanizmasına katkı sağlamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için 500 kHz frekansta 230 K-340 K sıcaklık aralığında C-V-T ve G/ω -V-T karakteristikleri detaylı olarak incelenmiştir. G/ω 'de sıcaklığa bağlı olarak bir artış vardır. Bu artış, arayüzey tabakasında sıcaklık ile aktive olan yük taşıyıcı mobilitesinden kaynaklanabilir. C-V-T karakteristikleri, yığılım bölgesinde oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda bir pik noktası göstermektedir. C-V-T'nin bu pik noktaları, arayüzeydeki R_s 'ye ve CdS-PVA tabakasının varlığına atfedilebilir. Sıcaklığa bağlı olarak seri direncin davranışı incelenmiş olup, sıcaklık arttıkça R_s değerlerinin azaldığı görülmektedir. 230 K, 260 K, 280 K ve 300 K için 2.0 V ile 3.0 V gerilim aralığında R_s değerleri pik vermektedir. 320 K ve 340 K için 1.0 V ile 2.0V (ilk pik noktası) ve 2.5 V ile 3 V (ikinci pik noktası) aralıklarında iki pik noktası bulunmaktadır. R_s -V eğrisinde ortaya çıkan pik davranışları, bir elektrik alanın etkisi altında N_{SS} 'nin etkili olmasından kaynaklanabilmektedir. Seri dirençteki bu değişim aynı zamanda ac elektriksel iletkenlikle tersine ilişkilidir. Sıcaklığa bağlı olarak σ_{ac} değerleri üssel bir artış sergilemektedir. σ_{ac} 'nin üssel artışı, sıcaklığın artmasıyla seri direncin azalmasından kaynaklanmaktadır. Ara yüzey tabakasındaki yükler, sıcaklığın artmasıyla termal enerji kazanırlar. Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri, q/kT 'ye karşı çizdirilen σ_{ac} eğrisinin eğiminden 0.0601 eV olarak elde edilmiştir. Elde edilen aktivasyon enerjisi değeri düşük seviyededir. Düşük seviyeli E_a değerinin nedeni, sıcaklığın artmasına neden olan termiyonik emisyon davranışı yüzünden daha fazla elektriksel yük ayrışmalarının sonucu olarak rekombinasyonun yeniden ortaya çıkmasıdır.

Sıcaklığa bağlı dielektrik özellikler incelendiğinde ise ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ değerlerinin sıcaklığın ve voltajın artmasıyla arttığı görülmektedir. Sıcaklık değişimleri ile ortaya çıkan ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ değerlerinde meydana gelen varyasyonlar uzay yükü polarizasyonuna, yüzey durumlarına, Silisyum band boşluğuna ve elektrik alandaki bozulmalara atfedilebilir. M' değerlerinin artan sıcaklık ve voltaj ile azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, M'' değerleri sıcaklığın artmasıyla azalırken, voltajın artmasıyla artmaktadır. Sıcaklığa bağlı dielektrik davranışları ve relaksasyon mekanizmalarını daha iyi anlamak için son olarak Argand diyagramları incelenmiştir. Kompleks elektriksel modülüsün Argand diyagramları, 230 K-280 K'de bir yarım daire şeklinde tek bir relaksasyon sürecine sahipken, bu diyagramlar 300 K-340 K'da çift yarım daire şeklinde çift relaksasyon sürecine sahiptir. 300 K-340 K'deki çift yarım daire, Argand diyagramlarında bulunan birden fazla relaksasyon mekanizmasını gösterir. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için oda sıcaklığında ve oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda relaksasyon sürecinin daha iyi aktive olmasından dolayı sıcaklığın artışı ile birlikte bir yarım daire daha ortaya çıkarken, düşük sıcaklıklarda yük taşıyıcılarının atlama mekanizması daha baskın olduğundan dolayı sadece tek yarım daire oluşmaktadır. Oda sıcaklığı ve oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda relaksasyon süreci kendisini daha çok ortaya çıkartmaktadır.

Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için yarı logaritmik I-V grafiği kullanılarak, yapının ters doyum akımı (I_0), idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_{B0}), seri direnç (R_s), şant direnci (R_{sh}) ve doğrultma oranı (RR) gibi temel elektriksel parametreleri hesaplanmıştır. I-V verilerinden elde edilen idealite faktörü (n) değerleri arayüzey tabakasının varlığına, alt bariyerlerin ya da yüksek frekanslardaki bariyer yüksekliği değerlerine ve arayüzey katmanı/p-Si arayüzeyinde N_{ss} 'nin varlığına bağlanmıştır.

MPY yapısının I-V verilerinden elde edilen temel elektriksel parametreler literatürle karşılaştırıldığında; elde edilen n , R_s , Φ_{B0} ve ters I_0 değerlerinin daha küçük ve elverişli değerlerde olduğu görülmüştür. Al/(CdS-PVA)/p-Si yapılar için R_{sh} ve RR değerleri, CdS-PVA arayüzey polimer tabakasının yarıiletkenin yüzeyini pasifize etmesine bağlı olarak istenilen düzeyde değildir.

Sonuç olarak, CdS katkılı-PVA polimer malzemesinin, elektronik cihazların ve yeni teknolojilerin kalitesini veya performansını iyileştirmek için geleneksel SiO_2 yalıtkan tabakası yerine ara yüzey tabakası olarak kullanılabilceğini söyleyebiliriz.

5.2. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Al/(CdS-PVA)/p-Si yapıları için elde edilen deneysel sonuçlar ve izlenimler ışığında, gelecekte elektronik veya yeni teknolojik cihazların geliştirilmesi konularında çalışacak araştırmacılara yol gösterebilecek bazı tavsiye ve öneriler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- MPY yapılar üretilirken; katkısız polimer arayüzey malzemelerinin mümkün oldukça yarıiletkenin yüzeyindeki kusurları izole edebilen malzemelerden seçilmeleri önemlidir.
- Yük akış mekanizmasının daha düzenli olabilmesini sağlayacak uygun katkı malzemelerinin, katkı oranlarının ve üretim yöntemlerinin belirlenmesi elde edilecek yapının performansı için önemlidir.
- Arayüzey malzemesinin farklı kalınlıklarda üretilmesi, en optimum cihazın belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır.
- Arayüzey malzemesi seçiminde yalıtkan özellik gösteren polimerlerin yerine, yarıiletken özellik sergileyebilen malzemelerin tercih edilmesine yönelik çalışmalar cihaz çeşitliliğinin artması ve literatüre katkı sağlaması açısından önemlidir.
- Üretilen MPY yapıların hazırlanmasında deneysel ortamların ve şartların iyileştirilmesi istenilen sonuca ulaşılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Düşük basınçlı (yüksek vakum), kimyasal safsızlık ve ortam kirliliklerinin minimum olduğu bir deney ortamı sağlıklı bir cihaz üretimine imkân sağlayacaktır. Ortamın tüm dış etkilerden izole edilmiş olması ölçümün doğruluğunu artıracaktır. Bu yüzden hem üretim sürecinde hem de ölçüm sürecinde deneysel ortam büyük öneme sahiptir.
- Cihaz üretiminde sadece arayüzey malzemesinin değil aynı zamanda metal kontak ve yarıiletken malzeme seçiminde çeşitliliğin olması özgün nitelikte çalışmaların çıkmasına katkı sağlayabilir.
- Hem omik kontakın (düşük dirençli) hem de doğrultucu kontakın cihaz performansına doğrudan etkisi olmasından dolayı metal kontakın doğru seçimi oldukça önemlidir.

- Cihaz üretimi sırasında arayüzey malzemesinin yarıiletken üzerine düzgün ve homojen kaplanması cihaz performansını etkileyen önemli adımlardan birisidir. Bu yüzden kaplama yönteminin seçimi, yapılacak çalışmanın kalitesini arttırması bakımından oldukça önemlidir.
- Ölçüm sürecinde çok daha düşük frekanslar (μHz seviyeleri) ve çok daha yüksek frekanslar (GHz veya THz seviyeleri) denenebilir. Aynı şekilde çok düşük sıcaklıklar (4 K seviyeleri) ve çok yüksek sıcaklıklar (400 K ve üzeri seviyeler) denemeler yapılabilir. Böylece malzemelerin dayanıklılığını test etmek yoluyla elde edilecek başarıların cihazlara geniş kullanım alanları oluşturması önem arz etmektedir.
- Üretilecek bir MPY yapının ne derece güvenilir sonuçlar verdiğini anlamak amacıyla mutlaka standart bir MY yapı ile karşılaştırmak elde edilecek sonuçların tutarlılığını kontrol etmek açısından önemlidir.
- Bu tür çalışmalar sırasında disiplinler arası çalışmaların yapılması; sürecin hızlanmasını ve cihaz performansını geliştirebilecek yeni atılımların ortaya çıkmasını sağlayabilir.
- Elde edilen bulgularla bilinen teorik bilgilerin birbiriyle uyuşmaması halinde bu durumun üzerine yoğunlaşarak performansı etkileyen parametreleri düzeltme yoluna gidilmelidir
- Bu tür cihazların üretiminde kırılğan alttaşlar yerine bükülebilir alttaşların kullanımı üzerine yoğunlaşarak, çalışmalar son teknolojilere uygun yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] D. S. Reddy, M. B. Reddy, N. N. K. Reddy, and V. R. Reddy, "Schottky barrier parameters of Pd/Ti contacts on n-type InP revealed from I-V-T And C-V-T measurements," *Journal of Modern Physics*, vol. 2, no. 3, pp. 113-123, 2011.
- [2] S. Demirezen and Ş. Altındal, "On the temperature dependent profile of interface states and series resistance characteristics in (Ni/Au)/Al_{0.22}Ga_{0.78}N/AlN/GaN heterostructures," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 405, no. 4, pp. 1130-1138, 2010.
- [3] M. M. Bülbül and S. Zeyrek, "Frequency dependent capacitance and conductance-voltage characteristics of Al/Si₃N₄/p-Si(100) MIS diodes," *Microelectronic Engineering*, vol. 83, no. 11–12, pp. 2522-2526, 2006.
- [4] A. Phuruangrat, "Preparation and characterization of CdS nanowires by polyethylene glycol-assisted solvothermal reaction," *Journal of Ovonic Research*, vol. 7, no. 6, pp. 125-130, 2011.
- [5] K. Ando, A. Yamamoto, and M. Yamaguchi, "Surface band bending effects on photoluminescence intensity in n-InP schottky and MIS diodes," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 20, no. 6, pp. 1107-1112, 1981.
- [6] P. P. Sahay and R. S. Srivastava, "Characterization of interface states at Ni/n-Si schottky barriers from I-V characteristics," *Crystal Research and Technology*, vol. 25, no. 12, pp. 1461-1467, 1990.
- [7] A. Ahaito, A. Bath, B. Lepley, and A. Telia, "Photoluminescence intensity study of n-InP diodes in the accumulation regime," *Physica Status Solidi (a)*, vol. 156, no. 1, pp. 87-92, 1996.
- [8] F. Qasrawi, "Fabrication and characterization of TO/GaSe/(Ag, Au) schottky diodes," *Semiconductor Science and Technology*, vol. 21, no. 6, pp. 794-798, 2006.
- [9] R. Kaufmann, A. C. Pick, M. B. Pereira, and H. I. Boudinov, "Characterization of a SiC MIS schottky diode as rbs particle detector," *Journal of Instrumentation*, vol. 13, no. 2, pp. P02017 (1-14), 2018.
- [10] L. Sharma, "Physics of schottky barrier junctions," *Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their applications*, New York, USA: Springer, 1984, pp. 1-56.
- [11] G. W. Pickard, "Means for receiving intelligence communicated by electric waves," United States. 836531, August 30, 1906.
- [12] N. F. Mott, "Note on the contact between a metal and an insulator or semiconductor," *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 34, no. 4, pp. 568-572, 1938.

- [13] W. Schottky and E. Spenke, "Quantitative treatment of the space charge and boundary-layer theory of the crystal rectifier," *Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken*, vol. 18, pp. 225-291, 1939.
- [14] W. Mönch, "On the physics of metal-semiconductor interfaces," *Reports on Progress in Physics*, vol. 53, no. 3, pp. 221-278, 1990.
- [15] Y. Li, *Organic Optoelectronic Materials*, 1th ed., New York, USA: Springer, 2015.
- [16] S. M. Sze and K. K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices*, 3th ed. Central Laboratory San Jose, California, USA: John Wiley&Sons, 2007.
- [17] H. Tecimer, A. Türüt, H. Uslu, Ş. Altındal, and İ. Uslu, "Temperature dependent current-transport mechanism in Au/(Zn-doped)PVA/n-GaAs schottky barrier diodes (SBDs)," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 199, pp. 194-201, 2013.
- [18] S. Alialy, Ş. Altındal, E. E. Tanrikulu, and D. E. Yıldız, "Analysis of temperature dependent current-conduction mechanisms in Au/TiO₂/n-4H-SiC (metal/insulator/semiconductor) type schottky barrier diodes," *Journal of Applied Physics*, vol. 116, no. 8, pp. 83709 (1-9), 2014.
- [19] T. Tunç, İ. Uslu, and İ. Dökme, "Frequency and temperature dependence of dielectric properties of Au /polyvinyl alcohol (Co , Ni-doped)/n-Si schottky diodes," *International Journal of Polymeric*, vol. 59, no. 10, pp. 739-756, 2010.
- [20] H. C. Card and E. H. Rhoderick, "Studies of tunnel mos diodes I. interface effects in silicon schottky diodes," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 4, no. 10, pp. 1589-1601, 1971.
- [21] A. Neamen, *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles*, 4th ed., University of New Mexico, United States: McGraw-Hill, 2011.
- [22] M. Sharma and S. K. Tripathi, "Frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/Al₂O₃/PVA:n-ZnSe schottky barrier diodes," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 41, pp. 155-161, 2016.
- [23] İ. Dökme, Ş. Altındal, T. Tunç, and İ. Uslu, "Temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni, Zn-doped)/n-Si schottky diodes," *Microelectronics Reliability*, vol. 50, no. 1, pp. 39-44, 2010.
- [24] İ. Yücedağ, A. Kaya, H. Tecimer, and Ş. Altındal, "Temperature and voltage dependences of dielectric properties and ac electrical conductivity in Au/PVC+TCNQ/p-Si structures," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 28, pp. 37-42, 2014.
- [25] İ. Yücedağ, A. Kaya, Ş. Altındal, and İ. Uslu, "Electrical and dielectric properties and intersection behavior of G/ω-V plots for Al/Co-PVA/p-Si (MPS) structures at temperatures below room temperature," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 65, no. 12, pp. 2082-2089, 2014.
- [26] N. Baraz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalanderagh, G. Ersöz, İ. Orak, Ş. Altındal, B. Akbari, and H. Akbari, "Electric and dielectric properties of Au/ZnS-PVA/n-Si (MPS) structures in the frequency range of 10–200 kHz," *Journal of Electronic Materials*, vol. 46, no. 7, pp. 4276-4286, 2017.

- [27] M. Gökçen and T. Tunç, "Enhancement of dielectric characteristics of polyvinyl alcohol (PVA) interfacial layer in Au/PVA/n-Si structures by Bi₂O₃ disperse," *International Journal of Applied Ceramic Technology*, vol. 10, no. S1, pp. E64-E69, 2013.
- [28] G. Ersöz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalandaragh, İ. Orak, and Ş. Altındal, "Investigation of electrical characteristics in Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) structures using impedance spectroscopy method," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 63, no. 7, pp. 2948-2955, 2016.
- [29] N. Baraz, "Al/(ZnS-PVA)/p-Si (MPS) yapıların hazırlanması ve elektriksel ile dielektrik özelliklerinin geniş bir frekans ve sıcaklık aralığında incelenmesi," Doktora tezi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [30] N. B. Ukah, J. Granstrom, R. R. Sanganna Gari, G. M. King, and S. Guha, "Low-operating voltage and stable organic field-effect transistors with poly(methyl methacrylate) gate dielectric solution deposited from a high dipole moment solvent," *Applied Physics Letters*, vol. 99, no. 24, pp. 243302 (1-3), 2011.
- [31] A. Gümüş, G. Ersöz, İ. Yücedağ, S. Bayrakdar, and Ş. Altındal, "Comparative study of the temperature-dependent dielectric properties of Au/PPy/n-Si (MPS)-type schottky barrier diodes," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 67, no. 5, pp. 889-895, 2015.
- [32] O. Gunaydın, A. Demir, G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, and B. Çoşut, "The preparation of transparent organic field effect transistor using a novel EDOT functional styrene copolymer insulator with a PEDOT : PSS gate electrode," *Macromolecular Research*, vol. 26, no. 2, pp. 164-172, 2018.
- [33] A. B. Selçuk, S. Bilge Ocak, F. G. Aras, and E. O. Orhan, "Electrical Characteristics of Al/Poly(methyl methacrylate)/p-Si schottky Device," *Journal of Electronic Materials*, vol. 43, no. 9, pp. 3263-3269, 2014.
- [34] G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalandaragh, and Ş. Altındal, "Temperature and interfacial layer effects on the electrical and dielectric properties of Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) structures," *Journal of Electronic Materials*, vol. 47, no. 11, pp. 6600-6606, 2018.
- [35] Crowell and S. M. Sze, "Current transport in metal-semiconductor barriers," *Solid-State Electronics*, vol. 9, pp. 1035-1048, 1966.
- [36] A. K. Jonscher, "Dielectric relaxation in solids," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 32, no. 14, pp. R57-R70, 1999.
- [37] H. Uslu, "Au/(Co, Zn-Katkılı) polivinil alkol/n-Si schottky engel diyotlarının hazırlanması ve elektriksel özelliklerinin aydınlatma şiddetine bağlı incelenmesi," Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [38] H. Werner and H. H. Güttler, "Barrier inhomogeneities at schottky contacts," *Journal of Applied Physics*, vol. 69, no. 3, pp. 1522-1533, 1991.
- [39] İ. Yücedağ, "Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarda elektrik ve dielektrik özelliklerinin sıcaklık ve frekansa bağlı incelenmesi," Doktora tezi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.

- [40] M. Gökçen, “Au/SiO₂/n-GaAs (MOY) yapıların elektrik ve dielektrik karakteristiklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [41] G. Ersöz, “Organik arayüzeyli schottky diyotların hazırlanması, elektriksel ve dielektrik özelliklerinin geniş bir frekans aralığında incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015.
- [42] T. Tunç and M. Gökçen, “Preparation and electrical characterization of Au/n-Si (110) structure with PVA-nickel acetate composite film interfacial layer,” *Journal of Composite Materials*, vol. 46, no. 22, pp. 2843-2850, 2012.
- [43] P. Y. Yu and M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties*, 4th ed., New York, United States: Springer, 2010.
- [44] H. Altuntaş, Ş. Altındal, S. Özçelik, and H. Shtrikman, “Electrical characteristics of Au/n-GaAs schottky barrier diodes with and without SiO₂ insulator layer at room temperature,” *Vacuum*, vol. 83, no. 7, pp. 1060-1065, 2009.
- [45] H. Altuntaş, Ş. Altındal, H. Shtrikman, and S. Özçelik, “A detailed study of current-voltage characteristics in Au/SiO₂/n-GaAs in wide temperature range,” *Microelectronics Reliability*, vol. 49, no. 8, pp. 904-911, 2009.
- [46] M. Rudan, *Physics of Semiconductor Devices*, New York, USA: Springer, 2015.
- [47] M. Fiore, *Semiconductor Devices: Theory and Application*, New York, USA: Mohawk Valley Community College, 2017.
- [48] H. Rhoderick and R. H. Williams, *Metal-Semiconductor Contacts*, Oxford, England: Clarendon Press, 1988.
- [49] J. P. Colinge and C. A. Colinge, *Physics of Semiconductor Devices*, New York, USA: Springer, 2002.
- [50] R. T. Tung, “Electron transport at metal-semiconductor interfaces: general theory,” *Physical Review B*, vol. 45, no. 23, pp. 13509-13523, 1992.
- [51] Ş. Altındal, İ. Dökme, M. M. Bülbül, N. Yalçın, and T. Serin, “The role of the interface insulator layer and interface states on the current-transport mechanism of schottky diodes in wide temperature range,” *Microelectronic Engineering*, vol. 83, no. 3, pp. 499-505, 2006.
- [52] H. Uslu, İ. Dökme, I. M. Afandiyeva, and Ş. Altındal, “Illumination effect on I-V, C-V and G/w-V characteristics of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si structures at room temperature,” *Surface and Interface Analysis*, vol. 42, no. 6-7, pp. 807-811, 2010.
- [53] B. Taraev, *Physics of Dielectric Materials*, Moscow, Russian: Mir Publishers, 1975.
- [54] D. W. Hess and K. W. Jensen, *Microelectronics Processing: Chemical Engineering Aspects*, New York, USA: American Chemical Society Publication, 1989.
- [55] S. Siddabattuni, T. P. Schuman, and F. Dogan, “Dielectric properties of polymer-particle nanocomposites influenced by electronic nature of filler surfaces,” *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 5, no. 6, pp. 1917-1927, 2013.
- [56] T. W. Dakin, “Conduction and polarization mechanisms and trends in dielectric,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 22, no. 5, pp. 11-28, 2006.

- [57] P. Maheshwari, *Electronic Components & Processes*, New Delhi, India: New Age International Publishers, 2007.
- [58] R. Arora and W. Mosch, *High Voltage Insulation Engineering: Behaviour of Dielectrics-their Properties & Applications*, 1th ed., New Delhi, India: New Age International Publishers, 1995.
- [59] P. B. Macedo, C. T. Moynihan, and R. Bosz, "The role of ionic diffusion in polarization in vitreous ionic conductors," *Physics and Chemistry of Glasses*, vol. 13, no. 6, pp. 171-179, 1972.
- [60] C. Özder, "Titanyum dioksitin polivinil alkol (PVA) esaslı biyobozunur kompozit filmlerin UV-yaşlanma üzerine etkisi," Yüksek lisans tezi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2016.
- [61] N. Limpan, T. Prodpran, S. Benjakul, and S. Prasarpran, "Food hydrocolloids influences of degree of hydrolysis and molecular weight of poly (vinyl alcohol) (PVA) on properties of fish myofibrillar protein/PVA blend films," *Food Hydrocolloids*, vol. 29, no. 1, pp. 226-233, 2012.
- [62] C. C. Demerlis and D. R. Schoneker, "Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA)," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 41, no. 3, pp. 319-326, 2003.
- [63] M. Liu, B. Guo, M. Du, and D. Jia, "Drying induced aggregation of halloysite nanotubes in polyvinyl alcohol/halloysite nanotubes solution and its effect on properties of composite film," *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, vol. 88, no. 2, pp. 391-395, 2007.
- [64] S. Hajji, S. B. Khedir, I. Hamza-mnif, M. Hamdi, I. Jedidi, R. Kallel, S. Boufi, and M. Nasri, "Biomedical potential of chitosan-silver nanoparticles with special reference to antioxidant, antibacterial, hemolytic and in vivo cutaneous wound healing effects," *Biochimica et Biophysica Acta-General Subjects*, vol. 1863, no. 1, pp. 241-254, 2019.
- [65] F. Şat, "Yarı iletkenlerde iletkenlik ölçümleri," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2010.
- [66] R. Bhattacharya and S. Saha, "Growth of CdS nanoparticles by chemical method and its characterization," *Pramana-Journal of Physics*, vol. 71, no. 1, pp. 187-192, 2008.
- [67] R. Banerjee, R. Jayakrishnan, and P. Ayyub, "Effect of the size-induced structural transformation on the band gap in CdS nanoparticles," *Journal of Physics:Condensed Matter*, vol. 12, no. 50, pp. 10647-0654, 2000.
- [68] A. Dumbrava, C. Badea, G. Prodan, and V. Ciupina, "Synthesis and characterization of cadmium sulfide obtained at room temperature," *Chalcogenide Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 111-118, 2010.
- [69] V. Singh, P. K. Sharma, and P. Chauhan, "Synthesis of CdS nanoparticles with enhanced optical properties," *Materials Characterization*, vol. 62, no. 1, pp. 43-52, 2011.
- [70] C. F. Lin, S. M. Shih, and W. F. Su, "CdS nanoparticle light-emitting diode on Si," *Symposium on Integrated Optoelectronic Devices*, vol. 4641, pp. 102-110, 2002.

- [71] X. Duan, Y. Huang, R. Agarwal, and M. L. Charles, "Single-nanowire electrically driven lasers," *Nature*, vol. 421, pp. 241-245, 2003.
- [72] R. M. Ma, L. Dai, and G. G. Qin, "Enhancement-mode metal-semiconductor field-effect transistors based on single n-CdS nanowires," *Applied Physics Letters*, vol. 90, no. 9, pp. 2005-2008, 2007.
- [73] Z. Zhong, F. Qian, D. Wang, and C. M. Lieber, "Synthesis of p-type gallium nitride nanowires for electronic and photonic nanodevices," *Nano Letters*, vol. 3, no. 3, pp. 343-346, 2003.
- [74] X. Li, Y. Jia, J. Wei, H. Zhu, K. Wang, D. Wu, and A. Cao, "Solar cells and light sensors based on nanoparticle-grafted carbon nanotube films," *ACS Nano*, vol. 4, no. 4, pp. 2142-2148, 2010.
- [75] A. Morales-Acevedo, "Can we improve the record efficiency of CdS/CdTe solar cells?," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 90, no. 15, pp. 2213-2220, 2006.
- [76] X. Qian, H. Liu, Y. Guo, S. Zhu, Y. Song, and Y. Li, "Field emission properties and fabrication of CdS nanotube arrays," *Nanoscale Research Letters*, vol. 4, no. 8, pp. 955-961, 2009.
- [77] A. Pan, H. Yang, R. Liu, R. Yu, B. Zou, and Z. Wang, "Color-tunable photoluminescence of alloyed CdS_xSe_{1-x} nanobelts," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 127, no. 45, pp. 15692-15693, 2005.
- [78] L. Yu, C. Zhu, X. Fan, L. Qi, and W. Yan, "CdS/SiO₂ nanowire arrays and CdS nanobelt synthesized by thermal evaporation," *Journal of Zhejiang University Science A*, vol. 7, no. 11, pp. 1956-1960, 2006.
- [79] W. W. So, J. S. Jang, Y. W. Rhee, K. J. Kim, and S. J. Moon, "Preparation of nanosized crystalline CdS particles by the hydrothermal treatment," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 237, no. 1, pp. 136-141, 2001.
- [80] J. Xiao, T. Peng, K. Dai, L. Zan, and Z. Peng, "Hydrothermal synthesis, characterization and its photoactivity of CdS/rectorite nanocomposites," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 180, no. 11, pp. 3188-3195, 2007.
- [81] A. K. S. Aqili, Z. Ali, A. Maqsood, I. A. Qazi, A. U. Haq, M. Ahmad, and M. Abbas, "Optical and x-ray studies of low resistivity CdS films," *Journal of Materials Science Letters*, vol. 19, no. 14, pp. 1229-1231, 2000.
- [82] N. Mammadov, A. S. Aliyev, and M. Elrouby, "Electrodeposition of cadmium sulfide," *International Journal of Thin Films Science and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 43-53, 2012.
- [83] Y. F. Lin, J. Song, Y. Ding, S. Y. Lu, and Z. L. Wang, "Piezoelectric nanogenerator using CdS nanowires," *Applied Physics Letters*, vol. 92, no. 2, pp. 1-4, 2008.
- [84] C. Suryanarayana, *Mechanical Alloying and Milling*, New York, USA: Marcel Dekker, 2004.
- [85] Bensebaa, "Dry production methods," *Interface Science and Technology*, vol. 19, pp. 147-184, 2013.

- [86] B. G. Rao, D. Mukherjee, and B. M. Reddy, "Novel approaches for preparation of nanoparticles," *Nanostructures for Novel Therapy: Synthesis, Characterization and Applications*, Bucharest, Romania: Elsevier, 2017.
- [87] Maduraiveeran and R. Ramaraj, "A facile electrochemical sensor designed from gold nanoparticles embedded in three-dimensional sol-gel network for concurrent detection of toxic chemicals," *Electrochemistry Communications*, vol. 9, no. 8, pp. 2051-2055, 2007.
- [88] S. Park, J. Park, S. Yim, S. Park, Y. Lee, and C. Kim, "Preparation of organic/inorganic composite membranes using two types of polymer matrix via a sol-gel process," *Journal of Power Sources*, vol. 181, no. 2, pp. 259-266, 2008.
- [89] P. C. A. Jer, A. N. Ara, and M. Conceic, "Optical sensors and biosensors based on sol-gel films," *Talanta*, vol. 72, no. 1, pp. 13-27, 2007.
- [90] D. L. Stokes and T. Vo-dinh, "A sol-gel derived AgCl photochromic coating on glass for SERS chemical sensor application," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 106, no. 2, pp. 660-667, 2005.
- [91] S. Skaarup, K. West, B. Z. Christiansen, and M. Popall, "Towards solid state lithium batteries based on ORMOCER electrolytes," *Electrochimica Acta*, vol. 43, no. 10-11, pp. 1589-1592, 1998.
- [92] S. Sönmezöğlü, M. Koç, ve S. Akın, "İnce film üretim teknikleri," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 28, s. 5, ss. 389-401, 2012.
- [93] J. Hasanzadeh, Y. Azizan-Kalandaragh, and A. Khodayari, "Preparation of α -Fe₂O₃ nanostructures via simple ultrasound-assisted method," *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 14, no. 6, pp. 473-477, 2012.
- [94] P. Chattopadhyay and B. Raychaudhuri, "New technique for the determination of series resistance of schottky barrier diodes," *Solid-State Electronics*, vol. 35, no. 7, pp. 1023-1024, 1992.
- [95] A. Kaya, İ. Yücedağ, H. Tecimer, and Ş. Altındal, "A comparative electric and dielectric properties of Al/p-Si structures with undoped and Co-doped interfacial PVA layer," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 28, pp. 26-30, 2014.
- [96] İ. Dökme, "The effect of series resistance and oxide layer formed by thermal oxidation on some electrical parameters of Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 388, no. 1-2, pp. 10-15, 2007.
- [97] İ. Dökme and Ş. Altındal, "Comparative analysis of temperature-dependent electrical and dielectric properties of an Al-TiW-Pd₂Si/n-Si schottky device at two frequencies," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 58, no. 11, pp. 4042-4048, 2011.
- [98] R. Castagne and A. Vapaille, "Description of the SiO₂-Si interface properties by means of very low frequency MOS capacitance measurements," *Surface Science*, vol. 28, no. 1, pp. 157-193, 1971.
- [99] K. Hung and Y. C. Cheng, "Characterization of Si-SiO₂ interface traps in p-metal-oxide-semiconductor structures with thin oxides by conductance technique," *Journal of Applied Physics*, vol. 62, no. 10, pp. 4204-4211, 1987.

- [100] A. Kaya, S. Alialy, S. Demirezen, M. Balbaşı, S. Altındal Yerişkin, and A. Aytimur, "The investigation of dielectric properties and ac conductivity of Au/GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitors using impedance spectroscopy method," *Ceramics International*, vol. 42, no. 2, pp. 3322-3329, 2016.
- [101] A. Kaya, H. Tecimer, Ö. Vural, I. H. Taşdemir, and Ş. Altındal, "Capacitance/conductance-voltage-frequency characteristics of Au/PVC+TCNQ/p-Si structures in wide frequency range," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 61, no. 2, pp. 584-590, 2014.
- [102] H. Tecimer, H. Uslu, Z. A. Alahmed, F. Yakuphanoglu, and Ş. Altındal, "On the frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/PTCDA/p-Si (MPS) type schottky barrier diodes (SBDs)," *Composites Part B: Engineering*, vol. 57, pp. 25-30, 2014.
- [103] E. H. Nicollian and J. R. Brews, *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology*, New York, USA: Wiley, 1982.
- [104] W. A. Hill and C. C. Coleman, "A single-frequency approximation for interface-state density determination," *Solid State Electroics*, vol. 23, no. 9, pp. 987-993, 1980.
- [105] B. Şahin, F. Bayansal, M. Yüksel, N. Bıyıklı, and H. A. Çetinkara, "Effect of coumarin concentration on the physical properties of CdO nanostructures," *Ceramics International*, vol. 40, no. 4, pp. 5237-5243, 2014.
- [106] İ. Yücedağ, A. Kaya, Ş. Altındal, and İ. Uslu, "Frequency and voltage-dependent electrical and dielectric properties of Al/Co-doped PVA/p-Si structures at room temperature," *Chinese Physics B*, vol. 23, no. 4, pp. 047304 (1-6), 2014.
- [107] M. Afandiyeva, İ. Dökme, Ş. Altındal, M. M. Bülbül, and A. Tataroğlu, "Frequency and voltage effects on the dielectric properties and electrical conductivity of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si structures," *Microelectronic Engineering*, vol. 85, no. 2, pp. 247-252, 2008.
- [108] H. Uslu, Ş. Altındal, T. Tunç, İ. Uslu, and T. S. Mammadov, "The illumination intensity and applied bias voltage on dielectric properties of au/polyvinyl alcohol(Co, Zn-doped)/n-Si schottky barrier diodes," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 120, no. 1, pp. 322-328, 2011.
- [109] A. Kyritsis, P. Pissis, and J. Grammatikakis, "Dielectric relaxation spectroscopy in poly (hydroxyethyl acrylates)/water hydrogels," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. 33, no. 12, pp. 1737-1750, 1995.
- [110] Z. Tekeli, M. Gökçen, Ş. Altındal, S. Özçelik, and E. Özbay, "On the profile of frequency dependent dielectric properties of (Ni/Au)/GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N heterostructures," *Microelectronics Reliability*, vol. 51, no. 3, pp. 581-586, 2011.
- [111] S. P. Szu and C. Y. Lin, "AC impedance studies of copper doped silica glass," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 82, no. 2, pp. 295-300, 2003.
- [112] İ. Dökme, Ş. Altındal, and M. Gökçen, "Frequency and gate voltage effects on the dielectric properties of Au/SiO₂/n-Si structures," *Microelectronic Engineering*, vol. 85, no. 9, pp. 1910-1914, 2008.

- [113] İ. Yücedağ, A. Kaya, and Ş. Altındal, “On the frequency dependent negative dielectric constant behavior in Al/Co-doped (PVC + TCNQ)/p-Si structures,” *International Journal of Modern Physics B*, vol. 28, no. 23, pp. 1450153 (1-15), 2014.
- [114] T. Ataseven, A. Tataroğlu, T. Memmedli, and S. Özçelik, “Influence of frequency on electrical and dielectric properties of Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) structures,” *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 14, no. 7-8, pp. 640-645, 2012.
- [115] T. Ataseven, “Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) yapıların dielektrik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [116] S. Altındal Yerişkin, H. İ. Ünal, and B. Sarı, “Electrical and dielectric characteristics of Al/polyindole schottky barrier diodes. II. Frequency dependence,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 120, no. 1, pp. 390-396, 2011.
- [117] Ş. Altındal, İ. Yücedağ, and A. Tataroğlu, “Analysis of surface states and series resistance in Au/n-Si Schottky diodes with insulator layer using current-voltage and admittance-voltage characteristics,” *Vacuum*, vol. 84, no. 3, pp. 363-368, 2009.
- [118] N. Baraz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalandaragh, and Ş. Altındal, “Determining electrical and dielectric parameters of dependence as function of frequencies in Al/ZnS-PVA/p-Si (MPS) structures,” *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, no. 2, pp. 1315-1321, 2017.
- [119] İ. Yücedağ, “On the anomalous peak at low and moderate frequency C-V curves of Al/SiO₂/p-Si structure at the forward bias region,” *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, vol. 3, no. 6, pp. 612-615, 2009.
- [120] B. Kınacı and S. Özçelik, “Analysis of the temperature dependence of the capacitance-voltage and conductance-voltage characteristics of Au/TiO₂(rutile)/n-Si structures,” *Journal of Electronic Materials*, vol. 42, no. 6, pp. 1108-1113, 2013.
- [121] M. M. Bülbül, “Frequency and temperature dependent dielectric properties of Al/Si₃N₄/p-Si (100) MIS structure,” *Microelectronic Engineering*, vol.84, pp. 124-128, 2007.
- [122] R. R. Raju, R. N. P. Choudhary, and S. Ram, “Dielectric and electrical properties of Sr₅EuCr₃Nb₇O₃₀ nanoceramics prepared using a novel chemical route,” *Physica Status Solidi (b)*, vol. 239, no 2, pp. 480-489, 2003.
- [123] S. A. Awan and R. D. Gould, “Conductivity and dielectric properties of silicon nitride thin films prepared by RF magnetron sputtering using nitrogen gas,” *Thin Solid Films*, vol. 423, no. 2, pp. 267-272, 2003.
- [124] C. V. Kannan, S. Ganesamoorthy, C. Subramanian, and P. Ramasamy, “Dielectric properties of self-flux-grown RbTiOPO₄ single crystals,” *Physica Status Solidi (a)*, vol. 196, no. 2, pp. 465-470, 2003.
- [125] K. S. Moon, H. D. Choi, A. K. Lee, K. Y. Cho, H. G. Yoon, and K. S. Suh, “Dielectric properties of epoxy-dielectrics-carbon black composite for phantom materials at radio frequencies,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 77, no. 6, pp. 1294-1302, 2000.

- [126] A. Tataroğlu, Ş. Altındal, and M. M. Bülbül, "Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure," *Microelectronic Engineering*, vol. 81, no. 1, pp. 140-149, 2005.
- [127] S. Maity, D. Bhattacharya, and S. K. Ray, "Structural and impedance spectroscopy of pseudo-co-ablated (SrBi₂Ta₂O₉)(1-x)-(La_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃)_x composites," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 44, no. 9, pp. 095403 (1-10), 2011.
- [128] A. Tataroğlu, "Electrical and dielectric properties of MIS schottky diodes at low temperatures," *Microelectronic Engineering*, vol. 83, no. 11-12, pp. 2551-2557, 2006.
- [129] M. O. Aboelfotoh, A. Cros, B. G. Svensson, and K. N. Tu, "Schottky-barrier behavior of copper and copper silicide on n-type and p-type silicon," *Physical Review B*, vol. 41, no. 14, pp. 9819-9827, 1990.
- [130] J. R. Macdonald, "Impedance spectroscopy", *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 20, pp. 289-305, 1992.
- [131] I. M. Hodge, K. L. Ngai, and C. T. Moynihan, "Comments on the electric modulus function," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 351, no. 2, pp. 104-115, 2005.
- [132] K. S. Cole and R. H. Cole, "Dispersion and absorption in dielectrics: II. Direct current characteristics," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 10, no. 2, pp. 98-105, 1942.
- [133] S. Altındal Yerişkin, M. Balbaşı, and A. Tataroğlu, "Frequency and voltage dependence of dielectric properties, complex electric modulus, and electrical conductivity in Au/7% graphene doped-PVA/n-Si (MPS) structures," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 133, no. 33, p. 43827 (1-7), 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülçin ERSÖZ DEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.06.1990 Kdz. Ereğli
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :glcnersoz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Y. Lisans	Elektrik Eğitimi.	Düzce Üniversitesi	2015
Lisans	Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği.	Sakarya Üniversitesi	2012
Lise		Anadolu Ticaret Meslek Lisesi	2008

YAYINLAR

1. G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalandaragh, and Ş. Altındal, "Temperature and Interfacial Layer Effects on the Electrical and Dielectric Properties of Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) Structures," *Journal of Electronic Materials*, vol. 47, pp. 6600-6606, 2018.
2. O. Gunaydın, A. Demir, G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, and B. Çoşut, "The Preparation of Transparent Organic Field Effect Transistor Using a Novel EDOT Functional Styrene Copolymer Insulator With a PEDOT:PSS Gate Electrode," *Macromolecular Research*, vol. 26, pp. 164-172, 2018.

3. G. Ersöz, İ. Yücedağ, S. Bayrakdar, Ş. Altındal, and A. Gümüş, "Investigation of Photo-Induced Effect on Electrical Properties of Au/PPy/n-Si (MPS) Type Schottky Barrier Diode," *Journal of Materials Science Materials in Electronics*, vol. 28, pp. 6413-6420, 2017.
4. N. Baraz, İ. Yücedağ, A. Demir, G. Ersöz, Ş. Altındal, and M. Kandaz, "Controlling the electrical characteristics of Au/n-Si structure with and without (biphenyl-CoPc) and (OHSubs-ZnPc) interfacial layers at room temperature," *Polymers For Advanced Technologies*, vol. 8, pp. 952-957, 2017.
5. N. Baraz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalanderagh, G. Ersöz, İ. Orak, Ş. Altındal, and B. Akbari, "Electric and Dielectric Properties of Au/ ZnS-PVA/n-Si (MPS) Structures in the Frequency Range of 10-200 kHz," *Journal of Electronic Materials*, vol. 46, pp. 4276-4286, 2017.
6. G. Ersöz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalanderagh, İ. Orak, and Ş. Altındal, "Investigation of electrical characteristics in Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) structures using impedance spectroscopy method," *Ieee Transactions on Electron Devices*, vol. 63, pp. 2948-2955, 2016.
7. A. Demir, İ. Yücedağ, G. Ersöz, Ş. Altındal, N. Baraz, and M. Kandaz, "A comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si (MS), Au/biphenyl-CuPc/n-Si and Au/biphenylSubs-CoPc/n-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs)," *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, vol. 11, pp. 1-6, 2016.
8. İ. Yücedağ, G. Ersöz, A. Gümüş, and Ş. Altındal, "Dielectric Properties and Electric Modulus of Au/PPy/n-Si (MPS) type Schottky Barrier Diodes (SBDS) as a function of frequency and applied bias voltage," *International Journal of Modern Physics, B* vol. 29, pp. 1550075, 2015.
9. A. Gümüş, G. Ersöz, İ. Yücedağ, S. Bayrakdar, and Ş. Altındal, "Comparative Study of Temperature-Dependent Dielectric Properties of Au/PPy/n-Si (MPS) Type Schottky Barrier Diodes (SBDs)," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 67, pp. 889-895, 2015.
10. S. Altındal Yerişkin, G. Ersöz Demir, and İ. Yücedağ, "On The Frequency-Voltage Dependence Profile of Complex Dielectric, Complex Electric Modulus and Electrical Conductivity in Al/ZnO/p-GaAs Type Structures at Room Temperature," *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics (ACCEPT)*

11. G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, and S. Altındal Yerişkin “Characterization of surface states and their relaxation time in Al/ZnO/p-GaAs Structures by admittance method at room temperature,” *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics* (ACCEPT)
12. G. Ersöz Demir, and İ. Yücedağ “Comparative Study On The Frequency and voltage Dependent Dielectric Properties Of Au/n-SiC Metal Semiconductor (MS) And Au/Al₂O₃/n-SiC Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) Structures,” *Materials Research Express* (Under Review)
13. G. Ersöz Demir, and İ. Yücedağ “On the Main Electrical Parameters of Au/4H-n/SiC (MS) and Au/Al₂O₃/4H-n/SiC (MIS) Devices in Wide Range of Frequency and Voltage at Room Ambiance,” *Materials Research Express* (Under Review)

BİLDİRİLER

1. G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ, S. Altındal Yerişkin “Investigation On The Frequency And Voltage Dependence Of Admittance Characteristics Of Al/ZnO/p-GaAs Type Schottky Barrier Diodes (Sbds)” 5th International Conference on Materials Science and Nanotechnology For Next Generation (MSNG-2018), Kapadokya, 2018. (Sözlü Bildiri)
2. S. Altındal Yerişkin, G. Ersöz Demir, İ. Yücedağ “On The Frequency and Voltage Dependence Profile of Complex Dielectric, Complex Electric Modulus and Electrical Conductivity in Al/ZnO/p-GaAs Structures” 5th International Conference on Materials Science and Nanotechnology For Next Generation (MSNG-2018) Kapadokya, 2018. (Sözlü Bildiri)
3. N. Baraz, A. Demir, İ. Yücedağ, G. Ersöz, Ş. Altındal, M. Kandaz “Controlling the electrical characteristics of Au/n-Si structure with biphenyl-CoPc and OHSubsZnPc and without interfacial layer” 1st International Conference on Organic Electronic Material Technologies (OEMT-2015), Elazığ, 2015. (Sözlü Bildiri)
4. A. Demir, İ. Yücedağ, G. Ersöz, Ş. Altındal, N. Baraz, M. Kandaz “A comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si (MS), Au/biphenyl-CuPc/n-Si and Au/biphenylSubs-CoPc/n-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs)” 1st International Conference on Organic Electronic Material Technologies (OEMT-2015), Elazığ, 2015. (Poster Sunumu)
5. İ. Yücedağ, G. Ersöz, A. Demir, Ş. Altındal “Comparative Study on the Frequency dependent Dielectric Properties of Au/n-SiC Metal- Semiconductor (MS) and Au/Al₂O₃/n-SiC Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) Structures” The Twenty-Fifth Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-25), Roma, 2017. (Sözlü Bildiri)

6. A. Demir, G. Ersöz, İ. Yücedağ, O. Günaydın, B. Coçut, “Organic Field Effect Transistor with a Novel Thiophene Functional Styrene Copolymer Insulator using a PEDOT:PSS Composite Electrode” The Twenty-Fifth Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-25), Roma, 2017. (Sözlü Bildiri)

PROJELER

1. “Yalıtkan ve Polimer Arayüzeyle Schottky Diyotların Hazırlanması, Elektriksel ve Dielektrik Özelliklerinin Geniş Bir Sıcaklık ve Frekansa Aralığında İncelenmesi” Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (DÜBAP: 2013.07.02.204), 2013-Araştırmacı
2. “Metal-Polimer-Yarıiletken yapıların hazırlanması, Elektriksel ve Dielektrik özelliklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi” Düzce Üniversitesi Doktora Tez Projesi Projesi (BAP: 2017.07.02.567), 2017-Araştırmacı
3. “Organik Güneş Hücreleri ile Üretilmiş Organik Güneş Panelleri Üretimi” Tübitak 1512 - Teknogirişim Sermayesi Desteği Programı (BİGG: Proje Kodu:2170192), 2017-Araştırmacı