



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

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**ORGANİK ARAYÜZEYLİ SCHOTTKY DİYOTLARIN HAZIRLANMASI,
ELEKTRİKSEL VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN GENİŞ BİR FREKANS
ARALIĞINDA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ


GÜLÇİN ERSÖZ

TEMMUZ 2015

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Gülçin ERSÖZ tarafından hazırlanan “Organik Arayüzeyle Schottky Diyotların Hazırlanması, Elektriksel ve Dielektrik Özelliklerinin Geniş Bir Frekans Aralığında İncelenmesi” isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 22/06/2015 tarih ve 2015/365 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Üye
(Tez Danışmanı)
Doç.Dr. İbrahim YÜCEDAĞ
Düzce Üniversitesi

Üye

Doç.Dr. Bilal SARAÇOĞLU
Düzce Üniversitesi

Üye

Yrd.Doç.Dr. Devrim AKGÜN
Sakarya Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 08.07.2015

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Gülçin ERSÖZ’ün Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

12 Haziran 2015

(İmza)

Gülçin ERSÖZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyerek katkıda bulunan çok değerli hocam Doç. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince kendilerini ihmal ettiğim, iyi günümde, kötü günümde, sıkıntılı anlarımda, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anneme, babama ve nişanlım Ahmet DEMİR'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca yapıcı ve geliştirici katkılar sağlayan, her türlü deneysel imkana olanak veren, tüm bilgi, beceri ve tecrübesiyle özverili yardımlarda bulunan sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresince her zaman manevi destekleriyle yanımda olan arkadaşlarım Sümeyye BAYRAKDAR'a ve Nalan BARAZ'a teşekkür ederim

Ayrıca 2210-C Yurtiçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında tez çalışmalarım için sağlamış olduğu maddi destekten ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

12 Haziran 2015

Gülçin ERSÖZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	8
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	13
2.1. İLETKEN, YARIİLETKEN VE YALITKAN.....	13
2.2. KATILARIN BANT TEORİSİ VE İLETKENLİK.....	13
2.3.METAL-YALITKAN/POLİMER-YARIİLETKEN SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI	15
2.4. METAL-YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR	15
2.4.1. Doğrultucu ve omik kontak	16
2.5 İDEAL MIS YAPISI.....	17
2.5.1.MIS Yapılarda İdeal Durumdan Sapmalar	22
2.5.2. Arayüzey Durumları.....	23
2.5.3. MIS Yapılarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi.....	24
2.6. DİELEKTRİKLER ÖZELLİKLER.....	26
2.6.1. Dielektriksiz Paralel Plakalı Kondansatör	26
2.6.2. Dielektrikli Paralel Plakalı Kondansatör	27
2.6.2.1. Dielektrik Kutuplanma.....	28
2.6.2.2. Kutuplanma Mekanizmaları	29
2.6.3. Dielektrik Sabiti Ölçme Yöntemi	30
2.6.4. Dielektrik Kayıplar	32
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	34

3.1. POLYPYRROLE POLİMERİNİN BAZI TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	34
3.2. KRİSTAL TEMİZLEME.....	34
3.3.OMİK KONTAĞIN OLUŞTURULMASI	35
3.4.POLİMER KATMANIN OLUŞTURULMASI	37
3.5.DOĞRULTUCU KONTAĞIN OLUŞTURULMASI	37
3.6. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	39
4.1. PPY POLİMERİNİN DİELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ.....	39
4.2. PPY POLİMERİNİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
6. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Bir metal, yarıiletken ve yalıtkan için izin verilen enerji bandlarının elektronlar tarafından işgalinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.2. Bir MPS yapının şematik gösterimi	15
Şekil 2.3. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak durumundaki enerji-bant diyagramı	17
Şekil 2.4. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı a) p-tipi yarıiletken	17
Şekil 2.5. Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi	19
Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması (a)Yığılma (b) Tüketim (c) Tersinim	21
Şekil 2.7. İdeal bir MIS yapının devre şeması (a) Yığılma (b) Tüketim (c)Tersinim	22
Şekil 2.8. İdeal olmayan MIS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması	23
Şekil 2.9. Arayüzey tuzaklar ve seri direnç etkisini içeren eşdeğer devre	25
Şekil 2.10. Dielektriksiz paralel plakalı kondansatör	26
Şekil 2.11. Dielektrikli Kondansatör	27
Şekil 2.12. Dış elektrik alan uygulandığında dipollerin yönelimleri	29
Şekil 2.13. Dielektrik içeren bir kondansatörde yük akımı (I_c) ile kayıp akımı (I_l) arasındaki ilişki	32
Şekil 3.1. PPy'nin kimyasal yapısı	34
Şekil 3.2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan vakum içinde metal buharlaştırma sistemi düzeneği	36
Şekil 3.3. Omik kontak oluşturulurken kullanılan gölge maske	36
Şekil 3.4. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan gölge maske	37
Şekil 3.5. Au/PPy/n-Si (MPS) diyotun şematik gösterimi	37
Şekil 3.6. Deneysel Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü	38

Şekil 4.1.	Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının ϵ' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	40
Şekil 4.2.	Oda sıcaklığında Au/PPy/n-Si yapının farklı gerilimler için ϵ' değerlerinin frekansa bağlı değişim grafiği	41
Şekil 4.3.	Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının ϵ'' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	42
Şekil 4.4.	Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının ϵ'' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği	43
Şekil 4.5.	Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının $\tan\delta$ karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	44
Şekil 4.6.	Oda sıcaklığında Au/PPy/n-Si yapının farklı gerilimlerde $\tan\delta$ karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği	45
Şekil 4.7.	Oda sıcaklığında farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının M' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	46
Şekil 4.8.	Oda sıcaklığında farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının M'' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	46
Şekil 4.9.	Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının M' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği	47
Şekil 4.10.	Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının M'' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği	48
Şekil 4.11.	Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının σ_{ac} karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği	49
Şekil 4.12.	Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının σ_{ac} karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği	49

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak oluşumu	16

SİMGELER VE KISALTMALAR

V	Uygulanan gerilim
ω	Açısal frekans
R	Dielektrik dayanıklılık
R_s	Seri direnç
E	Elektrik alan şiddeti
Q	Elektrik yükü
$\tan\delta$	Dielektrik tanjant (Kayıp açısı)
\vec{P}	Kutuplanma vektörü
Å	Angström
C_{ox}	Oksit kapasitansı
A_{ox}	Oksit tabakasının alanı
d_{ox}	Oksit kalınlığı
ψ_s	Arayüzeydeki bant gerilimi
χ_e	Dielektriğin elektrik iletkenliği
χ_s	Yarıiletkenin elektron yakınlığı
τ	Arayüzey tuzaklarının ömrü
Ψ_s	Yüzey potansiyeli
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_{ox}	Oksit tabakasının dielektrik sabiti
ϵ'	Dielektrik sabiti
ϵ''	Dielektrik kayıp
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
C	Kapasitans
C_{ss}	Arayüzey kapasitansı
P	Elektrik dipol momenti

W_D	Tükenim bölgesi kalınlığı
Q_{sc}	Yarıiletkendeki uzay yükü
G	İletkenlik
G_p	Paralel iletkenlik
Z	Empedans
Y	Admittans
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MPS	Au/PPy/n-Si Metal-Polimer-Yarıiletken
C-V	Kapasitans-gerilim
G/ω -V	İletkenlik-gerilim
ac	Alternatif akım
dc	Doğru akım

ÖZET

ORGANİK ARAYÜZEYLİ SCHOTTKY DİYOTLARIN HAZIRLANMASI, ELEKTRİKSEL VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN GENİŞ BİR FREKANS ARALIĞINDA İNCELENMESİ

Gülçin ERSÖZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

Haziran 2015, 72 sayfa

Au/PPy/n-Si Schottky bariyer diyotlar (SBD) organik buharlaştırma tekniği sayesinde n-Si üzerine Polyprrole (PPy) organik katmanı oluşturularak üretildi. Yapının dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kaybı (ϵ''), kayıp tanjantı ($\tan\delta$), elektrik modülüsün gerçek ve sanal kısımları (M' and M'') ve ac elektriksel iletkenlik parametreleri (σ_{ac})'nin frekansa bağlılığı 10kHz-500kHz frekans aralığında incelendi. Artan frekansla birlikte; σ_{ac} , M' ve M'' değerlerinde artış gözlenirken, ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerlerinde azalma görülür. Bunun yanısıra, $\tan\delta$ ve M'' yaklaşık sıfır ön geriliminde artan frekansla azalan bir peak gösterir. Artan gerilimle birlikte; ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} ve M'' değerlerinde olurken gelirken, ϵ' ve M' değerlerinde azalma olur. ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' ve σ_{ac} değerlerindeki bu değişiklik yüzey yükü polarizasyonuna ve özellikle de PPy/n-Si arayüzeyine yerleşmiş yüzey durumları yoğunluk dağılımına atfedilir.

Anahtar sözcükler: Dielektrik özellikleri, Schottky bariyer diyot (SBD), Frekans ve gerilime bağlılık, Polyprrole (PPy), ac elektriksel iletkenlik, Elektrik Modülüs

ABSTRACT

PREPERING SCHOTTKY BARRIER DIODES (SBDs) WITH ORGANIC INTERFACE AND INVESTIGATING THEIR ELEKTRICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES IN A WIDE FREQUENCY RANGE

Gülçin ERSÖZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Education

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

June 2015, 72 pages

Au/PPy/n-Si Schottky barrier diodes SBDs were fabricated by forming polypyrrole (PPy) organic layer on n-Si using the organic evaporating technique. Frequency dependent dielectric constant (ϵ'), dielectric loss (ϵ''), loss tangent ($\tan\delta$), real and imaginary parts of electrical modulus (M' and M'') and AC electrical conductivity (σ_{ac}) parameters of the structure were investigated in the frequency range of 10kHz-500kHz. It was found that the values of the ϵ' , ϵ'' and $\tan\delta$, in general, decrease with increasing frequency while an increase is observed in σ_{ac} , M' and M'' . The $\tan\delta$ and M'' also exhibit a peak at about zero-bias voltage while peak intensity weakens with increasing frequency. The values of ϵ' and M' decrease with increasing voltage while an increase is observed in ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} and M'' . These changes in ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' and σ_{ac} values was attributed to surface charge polarization and the particular density distribution of surface states localized at PPy/n-Si interface.

Keywords: Dielectric properties, Schottky barrier diode (SBD), Frequency and voltage dependence, Polypyrrole (PPy), ac electrical conductivity, Electrical modulus

EXTENDED ABSTRACT

PREPERING SCHOTTKY BARRIER DIODES (SBDs) WITH ORGANIC INTERFACE AND INVESTIGATING THEIR ELEKTRICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES IN A WIDE FREQUENCY RANGE

Gülçin ERSÖZ

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Education

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

June 2015, 72 pages

1. INTRODUCTION:

Organic semiconductors used in electronic and photonic devices have many advantages compared to inorganic semiconductors, such as easy fabrication, lower energy and temperature requirements, low cost, and large-area applications on both rigid and flexible substrates. In the last decade, conducting polymer composites and blends have enormously attracted the attention of material researchers, with increasing interest in obtaining properties that are intermediate between those of the homopolymers. Among them, the most important study on conductive polymers including polypyrrole (PPy) was awarded the Nobel Prize in Chemistry in 2000. In addition, PPy is one of the new generations of polymeric materials and is one of the most promising materials for multifunctionalized applications. In general, pure polymers have low conductivity, but PPy has been the main focus because of the advantages, such as environmental stability, easy to synthesize and relatively high conductivity as compared to other derivatives. PPy can be easily prepared by either an oxidatively chemical or electrochemical polymerization of pyrrole. PPys are good conducting polymers compared with polythiophene, polyaniline and polyacetylene. Polymer matrices as host material such as polyvinyl chloride (PVC), poly (methylmethacrylate) (PMMA) and poly (vinyl alcohol) (PVA) have been used in order to increase the solubility as well as the mechanical strength of PPy. To our knowledge, there are almost no works on the dielectric properties, AC electrical conductivity (σ_{ac}) and electric modulus of PPy based on

Schottky barrier diodes (SBDs) or similar devices in the literature. Therefore, studies on frequency and voltage dependence of the dielectric properties, AC electrical conductivity and electric modulus are very important because these materials can be useful in applications in the field of capacitor manufacture, besides it may lead to a better clarification of conduction or charge transport mechanisms.

The main aim of this work is to provide a better understanding of frequency and voltage-dependent profile of the dielectric, electric modulus and AC conductivity properties of SBD capacitance-voltage-frequency using ($C-V-f$) and conductance-voltage-frequency ($G/\omega-V-f$) measurements in the frequency range of 10-500 kHz and voltage range of (-2V) to (3V) at room temperature.

2. MATERIAL AND METHODS:

Au/PPy/n-Si SBDs were manufactured on n-type Si wafer. The n-Si wafers were ultrasonically cleaned in trichloroethylene and ethanol. After, they were etched in a sequence of H_2SO_4 and H_2O_2 , 20% HF, a solution of $6HNO_3:1HF:35H_2O$, 20% HF and rinsed in the deionized water. After the cleaning processes, high purity Au (99.999%) with 1500 Å thickness was thermally evaporated onto the whole back side of the n-Si wafer at about 10^{-6} Torr with the physical vapor deposition for ohmic contact. In order to perform low resistivity ohmic contact, wafers were annealed at $450^\circ C$ in the nitrogen ambience. After ohmic contact formation, PPy was deposited on n-type Si substrate in the form of thin film through organic evaporation system at 400 . The thickness of this interfacial organic layer was measured by surface profilometer as 55. After deposition of PPy thin film, circular dots of 1 mm diameter or $7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ area and 1500 Å thick high purity Au were formed on the front of PPy/n-Si/Au structure through a metal shadow mask in the same vacuum system for rectifying contacts. In this way, the fabrication of Au/PPy/n-Si SBDs was completed. The experimental $C-V$ and $G/\omega-V$ measurements of the SBDs were carried out using a computerized HP 4192A LF impedance analyzer [(5kHz-13MHz)] at room temperature. The C and G measurements were carried out in the frequency range of 10-500 kHz as a function of voltage.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

In this paper, dielectric parameters such as the ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} , M' and M'' of the SBD were obtained as function of frequency and applied bias voltage using C and G/ω data at room temperature. Experimental results indicate that ϵ' is a strong function of voltage

and frequency in positive voltage region (depletion and accumulation regions). In these regions, the values of ϵ' decrease with increasing frequency and it reveals two peaks especially for low frequencies. While the first peak is around 1V, the other is around 1.8V. The first peak becomes disappeared at high frequencies because, at sufficiently high frequencies, the charges at traps or interface states cannot follow an external AC signal so they cannot make a contribution to the measured capacitance and conductance. At low frequencies, contrary to high frequencies, these charges can easily follow an AC signal and yield an excess capacitance and conductance to their measured values.

According to the variation of ϵ' with frequency for various biases, ϵ' decreases with increasing frequency, exponentially almost at all operating voltages. At 10kHz and 500kHz, the values of ϵ' at 0.6V are 3.98 and 1.92, whereas those at 3V are 1.05 and 0.335, respectively. In addition, the variation of ϵ' with frequency is significant as the voltage decreases from 3V to 0.6V. It is clear that the values of ϵ' in the voltage range of 3-0.6V varied from 1.05 to 3.98 at 10kHz and 0.335 to 1.92 at 500kHz. The value of ϵ'' is strongly dependent on both frequency and applied bias voltage especially in the depletion and accumulation regions. The value of ϵ'' is considerably high particularly at low frequencies. Furthermore, the distribution of ϵ'' -V was seen particularly between 0.6V and 3V. Both in the depletion and accumulation regions, the values of ϵ'' decrease with increasing frequency and they remain constant in the negative bias voltage region. The ϵ'' values of the SBD for various voltages decreased with increasing frequency, however they remained almost constant for all bias voltages at sufficiently high frequencies for each voltage. In other words, the value of ϵ'' is independent of voltage at high frequencies. The values of ϵ'' for the SBD obtained in the frequency range from 10kHz to 500kHz varied from 3.31 to 0.149 at 0.6V and from 38.155 to 1.012 at 3V, respectively.

The values of $\tan\delta$ were obtained using ϵ' and ϵ'' for the SBD at various frequencies. The values of $\tan\delta$ are a strong function of voltage and the frequency particularly at low frequencies. $\tan\delta$ exhibits a peak particularly at the low frequencies at approximately 0-1V and the peak position shifts toward positive applied bias voltage with increasing reordering and restructuring of interface states under applied bias voltage, R_s and the thickness of the interfacial insulator layer and its homogeneity. The frequency dependence of $\tan\delta$ profile of the SBD increase while applied bias voltage is increased, but they decrease while the frequency is increased. The values of the $\tan\delta$ for this SBD

obtained in the frequency range from 10kHz to 500kHz varied from 0.83 to 0.12 at 0.6V and from 9.65 to 3.01 at 3V, respectively.

M' and M'' were calculated from ϵ' and ϵ'' values for each bias voltage at various frequencies. M' and M'' are a strong function of applied bias voltage. In the negative bias voltage region especially between -2V and 0.6V, the values of M' decrease with increasing voltage and they are almost the same for all frequencies. Then they slightly increase between 0.6V and 3V between 10kHz and 300kHz. The values of M'' decrease with increasing frequency and they also reveal a distinctive peak at low frequencies in the inversion region. But the values of M'' nearly remain stable in the same region for high frequencies. The values of the frequency dependence of M' for various forward bias voltages decrease with increasing voltage between 10-500 kHz and increases with increasing frequency. The values of the frequency dependence of M'' at various bias voltages increase as frequency and bias voltage are increased. In addition, M' has a broad peak for each voltage at about 300 kHz. At low frequencies, the values of M' and M'' approach almost zero, which confirms the removal of electrical polarization.

The values of voltage and frequency dependence of σ_{ac} were explored. It is easy to see from calculating data that σ_{ac} remains almost constant or independent of frequency, the voltage increases from -2V to 0.5V at all frequencies. The σ_{ac} increases with increasing voltage from 0.6 V to 3 V and it also increases with increasing frequency from 10kHz to 500kHz. Besides that σ_{ac} increases with the increasing applied bias voltage for each frequency. It can be stated that the increase in σ_{ac} with increasing frequency is attributed to R_s and polarization effect.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

Frequency and voltage dependence of dielectric properties, electric modulus and AC electrical conductivity of the fabricated Au/PPy/n-Si SBD were investigated by using the experimental C and G/ω data in the wide frequency and applied bias voltage regions of 10-500kHz and voltage range of (-2V)-(3V), respectively, at room temperature. The interfacial PPy layer was coated on n-Si using the organic evaporating technique. Dielectric constant (ϵ'), dielectric loss (ϵ''), loss tangent ($\tan\delta$), the real and imaginary parts of electrical modulus (M' and M''), and AC electrical conductivity (σ_{ac}) of the SBD were determined as functions of frequency and applied bias voltage in the wide frequency and voltages range of 10-500kHz and (-2V) to (3V) at room temperature.

Experimental results indicated that ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' and σ_{ac} values of the SBD strongly depend on frequency and applied bias voltage, both particularly in depletion and accumulation regions. It was found that the values of ϵ' , ϵ'' and $\tan\delta$ decrease in general with increasing frequency while an increase is observed in σ_{ac} , M' and M'' . $\tan\delta$ and M'' also exhibit a peak at about zero-bias voltage that decreases with increasing frequency. On the other hand, the values of ϵ' and M' decrease with increasing voltage while an increase is observed in ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} and M'' . All of these changes in ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' and σ_{ac} values can be attributed especially to surface polarization, R_s of diode and the particular density distribution of surface states localized at PPy/n-Si interface under an external electric field. All of experimental results confirmed that the effects of surface polarization and interface states are more effective in the depletion region at low frequencies, but the value of R_s is effective only at accumulation region at high frequencies.

1. GİRİŞ

1950'li yıllarda başlayan mikro elektronik ile ilgili araştırmalar daha çok temel devre elemanları üzerine yapılmıştır. İlk dönemlerde yarıiletken olarak silisyum ve germanyum büyük ölçüde kullanılmış fakat zaman içinde silisyum kullanımı hakim olmuştur. Silisyumun doğada bol miktarda bulunmasının yanı sıra diğer önemli bir özelliği kristal yüzeyinde SiO₂ gibi tabii yalıtkan tabakanın kolayca elde edilebilmesidir [1]. Metal-yarıiletken kontaklar veya diğer adıyla Schottky diyotlar hakkında ilk bulgular, 1874 yılında Braun'un [2] yarıiletken kristaller üzerine bakır (Cu) ve demir (Fe) gibi metal kontakların doğrultucu doğasını keşfetmesiyle başlar [3]. Schottky diyotları, elektronik sanayinde mikrodalga karıştırıcı detektörleri, radyo-frekans devreleri (RF), hızlı anahtar (switching) uygulamaları, varaktörler (kapasiteleri uygulanan gerilime göre değişen kondansatörler), güneş pilleri, batarya gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bundan dolayı, bu tip diyotların özelliklerini ayrıntılı bir şekilde belirlemek için literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur [4-32]. Örneğin, 1947 yılında Walter H. Brattain ve John Barden [4,5] kristal redresör (doğrultmaç) yapmak için Bell Laboratuvarında çalışmalar yapmışlardır. Temel olarak yapılan bu çalışma çeşitli kristallere temas eden bir "catwhisker" in tek yönde iletken, diğer yönde büyük bir direnç göstermesi üzerinedir. Yani tek yönde akım geçirme üzerine yoğunlaşmışlardır. Yaptıkları deneyler sırasında Ge kristalinin ters akıma fazla direnç gösterdiği ve daha iyi bir doğrultma işlemi yaptığı gözlenmiştir.

Metal-yarıiletken (MS), arayüzey tabakalı metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) veya metal-polimer-yarıiletken (MPS) tipi Schottky engel diyotları (SBDs) elektronik endüstrisinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Son yıllarda bu yapılarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [3,4,6,13,27,32-43]. Bu çalışmalarda organik yarıiletkenlerin kullanımı ise, son zamanlarda organik iletken polimerlerin icadıyla büyük ölçüde önem kazanmıştır. Bu malzemelerin maliyetinin düşük olması, üretim süreçlerinin kolay olması, esnek bir yapıya sahip olmaları gibi önemli özelliklerinden dolayı hem elektronik hem de optoelektronik cihaz üretiminde çok yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir [44-49]. Işık yayan diyot (LED), işık yayan organik diyot (OLED), Schottky engel diyot

(SBD), güneş pili gibi mikro elektronik cihazların üretiminde optik, elektrik ve dielektrik özelliklerinin iyi olması sebebiyle tercih edilen çok sayıda polimer bulunmaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra iletken polimerler metalle kontak edildiğinde foto-voltaik, elektrolüminesans ve redresör özelliği gösterdiğinden son yıllarda elektronik endüstrisinde çok kullanılmaya başlamışlardır.

Dielektrikler (Yalıtkanlar) malzemelerin, elektriksel iletkenliği sağlayacak kadar serbest taşıyıcıları yoktur. Elektrik alan içerisine yerleştirilen dielektrik bir madde de meydana gelebilecek tek hareket, pozitif ve negatif yüklerin oluşan elektrostatik kuvvet altında zıt yönlerdeki küçük yer değiştirmeleridir. Bunun neticesinde dipol momentleri meydana gelir. İçinde böyle küçük yer değiştirmelerin olduğu bu dielektriklere kutuplanmış dielektrikler denilmektedir. Elektrik alan etkisi ortadan kaldırıldığında bu yükler eski yerlerine dönerler ve net dipol moment tekrar sıfır olur. Bunun aksine bazı dielektrik maddeler ise, elektrik alan içine yerleştirilmediği halde içerisinde belli bir yük ayrışımı vardır. Bu maddeler net bir dipol momente sahiptir. Bunlara polar dielektrikler adı verilmektedir. Dielektrik maddelerin elektriksel özellikleri çoğunlukla dielektrik sabitleri cinsinden ifade edilir. Çoğu maddelerde dielektrik sabiti, elektrik alan şiddetinden bağımsızdır, fakat değişken elektrik alan içerisinde frekansa bağlıdır [50]. Metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen yalıtkan tabaka, metal ile yarıiletkeni birbirinden izole etmenin yanı sıra yük geçişlerini de düzenler [51]. MS, MIS veya MPS yapıların hazırlanmasında doğrultucu kontak olarak, yarıiletkenin p-tipi veya n-tipi olmasına göre uygun iş fonksiyonuna sahip metaller seçilir. Kısacası, metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engeli oluşmasını sağlayacak iş fonksiyonu seçilmelidir. Metal olarak genellikle altın (Au), gümüş (Ag) ve alüminyum (Al) gibi yüksek saflıkta metaller kullanılırken, yarıiletken olarak daha ucuz ve kararlı olmasından dolayı genellikle silisyum (Si) tercih edilir. Metal ile yarıiletken arasında yük geçişlerini düzenlemek ve yarıiletken cihazın performansını artırmak amacıyla metal ile yarıiletken arasına genellikle SiO_2 , SnO_2 , Si_3N_4 , TiO_2 gibi yalıtkan veya poliindol, polianilin, polivinil alkol (PVA) ve Polypyrrole (PPy) gibi organik tabakalar büyütülür. Bu arayüzey tabakaları seçerken yüksek dielektrik sabitli, malzemelerin yüzeyini pasivize edebilecek, sızıntı akımlarını mümkün mertebede azaltacak, kontrol edilebilir akım-iletim mekanizması gerçekleştirecek ve doğrultucu özelliğe yaklaşacak nitelikte malzeme tercih edilmelidir.

Ayrıca, dielektrik özellikler özellikle arayüzey yalıtkan/polimer katmanına, hem onun kalınlığına hem de homojenliğine, polarizasyon işlemlerine, arayüzey durumlarına ve durulma zamanlarına, frekansına, sıcaklığına ve harici ön gerilim ve elektrik alanına bağlıdır. Arayüzey durumlarındaki yükler düşük frekanslardaki polarizasyonun büyüklüğüne katkıda bulunabilir ama bu katkı yeterince yüksek frekanslarda ihmal edilebilir ($f \geq 1$ MHz) [52]. Çünkü dielektrik malzeme veya polimer, denge pozisyonu veya tuzaklarından gelen yüklerin yerini alan harici elektrik alanı altında kolayca polarize edilebilir. Başka bir deyişle, yükler veya dipoller elektrik alanı veya sıcaklık altında yeniden yapılandırılabilir ve düzenlenebilir. Genellikle, elektronik, atomik veya iyonik, dipol veya yönelme ve arayüzey polarizasyonları gibi 4 tür polarizasyon, uygulanan harici AC elektrik alanının frekansına bağlı olarak meydana gelebilir [53,54]. Bunlar arasında elektronik ve iyonik polarizasyonlar, sadece çok yüksek frekanslarda meydana gelebilir (10^{10} - 10^{15} Hz) ancak yönelme ve yüzey polarizasyonları 1kHz-1MHz frekans aralığında ve sadece birkaç kHz düşük frekanslarda meydana gelebilir. Bu nedenle, düşük veya ara frekanslarda son iki tür polarizasyonu, toplam polarizasyona katkıda bulunabilir. Sonuç olarak, arayüzey malzemedeki elektrik yükleri ve dipoller, harici elektrik alanı altındaki uygulanan alana ve yeniden yönelmeye karşılık verir. Böylece, dielektrik özelliklerdeki frekansla değişim, durulma zamanına atfedilebilir; düşük frekanslarda elektrik dipolleri, alan yönü değişmeden önce alanla aynı hizaya gelebilmek için yeterince zamana sahiptir. Sonuç olarak, dielektrik sabitinin değeri oldukça yüksektir. Yüksek frekanslarda, dielektrik sabitinin değeri (ϵ'), dipollerin aynı hizaya gelebilmek için daha kısa zamanları olması nedeniyle azalır [55].

Organik malzemelerin tercih edilmesinin en önemli sebebi, üretim masraflarını önemli ölçüde düşüren spin kaplama gibi basit yöntemle büyük miktarlarda üretilbilmesidir [56-61]. Elektronik ve fotonik aygıtlarda inorganik yarıiletkenler yerine organik yarı iletkenleri kullanmanın; kolay üretim, düşük enerji ve sıcaklık gereksinimi, düşük maliyet, dayanıklı ve esnek alttaş üzerine geniş çaplı uygulanabilmesi gibi birçok avantajı vardır. Polimerlerin mekanik olarak dayanıklı ve hava ortamında kararlı olması bu malzemeleri ticari açıdan da önemli kılar. Son on yıl içinde, iletken polimerler özellikleri dolayısıyla araştırmacıların dikkatini büyük ölçüde çekmiştir [62-66]. MPS tipi Schottky engel diyotları yarıiletken teknolojisinin gelişmesi ve her geçen gün önemini artırması ile çok farklı kullanım alanları bulmaktadır.

İletken polimerden polypyrrole ile ilgili yapılan en önemli çalışma 2000 yılında Nobel kimya ödülü almıştır [67]. Ayrıca PPy yeni nesil polimerik malzemelerden birisidir ve çok fonksiyonlu uygulamalar için ümit vermektedir. Genellikle saf polimerler düşük iletkenliğe sahiptir. Ancak PPy; türevlerine kıyasla çevresel kararlılık, kolay sentez ve yüksek iletkenlik gibi avantajları sayesinde odak noktası olmuştur [68-70]. PPy; kimyasal oksidasyon veya pyrrole'nin elektrokimyasal polarizasyonu ile kolayca hazırlanabilir [71]. PPy'ler polythiophene, polyaniline, ve polyacetylene ile kıyaslandığında daha iyi iletken polimerlerdir [72]. Polyvinyl chloride (PVC), poly (methylemethacrylate) (PMMA), ve poly (vinyl alcohol) (PVA) gibi polimer malzemeler, PPy'nin mekanik gücünün yanı sıra çözünürlüğünü arttırmak için kullanılmıştır [73]. Literatürde SBD'ler veya benzeri cihazlarda; PPy'nin dielektrik özelliği, ac elektriksel iletkenlik ve elektrik modülüs üzerine az sayıda çalışma mevcuttur. Dolayısıyla ac elektriksel iletkenlik, elektrik modülüs ve dielektrik özelliklerinin frekans ve gerilime bağlılığı üzerine çalışılması, bu malzemelerin kondansatör üretim uygulamalarında kullanılması için yararlı olur. Bunun yanı sıra daha iyi yük iletim mekanizmaları veya iletme yol açabilirler [74-79].

Bu çalışmada, Au/PPy/n-Si (MPS) yapıların frekansa bağlı doğru ve ters beslem kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V) ölçümleri geniş bir frekans (10kHz-500kHz) aralığında incelendi. Bu ölçümlerden MPS yapının hem elektriksel karakteristikleri, hem de dielektriksel özellikleri frekansa bağlı olarak mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak incelendi. Bu çalışmada, yalıtkan arayüzey tabakalı Au/PPy/n-Si (MPS) diyotların oda sıcaklığında kapasitans-gerilim (C-V-f) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V-f) ölçümlerinden; dielektrik sabiti (ϵ') ve dielektrik kaybı (ϵ''), dielektrik kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ve elektrik modülü (M' ve M'') gibi dielektrik özellikleri ile ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}) gibi özellikler frekansa bağlı olarak incelendi. Deneysel sonuçlar, hem elektriksel, hem de dielektriksel özelliklerin frekansa oldukça bağlı olduğunu gösterdi. C-V-f ve G/ω -V-f ölçümlerinden dielektrik sabitinin (ϵ') ve dielektrik kaybının (ϵ'') frekansa bağlı değişiminin, özellikle düşük frekanslarda etkin olduğu gözlemlendi. Frekansın artmasıyla dielektrik sabiti ϵ' ve dielektrik kayıp ϵ'' azalırken elektriksel iletkenliğin σ_{ac} artmakta olduğu gözlemlendi.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, MS ve MIS tipi benzeri MPS Schottky diyotların önemi, kullanım alanları, çalışma prensibi hakkında bilgi verildi.

İkinci bölümde, MS ve MIS Schottky diyotların yapısı, kontak oluşumları ve ideal durumdan sapma nedenleri üzerinde duruldu. Üçüncü bölümde, numunenin hazırlanma aşamaları, PPy'nin temel özellikleri ve kullanılan deneysel sistem hakkında detaylı bir bilgi verildi. Dördüncü bölümde, kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V) ölçümlerinden elde edilen verilerden faydalanarak temel diyot parametreleri hesaplandı. Sonrasında bu parametreler çizelgeler ve grafikler şeklinde verilerek yorumlandı. Beşinci bölümde ise elde edilen tüm deneysel ölçüm sonuçları mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak değerlendirilip gerekli öneriler sunuldu.

2. TEMEL KAVRAMLAR

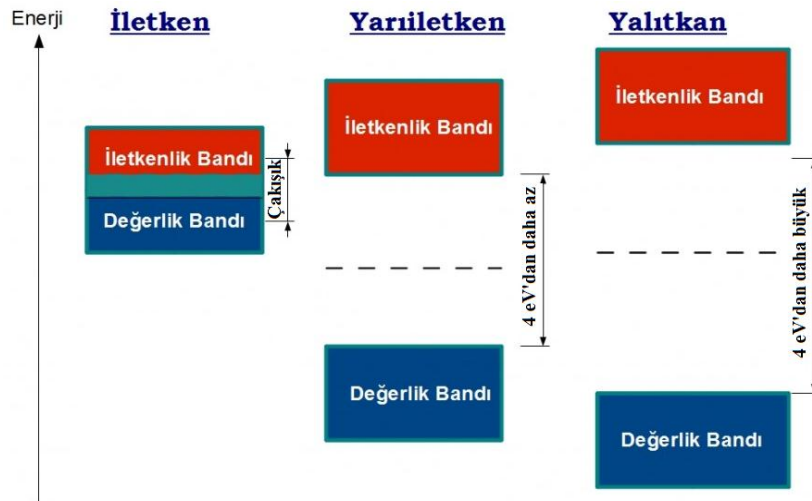
2.1. İLETKEN, YARIİLETKEN VE YALITKAN

Moleküller birden fazla atomun birleşmesinden meydana gelmiş birleşik yapılardır. Doğadaki tüm maddeler atom ve moleküllerden oluşmuştur. Katılarda doğadaki diğer maddeler gibi atomlardan oluşmuştur. Bir katı maddeyi oluşturmak için aynı tür atomlar bir araya gelebileceği gibi, farklı tür atomlardan oluşmuş moleküller de bir araya gelebilir. Katıları elektrik iletim özelliklerine göre iletken, yarıiletken veya yalıtkan olarak üç gruba ayırabiliriz. Bunların elektrik iletkenliği katı içerisinde serbestçe hareket edebilecek elektronlarının olup olmamasıyla ilişkilidir. Metallerin çok fazla miktarda serbest elektronları vardır. Bu serbest elektronlarından dolayı elektrik iletkenlikleri iyidir. Yarıiletkenler ise; normal halde elektrik akımını iletmedikleri halde küçük bir gerilim, ısı veya ışık gibi dış etkilerle iletme geçirilebilirler. Yalıtkanlar ise; madde içerisinde serbest hareket edebilecek elektronları olmadığından elektrik akımını iletmezler. Yalıtkanlarda ancak çok yüksek gerilimlerde madde içerisindeki elektronlar harekete geçirilebilir. Bir maddenin iletkenliğini belirleyen en önemli faktör, atomlarının son yörüngesindeki elektron sayısıdır. Bu son yörüngeye "Valans Yörünge" üzerinde bulunan elektronlara da "Valans Elektron" denir. Bir metalde valans elektronlar atom çekirdeğine zayıf olarak bağlıdır. Valans yörüngesindeki elektron sayısı 1-3 olan maddeler iletkenlerdir. Yalıtkanların son yörüngeleri ya tamamen doludur ya da 5'ten fazla sayıda elektron içermektedir. Kararlı bir son yörüngeye sahip yalıtkanlar kolaylıkla elektron alışverişi yapmadıklarından katı içerisinde dolanacak serbest elektronları yoktur. Yalıtkanların valans (değerlik) elektronlarının katı içerisinde serbest olmadıklarından dolayı elektriği iletmedikleri düşünülür. Yarıiletkenler ise yalıtkanlarla iletkenler arasında yer alırlar. Yarıiletkenlerin son yörüngelerinde 4-5 elektron vardır. İletkenler kadar iyi olmasa da, çeşitli katkı maddeleri veya diğer dış etkiler yardımıyla elektrik akımını iletilebilirler.

2.2. KATILARIN BANT TEORİSİ VE İLETKENLİK

Katıların bant teorisi, bir katıdaki elektronların davranışını tanımlayan enerji-bant ilişkisini açıklar. Her kristal kendi enerji-bant yapısına sahiptir. Bu teoriye göre bir

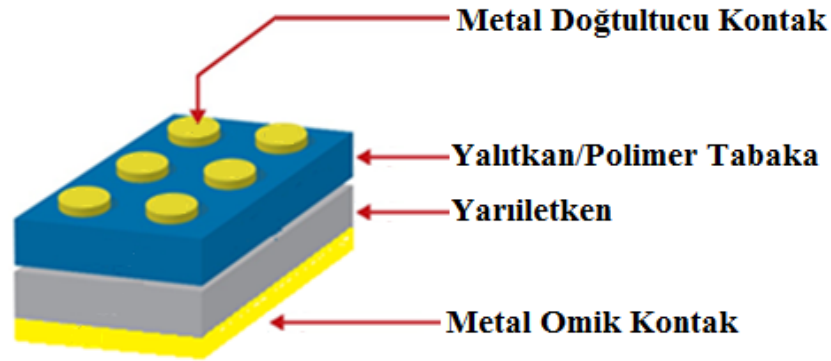
katıdaki enerji seviyeleri, tek tek atomlar için değil, o katıyı oluşturan tüm atomların bir katkısı olarak düşünülür. Dolayısıyla tek başına bir atom için bir çizgiden ibaret olan enerji seviyeleri, katıyı oluşturan atomların etkileşimleri sonucu yarılmaya uğrayarak geniş aralıklı bir bant oluştururlar. Katıların bant teorisi yukarıda bahsedilen yalıtkan, iletken ve yarıiletken arasındaki farkı anlamak için faydalıdır. Bir malzemenin enerji seviyeleri tamamen dolu veya tamamen boş ise bu yalıtkan bir malzemedir. Bir yalıtkanın öz direnci çok büyük ya da iletkenliği çok küçüktür. Sürüklenme akımına katkıda bulunabilecek hiçbir serbest elektron yoktur. Yalıtkanlar için valans bandı ile iletkenlik bandı arasında büyük enerji aralığı mevcuttur ve bu yasak enerji aralığı (E_g) 3.5-6 eV arasında ya da daha büyük mertebededir. Oda sıcaklığında iletkenlik bandında hiçbir elektron yoktur ve valans bandı tamamen doludur. İletken bir malzemede iletkenlik bandı ile valans bandı üst üste binmiştir. Yani bu iki bant arasında bir enerji aralığı mevcut değildir. Elektronlar veya deşikler bantlar arasında rahatça hareket edebilir ve akım oluşturabilirler. Yarıiletkenler ise, yalıtkanlarla iletkenler arasında yer alırlar. Yarıiletken bir malzemede valans bandı tamamen dolu, valans bandı ile iletkenlik bandı arasında yasak enerji aralığı 1eV mertebesinde. Bir malzemeye bir elektrik alan uygulandığında valans bandındaki elektronların enerjisi elektronların daha yüksek enerji seviyelerine geçmelerini ve kristal boyunca hareket etmelerini sağlar ve böylece yükler net bir akım oluşturur. Benzer şekilde bir elektrik alan uygulandığında deşikler de hareket edebilir ve bir akıma sebep olabilir. Bu durum $T>0$ K durumunda bir yarıiletkeni temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Bir metal, yarıiletken ve yalıtkan için izin verilen enerji bandlarının elektronlar tarafından işgalinin şematik gösterimi

2.3. METAL-YALITKAN/POLİMER-YARIİLETKEN SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI

Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan ya da polimer bir tabaka kaplandığında MS yapı, MIS veya MPS yapı haline gelir. Bu yalıtkan veya polimer arayüzey tabakanın varlığı hem metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. Metal-yarıiletken Schottky diyotlar, hem arayüzey tabakaya hem de bir seri dirence sahip ise diyot üzerine uygulanan gerilim (V); bu arayüzey tabaka, yapının seri direnci ve diyot tarafından ($V = V_I + V_{RS} + V_D$) bölüşülecektir. Bu nedenle MIS veya MPS yapılarda akım-iletimi MS yapılardan oldukça farklı olacaktır. Bir MIS/MPS yapının şematik diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Bir MPS yapının şematik gösterimi

2.4. METAL-YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR

Metal-yarıiletken kontak türlerinden bahsetmeden önce bunlara ait bazı özellikler tanımlamak gerekmektedir. Bu özellikler:

- ❖ Fermi enerjisi (E_F): Metallerde mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0$ K), elektronlar tarafından taban durumundan itibaren işgal edilen en yüksekteki dolu seviyenin enerjisine denir. Yarıiletkenlerde ise, iletkenlik ve valans bandındaki taşıyıcı sayısına ve sıcaklığa bağlı olarak, yasak enerji bölgesinde yer alan izafi seviye *Fermi enerjisi* olarak tanımlanır. n-tipi yarıiletkenlerde Fermi enerjisi iletim bandından itibaren ölçülürken p-tipinde ise valans bandından itibaren ölçülür.
- ❖ Vakum seviyesi: Bir metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi veya bir elektronu yüzeyden koparıp serbest hale geçirmek için ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarıdır.

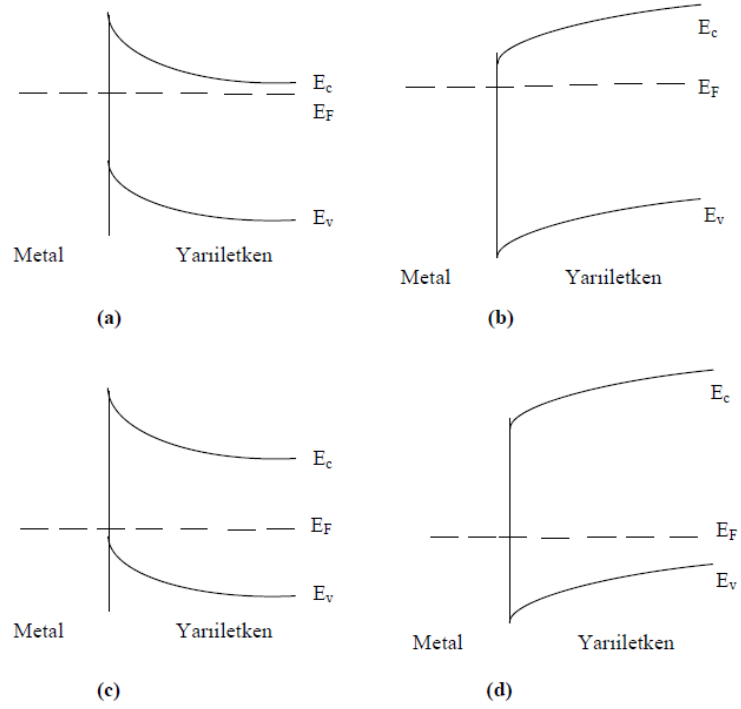
- ❖ Metalin iş fonksiyonu (Φ_m): Bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak veya serbest hale getirmek için ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarıdır.
- ❖ Yarıiletkenin iş fonksiyonu(Φ_s): Yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Fermi enerjisi katkılanan madde atomlarının yoğunluğu ile değiştiğinden dolayı Φ_s de değişken bir niceliktir.
- ❖ Elektron yakınlığı (χ): Vakum seviyesi ile iletkenlik bandı seviyesi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır.

2.4.1. Doğrultucu ve omik kontak

Metal-yarıiletken Schottky diyotların yapımında alt (omik) ve üst (doğrultucu) metal kontakların seçimi son derece önemlidir. Kontakın omik veya doğrultucu olmasını, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları belirler. Yarıiletken kontaklarda iletkenliği sağlayan yük taşıyıcıları (deşik ve elektron) bir yönden diğer yöne kolay iletiliyorsa bu tür kontakta doğrultucu kontak denir. Yani doğru beslem altında akım çok iyi iletilirken, ters beslem altında hemen hemen hiç iletilmemektedir. Omik kontaklarda ise taşıyıcılar her yönde kolay iletilir. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere, metal-n tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ ise doğrultucu kontak ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise omik kontak oluşur. Metal-p tipi yarıiletkenlerde ise durum bunun tersidir. Yarıiletkenin ve kontakın türüne göre iş fonksiyonlarının durumu Çizelge 2.1’de gösterildiği gibidir [80].

Çizelge 2.1. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak oluşumu

İş Fonksiyonlarının Durumu	Yarıiletken Türü	Kontak Türü
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu



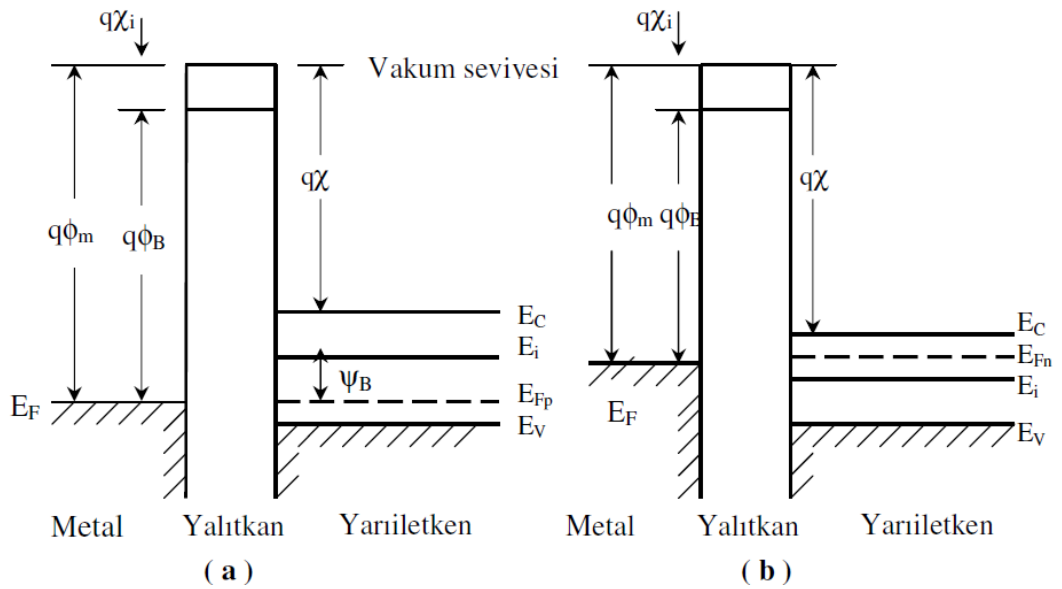
Şekil 2.3. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak durumundaki enerji-bant diyagramı [80]

n-tipi yarıiletken için \rightarrow a) $\Phi_m > \Phi_s$ (doğrultucu kontak) b) $\Phi_s > \Phi_m$ (omik kontak)

p-tipi yarıiletken için \rightarrow c) $\Phi_m > \Phi_s$ (omik kontak) d) $\Phi_s > \Phi_m$ (doğrultucu kontak)

2.5 İDEAL MIS YAPISI

İdeal bir MIS yapıda sıfır gerilimdeki enerji-bant diyagramı şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı a) p-tipi yarıiletken Φ_m : Metalin iş fonksiyonu [11]

Φ_B : Metal ve yalıtkan arasındaki potansiyel engeli

χ : Yarıiletkenin elektron yatkınlığı

χ_i : Yalıtkanın elektron yatkınlığı

E_V : Valans (değerlik) bandı enerji seviyesi

E_C : İletkenlik bandı enerji seviyesi

E_i : Saf Fermi enerji seviyesi $((E_C - E_V)/2)$

E_F : Fermi enerji seviyesi

ψ_B : Fermi ile saf Fermi enerji seviyesi arasındaki fark [15]

İdeal bir MIS yapısı aşağıda verilen özellikleri ile tanımlanabilir [6,13,15]:

i) Sıfır beslem durumunda metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki fark sıfırdır. Diğer bir deyişle metal ile yarıiletken arasındaki iş fonksiyonu farkı sıfırdır ($\Phi_{ms} = \Phi_m - \Phi_s = 0$) ve bu durum n-tipi ile p-tipi yarıiletken için şu şekilde ifade edilir [14,16]:

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \quad (\text{n-tipi}) \quad (2.1)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_B \right) = 0 \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.2)$$

Burada E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.

ii) Metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkan, bant aralığı çok büyük olduğundan ideal bir dielektriktir. Yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz. Aynı zamanda yalıtkan yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve arayüzey yükleri de bulunmaz.

iii) Yalıtkan bant aralığı o kadar büyüktür ki yalıtkanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

iv) DC gerilim altında (belsem altında) yalıtkanına doğru taşıyıcı geçişi yoktur yani yalıtkanın öz direnci sonsuzdur.

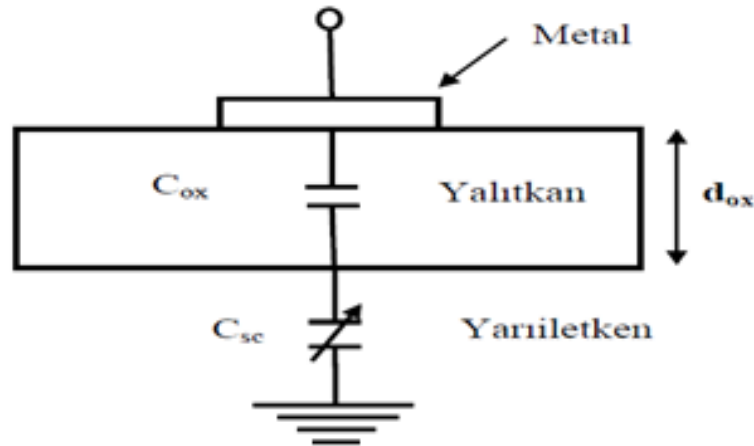
v) Herhangi bir beslem altında yalıtkan tabaka ile bitişik olan metal yüzeyindeki yükler ile yarıiletkendeki yükler eşit fakat zıt yönlüdürler.

İdeal bir MIS yapıda, metal elektroda gerilim uygulandığında yarıiletkende yük geçişleri oluşur. Yarıiletkendeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre daha az ve uygulanan gerilime bağlıdır. Yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine sebep olan uzay yükü Q_{sc} oluşur. Termal denge durumunda arayüzey bölgesindeki uzay yükü, uygulanan gerilimin büyüklüğü ile belirlenir. Yarıiletkende yükler katkılama türüne göre çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar olup, yarıiletken metaldekine göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesini ya da arayüzey bölgesindeki yığılmaları oluşturur. Uygulanan V geriliminin bir kısmı yarıiletken üzerine bir kısmı da yalıtkan tabaka üzerine düşer. Bunun için

$$V = V_{ox} + \psi_s \quad (2.3)$$

eşitliği yazılabilir. Bu ifadede V_{ox} yalıtkan üzerine düşen gerilim, ψ_s arayüzeydeki bant gerilimidir.

Metal ve yarıiletken tabaka arasındaki yalıtkan tabakadan dolayı metal ve yarıiletken arasında bir kapasitans oluşur ve bu kapasitans MIS kapasitansı olarak adlandırılır. Bu kapasitörlerin özelliklerini metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkan ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi belirler. Kapasitans, arayüzeyin dielektrik sabitine bağlıdır. Bir MIS kapasitansına karşılık gelen eşdeğer devre Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Uygulanan gerilimde küçük değişimler varsa MIS yapının kapasitansı C , yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} olarak gösterilebilir. Bunların eşdeğer kapasitansları bize MIS kapasitansını vermektedir.



Şekil 2.5. Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi [11]

Şekil 2.5'deki eşdeğer devrenin çözümünde MIS kapasitansı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_{ox}} \quad (2.4)$$

Bu sonuca göre MIS yapının eşdeğer kapasitansı, C_{sc} ve C_{ox} kapasitanslarının seri bağlanmasına eşdeğerdir. Yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ise,

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} A_{ox} \quad (2.5)$$

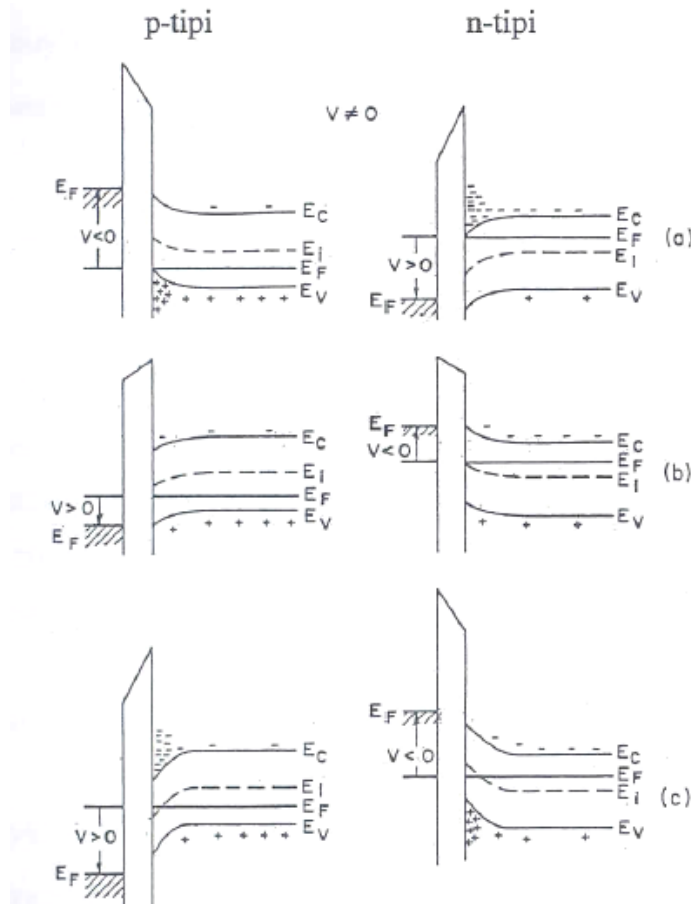
olarak verilir. Burada A_{ox} metal ile yarıiletken arasında kalan yalıtkan tabakanın alanı yani MIS doğrultucu kontağın alanı, ϵ_{ox} yalıtkan tabakasının dielektrik sabiti, d_{ox} ise yalıtkan tabakanın kalınlığıdır. Bunlar uygulanan gerilimden bağımsız olduklarından dolayı C_{ox} 'de uygulanan gerilimle değişmez. Böylece MIS yapının kapasitansındaki değişimi sadece uzay yükü kapasitansı belirler. Bir MIS yapının kapasitans-gerilim (C-V) eğrisi; yığılım, tükenim ve tersinim bölgeleri diye üçe gruba ayrılabilir.

Yığılım: Diyotun uçlarına negatif gerilim ($V < 0$) uygulandığında bu gerilimden dolayı oluşan elektrik alan yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı olan deşikleri yarıiletken arayüzeyine doğru çeker, yarıiletkendeki valans (değerlik) bandının tepesi yukarı doğru bükülür ve Fermi seviyesine yükselir (Şekil 2.6a). İdeal bir diyotta yük akışı olmadığı zaman Fermi enerji seviyesi yarıiletkende sabit kalır. Taşıyıcı yoğunluğu üstel olarak enerji farkına ($E_F - E_V$) bağlı olduğundan, bant bükülmesi yarıiletken yüzeyinin yakınında çoğunluk taşıyıcı olan deşiklerin yığılmasına neden olur. Valans bandının yarıiletken arayüzeyinde Fermi seviyesine yaklaştığı ve iletim bandının da buna bağlı olarak yukarı büküldüğü bu duruma yığılıma (accumulation) durumu denir. Bu durumda arayüzeyde biriken yükün yüzey yükü olması sebebiyle $C_{sc} \rightarrow \infty$, dolayısıyla $C \rightarrow C_{ox}$ olur.

Tükenim: Diyotun uçlarına küçük bir negatif ($V < 0$) veya pozitif ön-gerilim ($V > 0$) uygulandığında, arayüzey tabaka içinde oluşan elektrik alan yarıiletken arayüzeyindeki elektronları yüzeyden uzaklaştırır. Bu durumda yarıiletken yüzeyindeki elektron yoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarındaki elektron yoğunluğundan küçük olmaya başlar ve enerji bantları (E_c ve E_v) aşağı doğru bükülür. İletkenlik bandının yarıiletken

yüzeyine yakın bölgelerinde, deşikler toplanmaya başlar. Yarıiletken yüzeyinde, uygulanan gerilimle değişen tüketim tabakasının genişliğinde bir bölgede, elektronlar azalır ve bir tükenim bölgesi oluşur. Yarıiletken ön yüzeyinde elektronların azalmasından (tükenmesi) dolayı bu bölge “tükenim bölgesi” olarak adlandırılır (Şekil 2.6.b)

Tersinim: Diyotun uçlarına daha büyük bir ön-gerilim ($V \gg 0$) uygulandığı zaman bantlar aşağı doğru iyice bükülür. Saf durumdaki enerji seviyesi (E_i), Fermi enerji seviyesinin altına geçer. Bu durumda yarıiletken yüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan deşikler artmaya başlar. Deşik yoğunluğu elektron yoğunluğundan büyük olur. Bu aşamadan sonra n-tipi yarıiletken yüzeyi p-tipi yarıiletken gibi davranır. Yani başlangıçta n-tipi yarıiletkenin yüzeyinde elektronlar çoğunlukta iken, bu yüklerin metal tarafına geçmesi ile arkasında pozitif yükler bırakarak yarıiletkenin ön yüzeyinde deşiklerin çoğunlukta olmaya başladığı bir bölge oluşur. Bu olay, yarıiletken yüzeyindeki yüklerin işaret değiştirmesinden dolayı “tersinim” olarak adlandırılır. Şekil 2.6.c’de bu durum şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması (a) Yığılma (b) Tüketim (c) Tersinim [11]

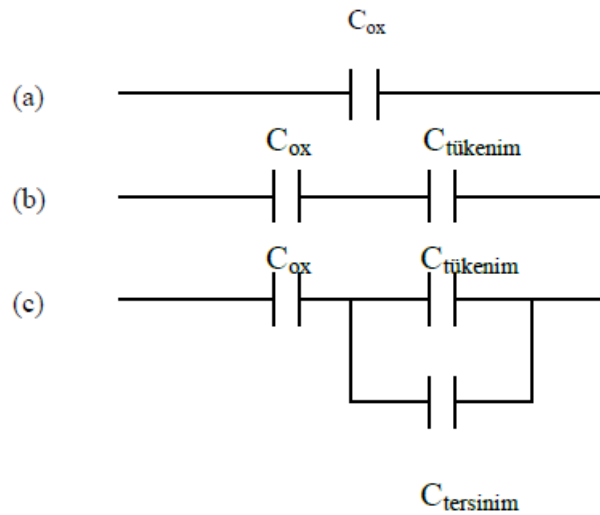
Bu durumda oluşan uzay yükü,

$$Q_{sc} = Q_n + Q_a \quad (2.6)$$

ifadesiyle tanımlanır.

Burada Q_n tersinim bölgesinde birim yüzeydeki elektronların yükü ve Q_a birim yüzeydeki alıcıların yüküdür. Elektron yoğunluğunun, uygulanan gerilimin a.c. sinyalini takip edebilme yeteneği MIS kapasitansını belirler. Elektron yoğunluğu a.c. sinyalini küçük frekanslarda takip edebilir ve kapasitans artan gerilimle yalıtkan kapasitansının değerine ulaşır. Ara frekanslarda daha yavaş takip edebilir, dolayısıyla frekansın değerine bağlı olarak ara frekans eğrileri görülür, yüksek frekanslarda ise takip edemez. Sabit yük, uzay yükü gibi etki eder ve kapasitans C_{min} 'de kalır. Yüksek frekansta eğer gerilim ani olarak değiştirilirse, azınlık taşıyıcıların yeniden birleşme (rekombinasyon) hızına bağlı olarak tersinim yükü daha geç birikir. Bu da eğrinin C_{min} 'in altında değerler almasına neden olur.

İdeal bir MIS yapıda yığılım, tükenim ve tersinim durumları için devre şeması Şekil 2.7'deki gibidir [4].

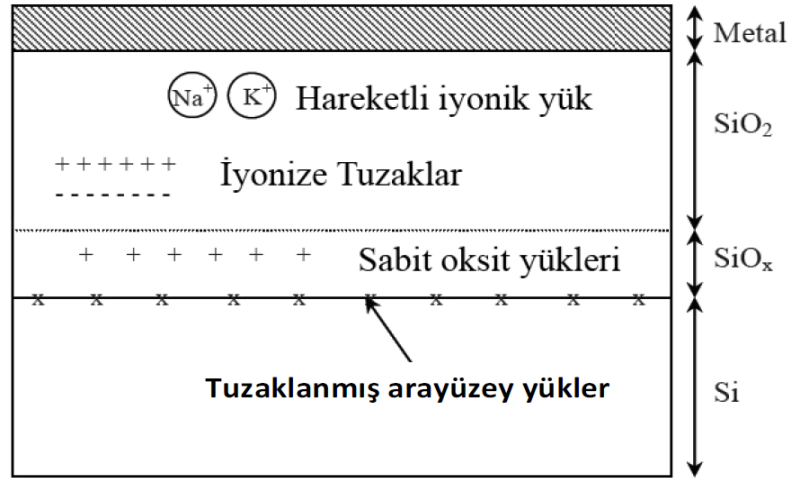


Şekil 2.7. İdeal bir MIS yapının devre şeması (a) Yığılım (b) Tüketim (c) Tersinim

2.5.1.MIS Yapılarda İdeal Durumdan Sapmalar

İdeal bir yalıtkanın kendi içerisinde ve yarıiletken ile birleşim yüzeyi arasında hiçbir boşluk yükü veya hareketli yükü yoktur. Gerçek yapılarda yalıtkan ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak yüksüz değildir. Arayüzeyde tuzaklanmış

yükler sebebiyle ve oksidasyon yöntemi yoluyla hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit oksit ve arayüzey yükleri oluşur ve böyle bir durumda MIS yapısının özellikleri değişir. MIS yapısının özelliklerinin değişmesi yapının ideallikten sapmasına sebep olmaktadır [17]. Bu durumların ve yüklerin sınıflandırılması Şekil 2.8’de gösterilmiştir [4].



Şekil 2.8. İdeal olmayan MIS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması

İdeallikten sapmanın sebepleri:

- ❖ Yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içinde enerji seviyeleri gibi tanımlanan arayüzey durumları,
- ❖ Yarıiletken yüzeyinde veya yakınında yerleşmiş olan ve uygulanan elektrik alan altında hareketsiz olan sabit yüzey yükleri,
- ❖ Yalıtkan içindeki hareketli iyonlar.
- ❖ Numunenin x-ışını radyasyonuna maruz kalmasıyla oluşabilen iyonize tuzaklardır.

2.5.2. Arayüzey Durumları

Arayüzey durumlarının teorik izahı ilk önce Shockley, Tam ve diğer bilim adamları tarafından araştırılmıştır. Arayüzey durumları, kısa bir zaman aralığında yarıiletkenle, yükleri değişebilen yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içindeki girilebilir enerji seviyeleridir. Arayüzey durumları hem verici hem de alıcı tipte olabilirler. Alıcı, enerji seviyesi dolu ise negatif yüklü, boş ise yüksüzdür. Verici, enerji seviyesi dolu ise yüksüz, boş ise pozitif yüklüdür. Bir gerilim uygulandığında, Fermi

seviyesi geride sabit kalırken arayüzey tuzak seviyeleri, valans ve iletkenlik bantları ile aşağı ve yukarı hareket ederler. Arayüzey tuzaklarındaki yükün değişimi; arayüzey tuzaklarının, iletkenlik ve valans bantları ile yük alışverişi yapmasıyla meydana gelir. Bu yükün değişimi MIS/MPS kapasitansına katkıda bulunur ve ideal MIS/MPS eğrisini değiştirir.

Arayüzey durumlarının elektriksel etkileri şu niceliklere ayrılabilir:

Kapasite: Bir arayüzey duruma, arayüzeyde izin verilen başka bir durumun eklenmesiyle meydana gelir. Bu yüzden durum başına temel yükün kapasitesi artar. Bu kapasite uygulanan gerilimin keskin bir pikidir. Fermi seviyesi Arayüzey durum seviyesini aştığı için pik gerilim olduğu zaman görülür.

İletim: Arayüzey durumları tarafından taşıyıcıların salınması ve yakalanması sonsuz hızda olmadığından zaman gecikmesi meydana gelir. Bu zaman gecikmesi arayüzey durumunun bir RC devresine eş değer olduğunu ifade eder. Bu zaman kayması aynı zamanda dolum boşalım zamanıdır ve $\tau = 1/(R_{ss}C_{ss})$ bağıntısı ile verilir ve burada R_{ss} arayüzey direncidir.

Devredeki arayüzey kapasitansı C_{ss} aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$C_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \psi_{ss}} A_{ox} \quad (2.7)$$

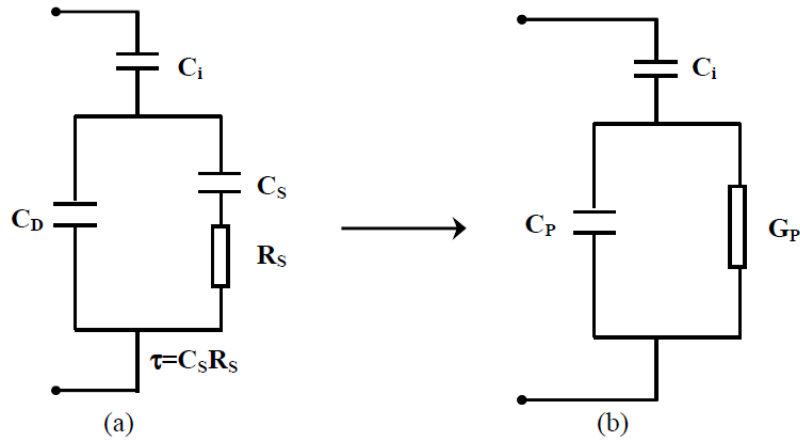
Arayüzey potansiyeli: Yukarıda ifade ettiğimiz kapasite ve iletim ac etkisindedir. Arayüzey durumları bunlara ek olarak bir dc etkisine sebep olur. Arayüzey durumlarında depolanmış yük, arayüzey elektrik alanını değiştirir. Arayüzey durumları varken arayüzey potansiyelini değiştirmek için ideal durumdan daha fazla gerilim uygulanması gerekmektedir. Bu etki kapasitans-gerilim genişlemesini (stretchout) zorunlu hale getirir.

2.5.3. MIS Yapılarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi

Gerçek bir MIS yapıda; idealden farklı olarak birçok arayüzey durumları ve yalıtkan yüklerinin varlığı MIS yapının karakteristiklerinin idealinden farklı olmasına neden olmaktadır. Bir MIS yapıda; hem yarıiletkenin kendisi büyütülürken oluşan örgü kusurları ve safsızlıklar, hem de MIS yapıyı oluşturmak için yarıiletken üzerine

herhangi bir yöntemle yalıtkan büyütülürken oluşan örgü kusurları ve arayüzdeki safsızlıklar, izinli olmayan yasak enerji aralığında birçok enerji seviyesinin oluşmasına neden olur. Yasak enerji aralığındaki bu izinli seviyelere arayüz durumları adı verilir [4,6,81].

Tuzaklanmış arayüz yükleri, yarıiletken-polimer arayüzünde, yarıiletkenin yasak enerji aralığındaki enerji durumlarına sahiptir. Bu enerji durumları kısa bir sürede yarıiletkenin iletkenlik veya valans bandı ile ani yük alış verişini yapabilmektedirler. Bu yüzden bu arayüz durumlarına yüzey rekombinasyon (yeniden birleştirme) merkezleri de denir. Bir beslem altında, valans veya iletkenlik bantları ile Fermi seviyesi sabitleşene kadar arayüz tuzak seviyeleri yukarı veya aşağı yönlü hareket eder. Bu değişim MIS kapasitesinde ve ideal eğrisinde değişmeye sebep olur. İdeal durumdan sapma olduğu zaman ön görülen eşdeğer devre de değişir. Arayüz tuzaklarının etkisi ile değişen durumun eşdeğer devresi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Arayüz tuzaklar ve seri direnç etkisini içeren eşdeğer devre [15]

Burada C_i ve C_D sırası ile yalıtkan polimer ve yarıiletken tüketim katmanlarının kapasitanslarıdır. $C_S R_S$ çarpanı arayüz tuzaklarının ömrü (τ) olarak tanımlanır ve bu süre arayüz tuzaklarının davranışını belirler. Şekil 2.9b'deki frekansa bağlı kapasitansın C_P ve ona paralel olan frekansa bağlı iletkenliğin G_P seri direnç etkisini içeren hali Şekil 2.9a'da gösterilmiştir. Paralel koldaki admittans:

$$Y = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = j\omega C_D + \frac{1}{R_S + \frac{1}{j\omega C_S}} = G_P + j\omega C_P \quad (2.8)$$

şeklindedir.

Burada iletkenlik G_P ve kapasitans C_P ,

$$G_P = \frac{1}{R_P} = \frac{C_S \omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.9)$$

$$C_P = C_D + \frac{C_S}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.10)$$

eşitlikleri ile verilir. Toplam empedans Z ise,

$$Z = \frac{1}{j\omega C_i} + \frac{1}{G_P + j\omega C_P} = -j \left(\frac{1}{\omega C_i} + \frac{\omega C_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2} \right) + \frac{G_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2} \quad (2.11)$$

ile ifade edilir ve buradan toplam admittans Y_{top} için,

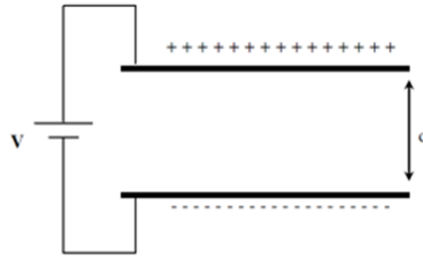
$$Y_{top} = \left(\frac{G_P^2 + \omega^2 C_P^2}{G_P} \right) + j\omega \left(\frac{(G_P^2 + \omega^2 C_P^2) C_i}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2 + \omega C_P} \right) = G_{in} + j\omega C_{in} \quad (2.12)$$

eşitliği elde edilir [4,82]. Eğer seri direnç varsa ve büyükse, ölçülen iletkenlik G_m ve kapasitans C_m gerçek değerler değildir [83].

2.6. DIELEKTRİK ÖZELLİKLER

2.6.1. Dielektriksiz Paralel Plakalı Kondansatör

Yüzey alanı A ve aralarındaki uzaklık d olan iki paralel plakalı bir kondansatör şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Dielektriksiz paralel plakalı kondansatör [15]

Plakaların biri $+Q$ diğeri ise $-Q$ yüklü olduğunda bu iki plaka arasına bir yalıtkan madde (dielektrik madde) konulursa, yüklerin bir plakadan diğerine geçişi sınırlanmış olur.

Ama bu plakalar bir üretece bağlanırsa kondansatör kolayca yüklenebilir. Bu durumda plakalar arasında oluşan elektrik alan şiddeti,

$$E = \sigma/\epsilon_0 \quad (2.13)$$

şeklinde verilir. Burada, ϵ_0 boşluğun geçirgenlik sabiti iken, σ ise her bir plaka üzerinde birim alan başına düşen yüzey yük yoğunluğudur. Aralarında d uzaklığı bulunan plakalar arasında oluşan potansiyel farkı,

$$V = E \cdot d \quad (2.14)$$

ile ifade edilir. Buna göre her plakanın sahip olduğu toplam yük Q olmak üzere paralel plakalı kondansatörün kapasitesi,

$$C = Q/V = \epsilon_0 A/d \quad (2.15)$$

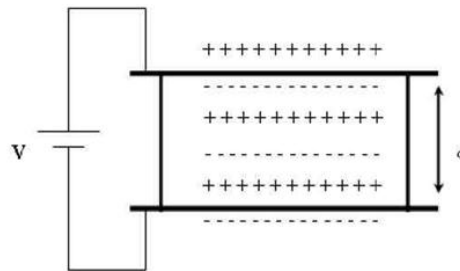
olarak elde edilir. Yüzey yük yoğunluğunu plakalar arasındaki bölgedeki elektrik yer değiştirme kaynağı olarak düşündüğümüzde, elektrik yer değiştirme;

$$D = \sigma = \epsilon_0 \cdot E \quad (2.16)$$

ile ifade edilir [84].

2.6.2. Dielektrikli Paralel Plakalı Kondansatör

Bir kondansatörün plakaları arasına bir yalıtkan (dielektrik) madde yerleştirilirse, kondansatörün kapasitesi birimsiz ϵ' çarpanı kadar artar. ϵ' çarpanına yalıtkanın dielektrik sabiti adı verilir. Bu sabit her zaman boşluğun geçirgenlik sabiti (ϵ_0) cinsinden ifade edilir ve birden büyük bir sayıdır.



Şekil 2.11. Dielektrikli Kondansatör [15]

Plakalar arasında dielektrik madde yokken paralel plakalı kondansatörün sığası C_0 , kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı V_0 ve elektrik alanı E_0 ise uygulanan gerilim;

$$V = V_0/\epsilon' \quad (2.17)$$

ile ifade edilir. Plakalar arasına bir dielektrik madde yerleştirilirse potansiyel farkı ve elektrik alan $1/\epsilon'$ çarpanı kadar azalır. Yani,

$$E = E_0/\epsilon' \quad (2.18)$$

olur. Kondansatör üzerindeki Q yükü değişmediğinden dolayı, kapasitenin değeri ise ϵ' çarpanı kadar artmaktadır, yani,

$$C = Q_0/V = \epsilon' Q_0/V_0 = \epsilon' C_0 \quad (2.19)$$

olur. O halde plakalar arasındaki bölge tam olarak dielektrik madde ile dolduğu zaman paralel plakalı kondansatörün kapasitesi aşağıdaki hali alır.

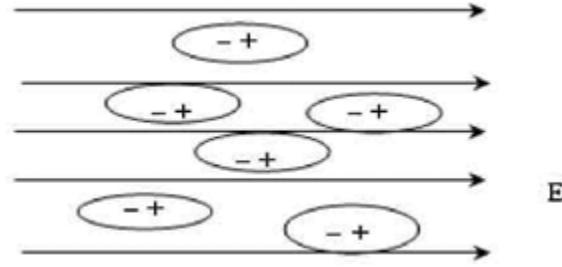
$$C = \epsilon' \epsilon_0 A/d \quad (2.20)$$

2.6.2.1. Dielektrik Kutuplanma

Bir kondansatörün levhaları arasına bir dielektrik (yalıtkan) yerleştirildiği zaman potansiyel, dolayısıyla elektrik alan şiddeti ($E=V/d$) azalır. Elektrik alan şiddetinin ($E=\sigma/\epsilon_0$) azalmasıyla da birim yüzeydeki net yük azalmış olur. Bir iletken elektrik alan içine yerleştirildiğinde, alanın etkisiyle serbest yükler yer değiştirir. Fakat elektrostatik denge meydana geldiğinde yüklerin elektrik alanı bütün noktalarda dış alanı ortadan kaldırır ve dolayısıyla iletken içinde elektrik alan sıfır olur [11].

Bazı dielektriklerin molekülleri daimi dipol içerirler. Polar denilen bu maddelerde pozitif ve negatif yükler birbirinden çok az miktarda ayrılırlar. N_2O ve H_2O gibi moleküller polarken, H_2 , N_2 , O_2 gibi simetrik moleküller polar değildir. Bir Dielektrik madde elektrik alan içine yerleştirildiğinde, madde kutuplanır. Böylece dipolar hale

geçen molekülün dipol momentleri Şekil 2.12'deki gibi elektrik alana paralel olacak şekilde yönelirler [85]. Elektrik alan kaldırıldığı zaman atomlar tekrar normal hallerine dönerler ve dipoller kaybolur.



Şekil 2.12. Dış elektrik alan uygulandığında dipollerin yönelimleri

2.6.2.2. Kutuplanma Mekanizmaları

Dielektrik maddelerde dört tip kutuplanma meydana gelmektedir. Bunlar elektronik, iyonik, yönelme ve arayüzey-uzay yük kutuplanmalarıdır [86,87].

Elektronik kutuplanma: Elektrik alanın etkisiyle bütün atomlar ve iyonlarda ortaya çıkar ve hemen hemen bütün dielektriklerde gözlenebilir. Bunun nedeni, bir atomdaki elektronların oluşturduğu negatif yük dağılımının çekirdeğin yük merkezine göre dış elektrik alanın etkisiyle atomik ölçekte kaymasıdır. Bu kutuplanma elektronun kütlesinin çok küçük olmasından dolayı uygulanan dış elektrik alanla kısa bir zaman içinde oluşur (10^{-15} sn).

İyonik kutuplanma: Hem elektronik hem de iyonik kutuplanmada yükler alan yönünde birbirlerine göre konum değiştirirler ve dolayısıyla bu iki kutuplanmaya etkileşmeli kutuplanma denmektedir. İyonik kutuplanmada moleküller farklı tip atomlardan meydana geldiğinden, atomlar elektronları simetrik olarak paylaşmayacaktır. Yani, elektron yoğunluğunun yük merkezi kayarak daha kuvvetli bağlayıcı atomlara doğru yönelecek ve dolayısıyla atomlar zıt kutuplu yükler kazanacaklardır. Bu net yüklere etkiyen bir dış elektrik alan, atomların kendi aralarında denge konumlarını değiştirecektir. Yüklü atomların veya atom gruplarının birbirlerine göre bu yer değiştirmesi ile ikinci bir etkileşmeli dipol moment meydana gelecektir. Bu dielektriğin iyonik kutuplanmasıdır. Elektronik kutuplanmaya göre uzun olmakla birlikte iyonik kutuplanma içinde oldukça kısa bir süre yeterlidir (10^{-13} - 10^{-12} sn).

Yönelme kutuplanması: Yönelme kutuplanması, dış elektrik alan olmadan da elektrik dipol momentleri içeren, polar maddeler diye adlandırılan dielektriklerde oluşur. Bazı

dielektriklerde kuardropol (dört kutuplu), oktopol (sekiz kutuplu) vb. çok kutuplular da bulunabilir. Fakat bunların kutuplanmaya katkısı oldukça azdır. Böyle elektrik dipol momentlerine (çift-kutuplara) bir dış elektrik alan etki ederse alan yönünde yönelime zorlayacaktır ve sonuçta yönelme kutuplanması ortaya çıkacaktır. Yönelim kutuplanmasında sıcaklık etkileri de göz önüne alınmalıdır. Yönelim kutuplanmasında dipol momentli moleküllerin, elektrik alan uygulanmadan önceki durumuna yeniden geçmesi için moleküllerin büyüklükleri ve ortamın viskozları ile doğru orantılı olan bir zamana ihtiyaç vardır.

Arayüzey-uzay yük kutuplanması: Elektronik, iyonik ve yönelme kutuplanmalarının ortak yönü, malzemenin sınır yüklerinin yer değiştirmesi ve yönelim etkilerinin ortaya çıkmasıdır. Bunların aksine uzay yükü veya arayüzey kutuplanması ise hareketli yüklerden oluşur. Diğerlerinde atom ve moleküller; kendilerini, çevrelerinin kutuplanması ile değişikliğe uğrayan, temelde ise uygulanan dış alanı da içeren bir yerel alan etkisi altında bulurlar. Büyük ölçüde elektrik alan değişikliklerin, malzemenin hacmindeki uzay yüklerinin veya dielektriğin arayüzeylerindeki yüzey yüklerinin birikmesine sebep olması arayüzey kutuplanmasını oluşturmaktadır.

2.6.3. Dielektrik Sabiti Ölçme Yöntemi

Dielektriklerin, dışardan uygulanan elektrik alana duyarlı olması onların elektriksel özelliklerini araştırmada önemli bir faktör olarak görülür. Bu nedenle bir dielektrik madde, bir elektriksel devre ile eşleştirilir. Dielektrik madde ile doldurulmuş bir paralel plakalı kondansatör yapısı, admittans spektroskopisi ile karakterize edilebilir. Admittans Y ile gösterilir. Buna göre

$$Y = G + j\omega C \quad (2.21)$$

ile ifade edilir. G iletkenlik, ω açısal frekans, C ise toplam kapasitedir. Bu ifade,

$$Y = G + j\omega(C_0\varepsilon^*) \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir. C_0 kondansatörün dielektrik madde yok iken sahip olduğu kapasite, ε^* ise dielektrik maddenin boşluğa göre sahip olduğu bağıl dielektrik sabitidir.

Bağıl dielektrik sabiti,

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.23)$$

olarak ifade edilmektedir. Böylece admittansın son hali,

$$Y = G + j\omega C_0(\varepsilon' - j\varepsilon'') \quad (2.24)$$

$$Y = (G + \omega\varepsilon''C_0) + j\omega C_0\varepsilon' \quad (2.25)$$

olur [86,88].

Buna göre admittansın gerçel ve sanal bileşenleri elde edilmiş olur. Empedans ise admittansın tersine eşittir. Yani, $Z=1/Y$ olur. Buna göre,

$$Z = \frac{1}{j\omega C + G} = \frac{1}{j\omega C_0\varepsilon^*} \quad (2.26)$$

ifade edilir. denklem 2.23, denklem 2.26'da yerine yazılırsa gerçel ve sanal kısımların çözümleri;

$$\varepsilon' = \frac{C}{C_0} \quad (2.27)$$

$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} = \frac{1}{\omega R C_0} \quad (2.28)$$

olarak elde edilir [89].

Bir dielektrik maddeye ac gerilim ($V=V_0\cos_{\omega t}$) uygulandığında, numuneden geçen akım,

$$I = (\varepsilon^* C) \frac{dV}{dt} \quad (2.29)$$

olarak ifade edilir.

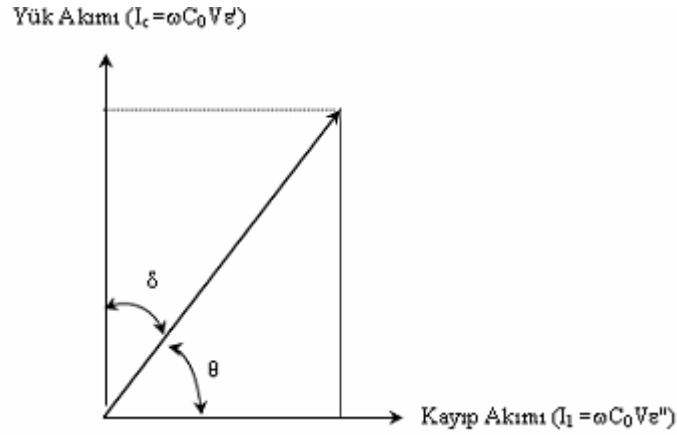
Bir RC devresi ile eşleştirilen bir numuneden geçen akım ise,

$$I = I_R + jI_C \quad (2.30)$$

olarak ifade edilir.

I_R ; gerilim ile aynı fazda olan, gerçel yada dirençsel bileşen olarak adlandırılır.

I_C ; gerilim ile farklı fazda olan, sanal yada sığasal bileşen olarak adlandırılır.



Şekil 2.13. Dielektrik içeren bir kondansatörde yük akımı (I_C) ile kayıp akımı (I_1) arasındaki ilişki

Şekil 2.13’de görülen δ terimi, numune üzerindeki ac gerilim etkisi nedeniyle, dielektrik bir maddenin davranışında ifade edilmiş olan periyodik elektrik alan ile onunla aynı fazda olmayan elektrik yer değiştirme arasındaki faz kayması olarak tanımlanır. $\tan\delta$ ise, sığasal olarak numunede depolanan enerjinin kayıp miktarı biçiminde dielektrik tanjant yada kayıp açısı olarak ifade edilir. Kayıp tanjantı, ölçüm esnasında, akımın dirençsel bileşeninin sığasal bileşene oranı olarak elde edilir. Buna göre,

$$\tan\delta = \left| \frac{I_R}{I_C} \right| = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.31)$$

kayıp açısı faktörünü ifade eder [1,88].

2.6.4. Dielektrik Kayıplar

Plakaları arasında dielektrik madde içeren bir kondansatörün uçlarına yüksek bir gerilim uygulanırsa (yalıtkanlığını koruyabildiği maksimum gerilimin altında) dielektrik ısınır. Yalıtkanı oluşturan atomların dış yörüngelerindeki elektronların ait oldukları atomları terk etmeleri sonucu meydana gelen bu iletkenlik, yabancı madde karışması ve özellikle

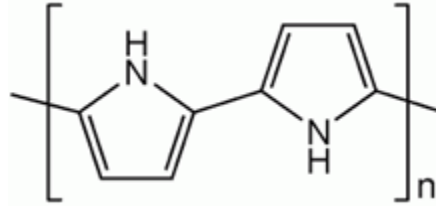
nem ile artar. Eğer alternatif bir gerilim uygulanırsa, önemli bir ısınma olur ve açığa çıkan ısı frekans ile artar. Bunun sebebi; dış alanın değişen yönüne göre yönelecek olan moleküllerin birbirlerine sürtünmeleridir. Bu sürtünmelere karşı yaptıkları iş ısıya dönüşür. Komşu moleküllerle olan sürtünmeler nedeniyle dipollerin elektrik alanının değişimini takip edişı gecikmeli olur. Bu olaylarla dielektrikte ısıya dönüşen enerji “dielektrik kayıp” olarak tanımlanır. Sıcaklık artıkça dielektrik kayıplarda artar [50].

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. POLYPYRROLE POLİMERİNİN BAZI TEMEL ÖZELLİKLERİ

Pyrrole monomeri elektrokimyasal yöntemle polimerleştirilebilir. Polypyrrole (PPy), Pyrrole monomerinin polimerizasyonu ile oluşturulan organik bir polimerdir. Polypyrrole; polythiophene, polyaniline ve polyacetylene gibi bazı polimerleri içeren iletken polimer ailesinin bir üyesidir. PPy filmleri sarı renktedir fakat bir takım oksidasyonlardan dolayı hava ortamında siyah renge dönüşür. PPy ile bir takım malzemeler karıştırılarak (katkılama) oluşturulan filmler; film kalınlığına bağlı olarak mavi veya siyah renk alırlar. Bu filmler sadece zayıf kırılma özelliklerine sahip olan amorf yapılardır.

PPy bir yalıtkandır fakat oksidasyonlu türevleri elektriksel olarak iyi iletkenlerdir. Malzemenin iletkenliği oksidasyonda kullanılan şartlara ve reaksiyona bağlı olarak iki 2 S/cm den 100 S/cm ye kadar değişkenlik gösterir. Polypyrrole molekülünün kimyasal yapısı şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. PPy'nin kimyasal yapısı

Çalışmamızda (MPS) Schottky diyotların oluşturulması için <100> yönelimine sahip, 1Ω .cm öz dirençli ve 280 µm kalınlıklı, fabrikasyon olarak parlatılmış n-tipi tek kristal Si yapraklar kullanıldı.

3.2. KRİSTAL TEMİZLEME

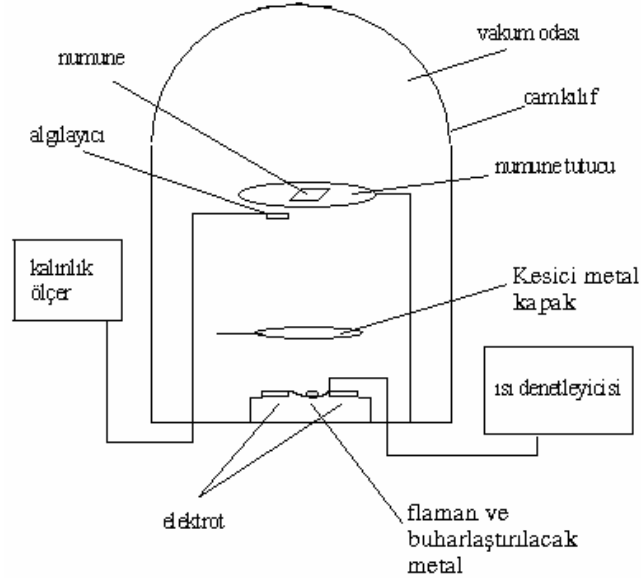
İdeale yakın bir Schottky diyotu üretebilmek için yarıiletkenin yüzey kusurlarının ortadan kaldırılması gerekir. Bunun için yarıiletken yüzeyi çok iyi temizlenmelidir. Yarıiletken üzerindeki organik ve ağır metal kirlerini temizlemek ve yüzeydeki

pürüzleri ortadan kaldırmak için kimyasal temizleme işlemi ultrasonik banyoda yapıldı. Diyotu oluşturmak için (100) yüzey yönelimli, 8 Ω .cm özdirençli, 280 μ m kalınlıklı, 2" çaplı ve fosfor katkılı n-tipi Silisyum kullanıldı. Kimyasal temizleme için çeşitli metotlar kullanılabilir. Bu çalışmada diyotun temizlenmesinde kullanılan kimyasal temizleme işlemi aşağıda verilmiştir.

1. Temizleme işleminde direnci yaklaşık 16-18 M Ω olan deiyonize su (H₂O) kullanıldı. Öncelikle kristalleri tutmak için kullanılan cımbız vb araç ve kaplar fırında yaklaşık 80 °C ısıtılarak arındırıldı. Daha sonra hidrojen peroksit (H₂O₂), aseton ve ardından da deiyonize su ile iyice durulandı. Kristaller önce deiyonize su içerisinde ultrasonik olarak yaklaşık 10 dakika kadar yıkandı.
2. Kristaller ilk önce 20 ml trikloretilen (C₂HCl₃), daha sonra 20 ml aseton ve en son da 20 ml metil alkol (CH₃OH) karışımı içerisinde üç dakika ultrasonik olarak temizlendi ve kristaller deiyonize suda 5 dakika yıkandı.
3. 30 ml sülfürik asit (H₂SO₄) ve 30 ml hidrojen peroksit (H₂O₂) karışımı içerisinde 5 dakika ultrasonik olarak temizlendi ve daha sonra deiyonize suda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
4. 30 ml %38 hidroflorik asit (HF) ve 30 ml deiyonize su karışımı içerisinde 5 dakika ultrasonik olarak temizlendi ve ardından deiyonize suda 10 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
5. 30 ml nitrik asit (HNO₃), 10 ml hidroflorik asit (HF) ve 50 ml hidrojen peroksit (H₂O₂) karışımında 5 dakika ultrasonik olarak temizlendi. Daha sonra deiyonize suda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
6. 40 ml %38 hidroflorik asit (HF) ve 50 ml deiyonize su karışımında 3 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
7. Son olarak Si yapraklar deiyonize suda ultrasonik olarak 10 dakika temizlendi ve kristal yüzeyde oksitlenme olasılığını önlemek için kuru azot (N₂) ile kurutulduktan sonra hemen vakum ortamına alındı.

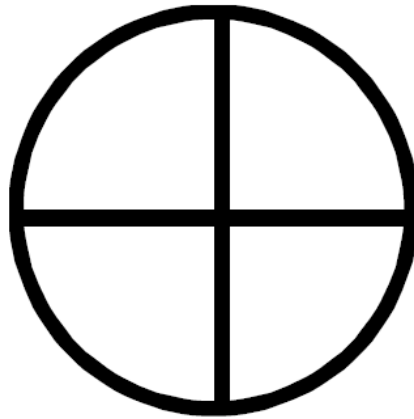
3.3.OMİK KONTAĞIN OLUŞTURULMASI

MPS yapı hazırlanırken omik ve doğrultucu kontağın oluşturulması için yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanıldı. Sistemin içinde diyot yapımını gerçekleştiren kısım Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan vakum içinde metal buharlaştırma sistemi düzeneği [11]

Omik kontağı oluşturmak için, kimyasal olarak temizlenen silisyum mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde 1cmx1cm ebatlarında bir maske üzerine yerleştirildi. Omik kontakların oluşturulmasında Şekil 3.3'e benzer bir maske kullanıldı. Daha sonra saf altın (Au) (~99.999%) yüksek vakumlu metal buharlaştırma sisteminde $\sim 10^{-6}$ Torr basınçta 4H-SiC yaprağın arka yüzeyi üzerine ~ 1500 Å kalınlığında termal olarak kaplandı. İyi bir omik kontak oluşturmak için ise numune ~ 400 °C de Azot ortamında yaklaşık 30 dk süre ile tavlandı. Buharlaştırma ile elde edilen arka kontağın, 4H-SiC yaprağın arka yüzeyine kaplanması ile omik kontak elde edilmiş oldu.



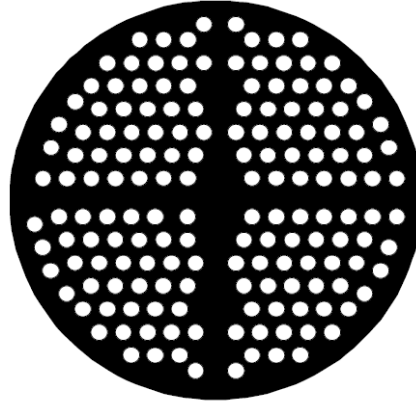
Şekil 3.3. Omik kontak oluşturulurken kullanılan gölge maske

3.4.POLİMER KATMANIN OLUŞTURULMASI

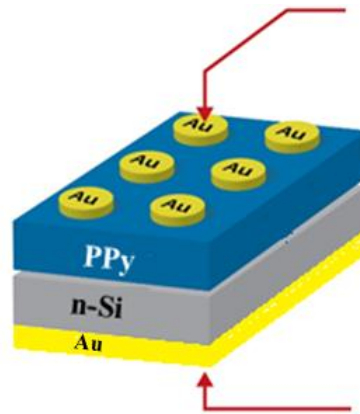
Bu çalışmada polimer katman olarak kullanılan PPy polimeri Sigma-Aldrich firmasından ticari olarak satın alınmıştır. Omik kontak oluşturulduktan sonra PPy 400 °C’de organik buharlaştırma vasıtasıyla ince film olarak n-tipi Silisyum yüzey üzerine kaplandı. Bu arayüzeysel organik katmanın kalınlığı yüzey profilometre ile 55Å olarak ölçüldü.

3.5.DOĞRULTUCU KONTAĞIN OLUŞTURULMASI

PPy ince filminin oluşturulmasından sonra saf altın doğrultucu kontaklar $7,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ alana sahip 1mm çaplı dairesel noktalar şeklinde, yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanılarak $\sim 10^{-6}$ Torr basınçta PPy filmin üzerine 1500 Å kalınlıkta termal olarak kaplandı. Doğrultucu kontak için Şekil 3.4’deki gibi bir maske kullanıldı. Omik ve doğrultucu kontakın kalınlıkları buharlaştırma sistemi üzerindeki quartz kristalli kalınlık monitorü yardımıyla ölçüldü.



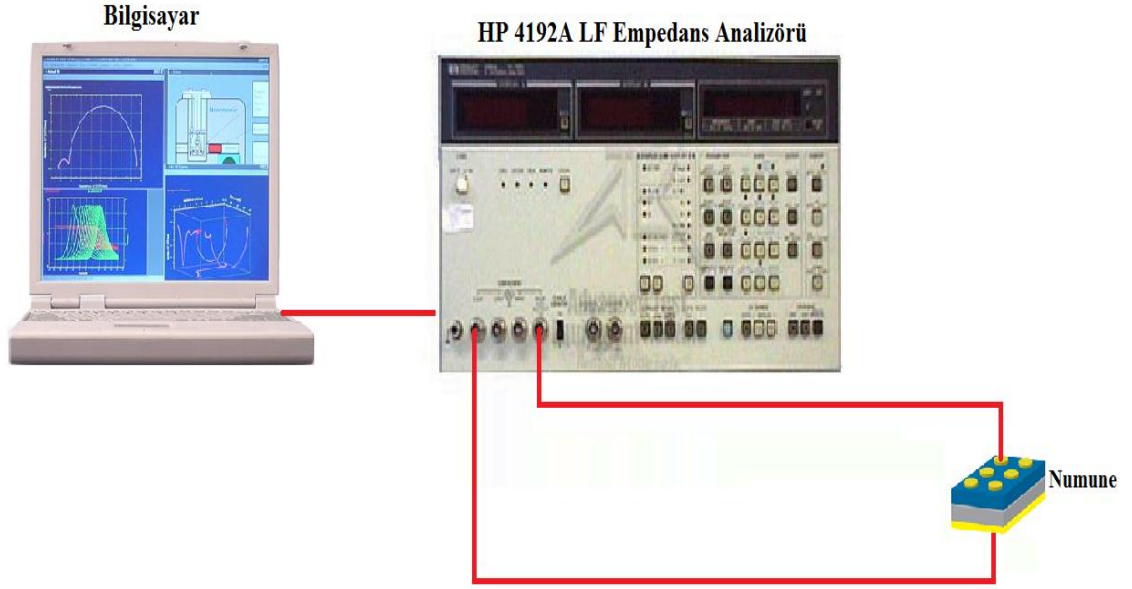
Şekil 3.4. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan gölge maske



Şekil 3.5. Au/PPy/n-Si (MPS) diyotun şematik gösterimi

3.6. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ

Elektriksel parametreler, Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Katıhal Laboratuvarında yapılan ölçümlerle belirlendi. Kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V) ölçümlerinde Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü (5kHz-13MHz) kullanıldı. Tüm bu ölçümler bilgisayara takılan bir IEEE-488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi. Kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik gerilim (G/ω -V) ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deneysel Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Au/PPy/n-Si (MPS) yapısının kapasitans-gerilim-frekans (C-V-f) ve kondüktans-gerilim-frekans (G/ω-V-f) ölçümleri oda sıcaklığında geniş frekans (10kHz-500kHz) ve gerilim aralığında (-2V ile 3V) alındı. Bu ölçümlerin amacı Au/PPy/n-Si (MPS) yapının AC iletkenlik özellikleri, frekans ve gerilime bağlı dielektrik profili ve elektrik modülüne dair daha iyi bir bakış açısı sağlamaktır. Elektriksel özelliklerden AC elektriksel iletkenlik (σ_{ac}), reel ve imajiner elektrik modülü (M' , M'') gibi temel parametreler frekansa ve gerilime bağlı olarak hesaplandı. Dielektrik özelliklerden ise dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) frekansa ve gerilime bağlı olarak hesaplandı. Deneysel sonuçlar, Schottky Barrier diyotun ϵ' , ϵ'' , kayıp tanjantı ($\tan\delta$), reel ve imajiner elektrik modülü (M' , M'') ve σ_{ac} değerlerinin tersinim bölgesinden ziyade özellikle tükenim ve yığılım bölgelerinde frekansın ve uygulanan ön gerilimin güçlü fonksiyonları olduğunu göstermiştir.

4.1. PPy POLİMERİNİN DİELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ

Bu tez çalışmasında C ve G/ω verileri kullanılarak, SBD için ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} , M' ve M'' gibi parametrelerin frekansın ve uygulanan gerilimin bir fonksiyonu olduğu bulundu. C ve G/ω'nın ölçüm değerleri kullanılarak, diyotun ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve σ_{ac} değerleri aşağıdaki ifadelerden belirlendi [74,75]

$$\epsilon' = \frac{d}{\epsilon_0 A} C = \frac{C}{C_0} \quad (4.1)$$

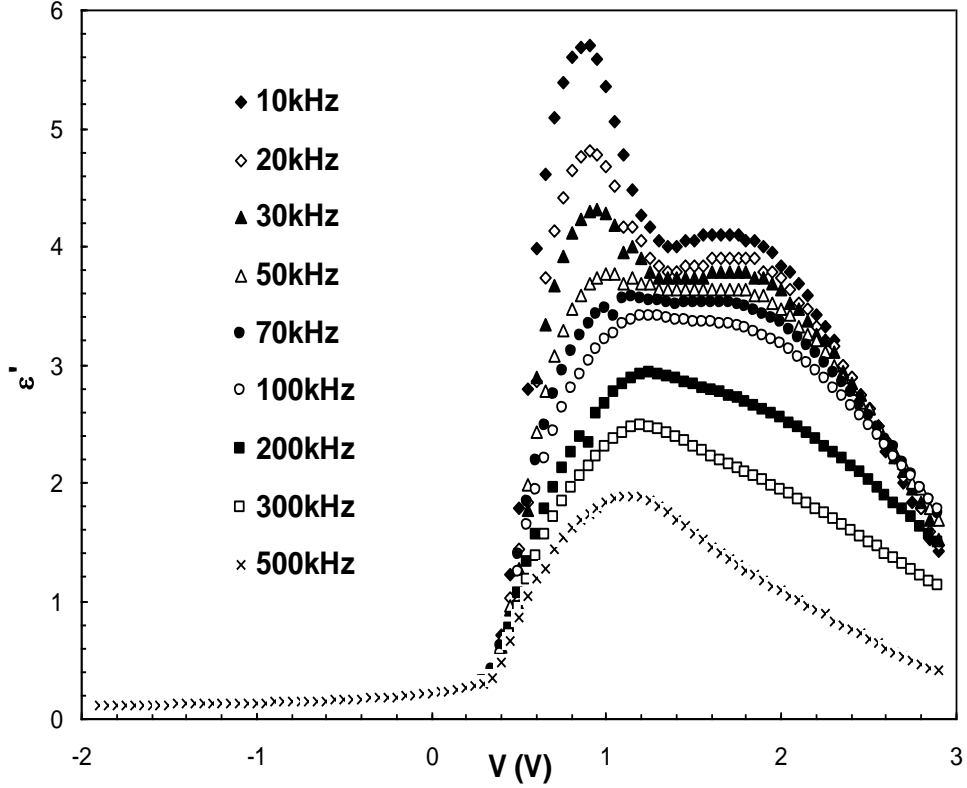
$$\epsilon'' = \frac{d}{\epsilon_0 A \omega} G = \frac{G}{\omega C_0} \quad (4.2)$$

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (4.3)$$

$$\sigma_{ac} = \omega C \tan\delta (d/A) = \epsilon'' \omega \epsilon_0 \quad (4.4)$$

Burada $C_0 (= \epsilon_0(A/d))$ boşluğun kapasitansı, A doğrultucu kontağın cm^2 cinsinden alanı, d arayüzeysel PPy katmanının kalınlığı, $\epsilon_0 (= 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm})$ serbest uzay yükünün

permitivitesi ve $\omega (= 2\pi f)$ açısal frekanstır. Şekil 4.1, farklı frekanslarda SBD için ϵ' değerlerinin gerilime bağlı grafiğini göstermektedir. Deneysel sonuçlar, pozitif gerilim bölgesinde (tükenim ve yığılım bölgeleri) ϵ' değerlerinin gerilimin ve frekansın güçlü bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu bölgede frekans arttıkça ϵ' değerleri azalmakta ve özellikle düşük frekanslarda iki pik vermektedir.



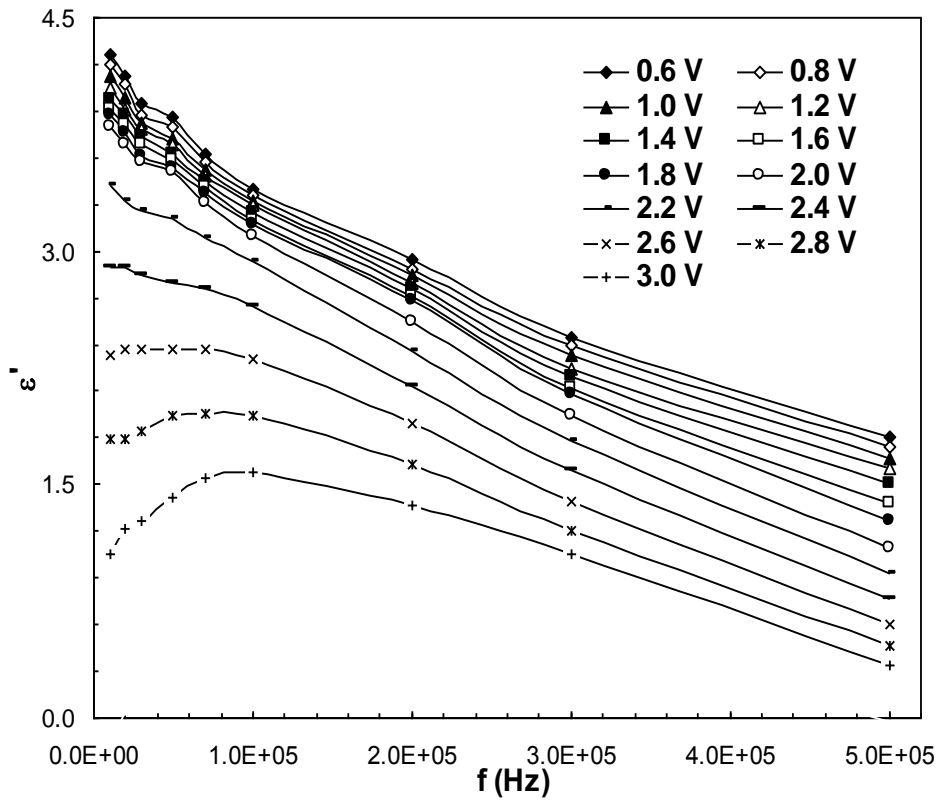
Şekil 4.1. Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının ϵ' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği

İlk pik 1V civarında iken, diğeri, 1.8V civarındadır. Yüksek frekanslarda, tuzaklar veya arayüzey durumlarındaki yüklerin dış AC sinyale izin vermemesinden dolayı ikinci pik o bölgede görünmez. Bu yüzden bu yükler, ölçülen kapasitans ve kondüktansa bir katkıda bulunmazlar. Yüksek frekansların aksine düşük frekanslarda, bu yükler kolaylıkla AC sinyale izin verebilir ve ölçülen kapasitans ve kondüktans değerlerine ek bir kapasitans ve kondüktans katarlar. Bu yüzden ilk pik özellikle PPy/n-Si arayüzeyinde arayüzey durumlarının yoğunluk dağılımına ve ikincisi diyotun seri rezistansına atfedilebilir.

Artan frekansla ϵ' değerindeki azalma yüzey veya arayüzey polarizasyonundan kaynaklanır. Çünkü belirli frekanslarda dış alandan kaynaklanan elektron sıçramaları alanın değişimine izin vermez ve frekans artsa da dış alan sabit bir değere ulaşır [76].

Başka bir ifadeyle, frekansla dielektrik özelliklerin değişimi Maxwell-Wagner tipi arayüzeysel polarizasyona atfedilir. Yüzey pürüzlülüğü sebebiyle yük taşıyıcıların daha az iletken bölgelerde birikmesi, iletkenliğin frekansa bağlı olmasına neden olur. Böylelikle, arayüzeysel polarizasyon meydana gelir [77,78].

Farklı gerilimler için ϵ' -f grafiği (0.2V'luk adımla 0.6-3V arası) Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu şekilden, ϵ' değerinin neredeyse tüm gerilimlerde artan frekansla eksponansiyel olarak azaldığı görülmektedir. 0.6V'da 10 kHz ve 500 kHz için ϵ' değerleri sırasıyla 3.98 ve 1.92 olarak belirlenirken, 3V'da aynı frekanslar için sırasıyla 1.05 ve 0.335 olarak belirlenmiştir. 3-0.6 V gerilim aralığında ϵ' değerlerinin 10 kHz'de 1.05'den 3.98'e ve 500 kHz'de 0.335'den 1.92'ye değişimi de şekil 4.2'den kolayca görülür.

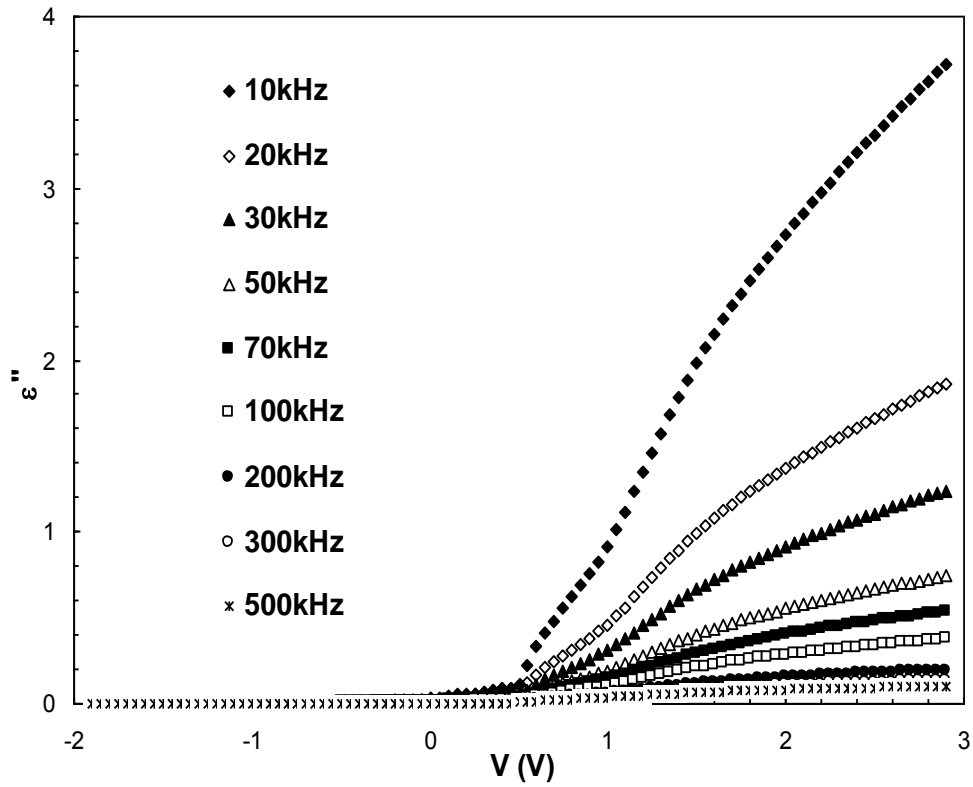


Şekil 4.2. Oda sıcaklığında Au/PPy/n-Si yapının farklı gerilimler için ϵ' değerlerinin frekansa bağlı değişim grafiği

Şekil 4.3, oda sıcaklığında farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının ϵ'' değerlerinin gerilime bağlı değişimini göstermektedir. Bu şekilden, ϵ'' değerinin özellikle tüketim ve yığılım bölgelerinde hem frekansa hem de uygulanan gerilime güçlü bir şekilde bağlı olduğu görülebilir. ϵ'' değerleri bilhassa düşük frekanslarda epeyce yüksektir. Bunun dışında, ϵ'' -V değişimi 0.6V ile 3V arasındadır. Hem tüketim bölgesinde hem de

yığılım bölgesinde, frekansın artmasıyla ϵ'' değerleri azalmaktadır. Ancak bu değerlerin negatif gerilim bölgesinde neredeyse sabit olduğu söylenebilir. ϵ'' karakteristiği, katkılama konsantrasyonu, arayüzeysel katman ve yarıiletken arasına yerleşmiş arayüzey durum yoğunluğu, diyotun seri rezistansı (R_s), arayüzey yalıtkan katmanın kalınlığı, arayüzey katmanın pürüzlülüğü ve yarıiletkenin yasak enerji aralığı gibi bazı parametrelere bağlıdır [76,79]

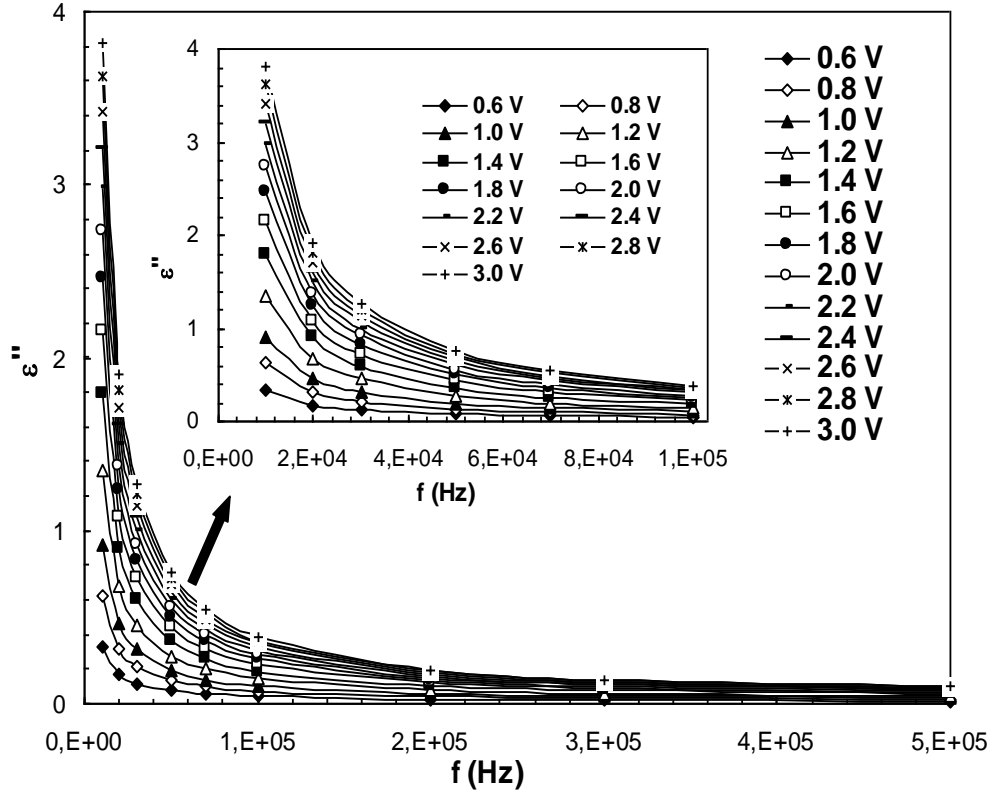
Özellikle C ve G'nin değerleri, arayüzey özelliklerine, arayüzeysel yalıtkan/polimer katmana ve R_s 'ye aşırı derecede hassastır [6,90]. Bunun sebebi arayüzey durumlarının ve polarizasyonun düşük ve yüksek frekanslarda farklı davranmalarındır [90-93].



Şekil 4.3. Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının ϵ'' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği

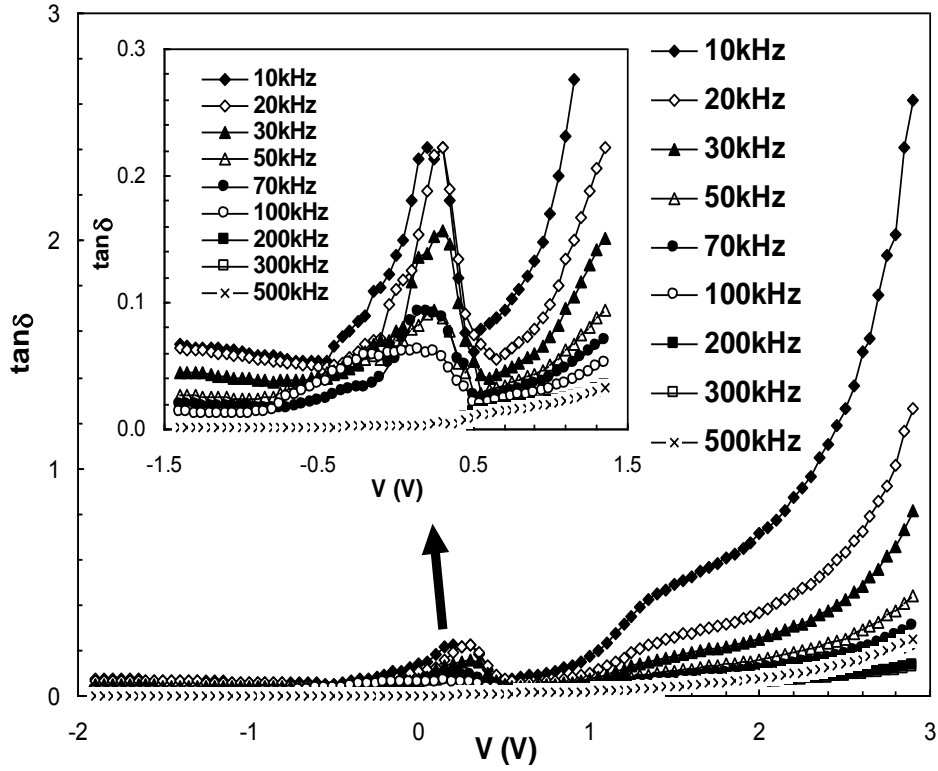
Farklı gerilimlerde Au/PPy/n-Si yapı için ϵ'' karakteristiğinin frekansa bağlı değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu şekilden görülebileceği gibi, frekansın artmasıyla ϵ'' değerleri azalmıştır. Fakat her bir gerilim değeri için yüksek frekanslarda tüm gerilimlerde bu değer neredeyse sabit kalmaktadır. Au/PPy/n-Si yapı için 0.6 V'daki ϵ'' değerleri 10 kHz'den 500 kHz'e kadar değişen frekansta 3.31'den 0.149'a kadar değişirken 3 V'daki değerleri 38.155'den 1.012'ye kadar değişmiştir. Şekil 4.2 ve 4.4'ten görülebileceği gibi frekansın artmasıyla hem ϵ' hem de ϵ'' değerleri her bir

gerilim değeri için azalmıştır. Bu durum dielektrik malzemeler için beklenen bir davranıştır. Esasında, özellikle düşük frekanslarda hem arayüzey/yüzey hem de dipolar/yönelme polarizasyonları ϵ' ve ϵ'' değerlerine katkıda bulunur. Frekansın artmasıyla bu polarizasyonların katkıları ortadan kalkar. Ayrıca, frekansın artmasıyla ϵ' ve ϵ'' değerlerinde görülen azalma, frekans yükseldikçe arayüzey dipollerinin değişen alan yönüne daha kısa sürede yönelmesi ile açıklanabilir [79,94-99].



Şekil 4.4. Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının ϵ'' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği

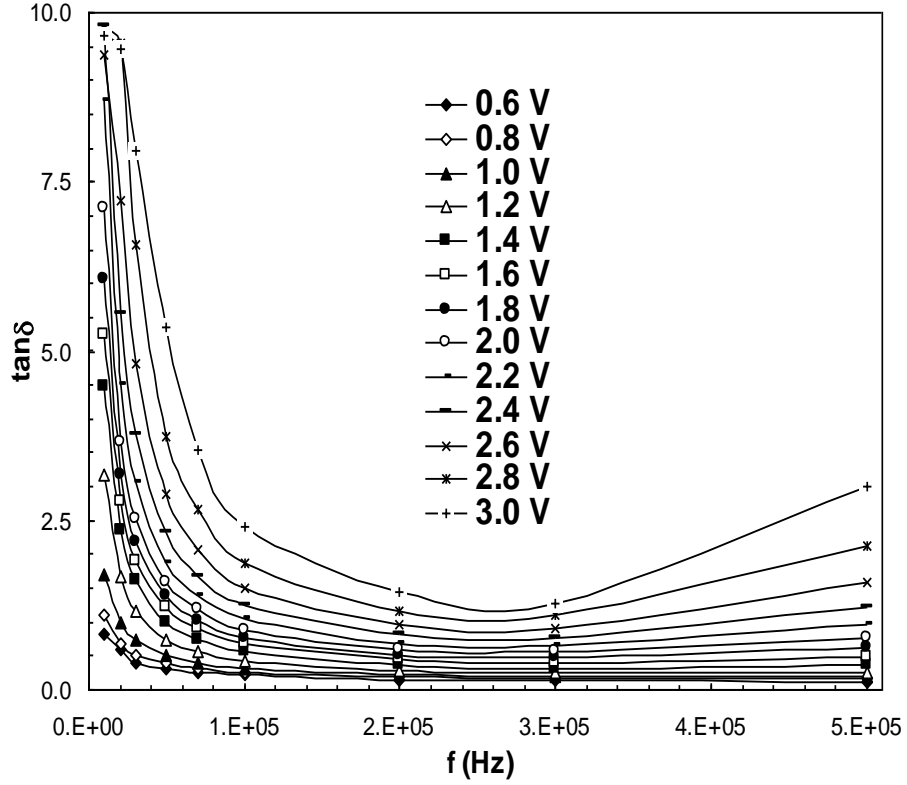
Şekil 4.5 farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının ϵ' ve ϵ'' değerlerinden elde edilen $\tan\delta$ değerlerinin gerilime bağlı grafiğini göstermektedir. Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi, $\tan\delta$ özellikle düşük frekanslarda gerilimin ve frekansın güçlü bir fonksiyonudur. Bu şekilde $\tan\delta$ değerinin düşük frekanslarda yaklaşık olarak 0-1V civarında bir pik verdiği görülmektedir. R_s 'nin, arayüzey yalıtkan katmanın ve pürüzlülüğün etkisinden dolayı bu pikin pozitif gerilimin artan kısmına doğru kaydığı görülmektedir [75]. Elektriksel karakteristikler arayüzey özelliklerine bağlı olmasının yanı sıra arayüzey durumlarının düşük ve yüksek frekanslarda farklı karakteristik göstermesinden dolayı, dielektrik özelliklerine de bağlıdır [90,100-102].



Şekil 4.5. Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının $\tan\delta$ karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği

Au/PPy/n-Si yapının frekansa bağlı $\tan\delta$ grafiği farklı gerilimler için hesaplanarak Şekil 4.6'daki gibi çizilmiştir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi, uygulanan gerilim arttıkça $\tan\delta$ değerleride artmıştır. Fakat frekans arttıkça bu değerler azalmıştır. Au/PPy/n-Si yapı için 0.6V'da $\tan\delta$ değerleri 10 kHz'den 500 kHz'e kadar değişen frekanslarda 0.83'den 0.12'ye kadar değişirken 3 V'da bu değerler aynı aralıkta değişen frekanslar için 9.65'ten 3.01'e kadar değişmiştir. Bu cihazın dielektrik özellikleri literatürdeki birçok çalışmada, elektrik modülü formülü kullanılarak ifade edilmiştir [74,75,96]. Literatüre göre kompleks empedans ve kompleks permitivite ($\epsilon^* = 1/M^*$) verileri aşağıdaki bağıntı kullanılarak M^* formülüne dönüştürülmüştür.

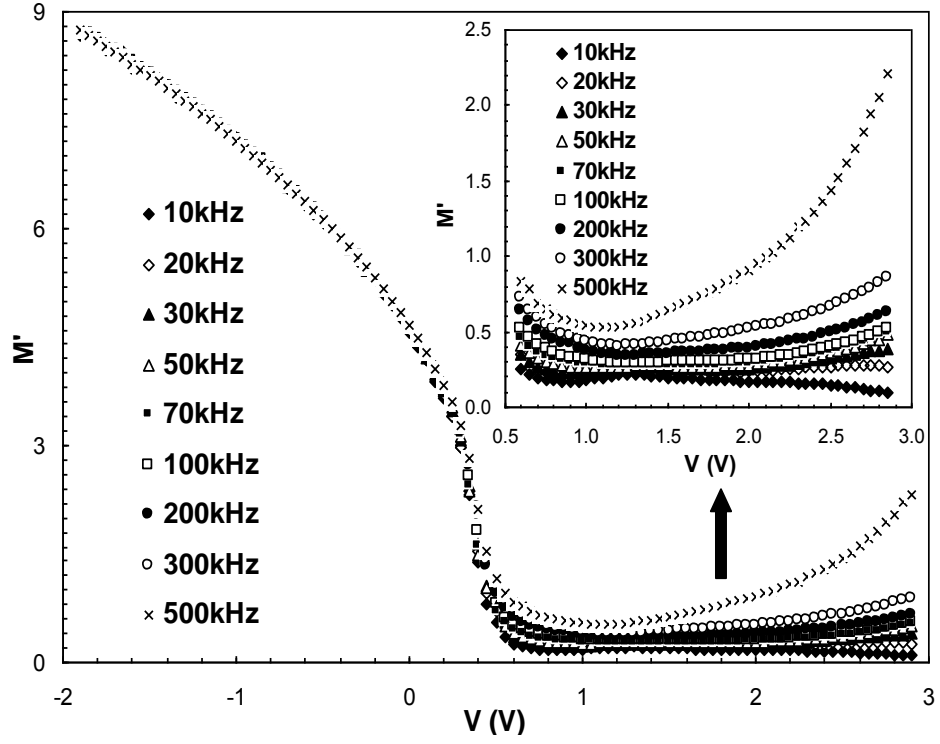
$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} = M' + jM'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + j \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (4.5)$$



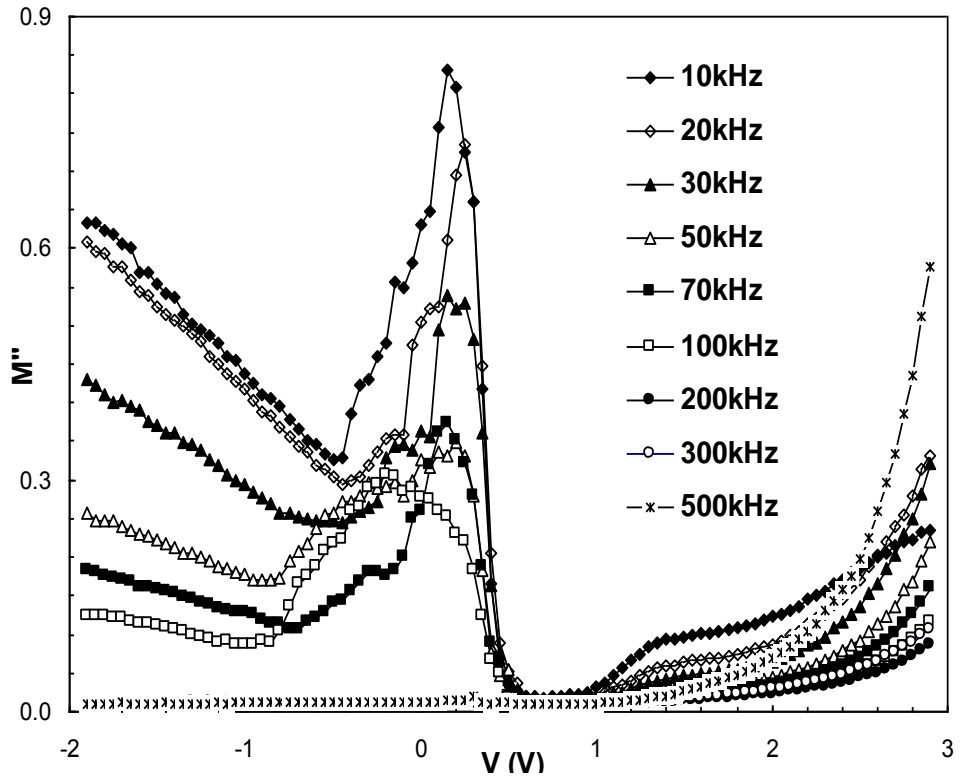
Şekil 4.6. Oda sıcaklığında Au/PPy/n-Si yapının farklı gerilimlerde $\tan\delta$ karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği

4.2. PPy POLİMERİNİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ

M' ve M'' değerleri denklem 4.5 kullanılarak farklı frekansta her bir gerilim için ϵ' ve ϵ'' değerlerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre M' ve M'' değişimi sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.7'den görüldüğü gibi, M' uygulanan gerilimin güçlü bir fonksiyonudur. Özellikle -2V ve 0.6V arasındaki negatif gerilim bölgesinde gerilimin artmasıyla M' değerleri azalmış fakat bu değerler neredeyse tüm frekanslarda aynı değeri almıştır. 0.6V ve 3V arasındaki gerilim değerlerinde ise M' değerleri 10kHz ve 300kHz frekans aralığında yavaşça artmıştır. M' karakteristiğinin böyle olması bu bölgede dielektrik durulma mekanizmasının frekansa bağlı olmasına atfedilir [87,103-111].



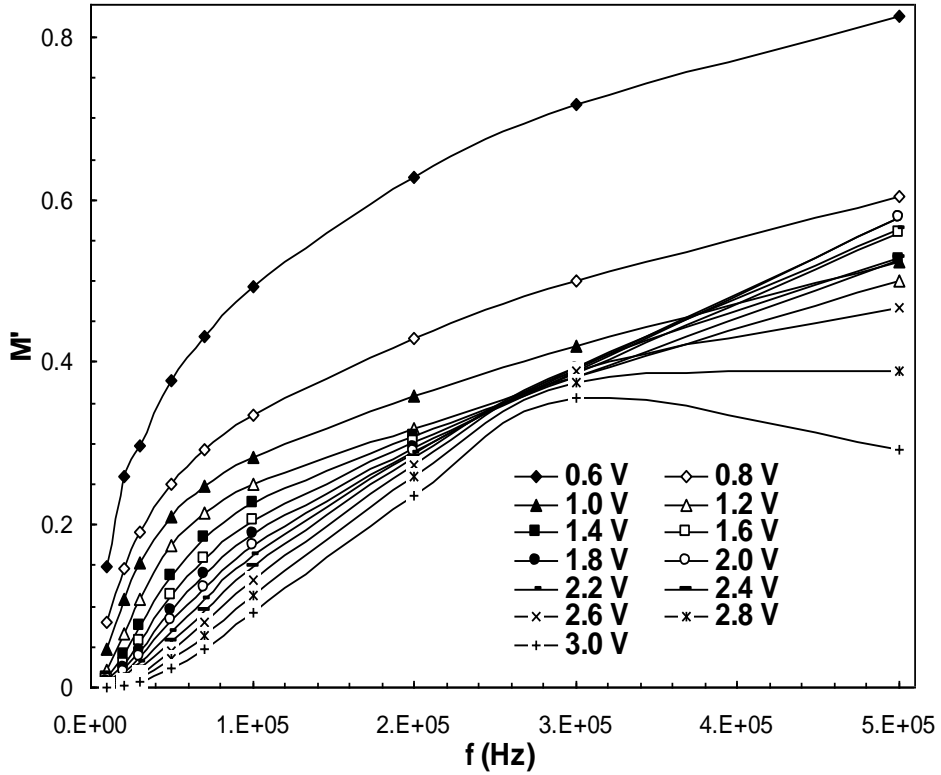
Şekil 4.7. Oda sıcaklığında farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının M' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği



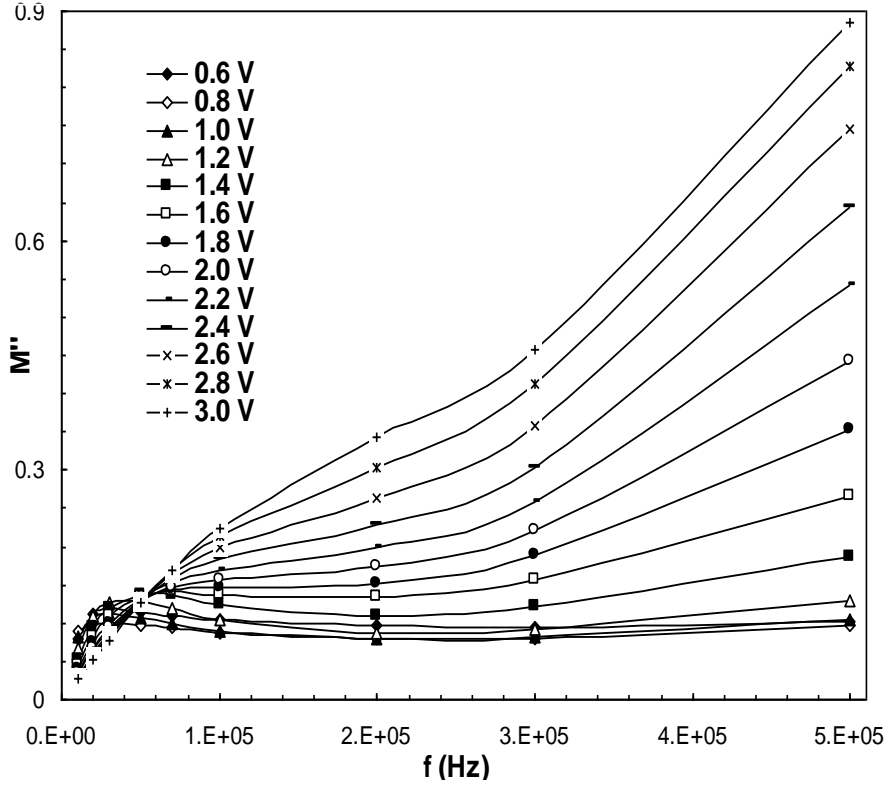
Şekil 4.8. Oda sıcaklığında farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının M'' karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği

Şekil 4.8 farklı frekanslarda Au/PPy/n-Si yapının M'' değerlerinin gerilime bağlı değişimini göstermektedir. Şekil 4.8'den görüldüğü gibi, M'' değerleri, özellikle düşük frekanslarda uygulanan gerilimin güçlü bir fonksiyonudur. Frekans arttıkça M'' değerleri azalmaktadır ve M'' grafiği tersinim bölgesinde düşük frekanslarda pik vermektedir. Fakat M'' değerleri yüksek frekanslarda aynı bölgede neredeyse sabit kalmaktadır.

Farklı ileri beslem gerilimlerinde M' değerlerinin frekansa bağlı değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. 10-500kHz frekans aralığında gerilimin artmasıyla M' değerlerinin azaldığı ve frekansın artmasıyla bu değerlerin de arttığı Şekil 4.9'dan görülebilir. Farklı gerilimlerde M'' değerlerinin frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Frekans ve gerilim arttıkça M'' değerlerinin de arttığı bu şekilden açıkça görülmektedir. Ayrıca, M' değerleri yaklaşık 300kHz'de her bir gerilim değeri için göze çarpan bir pik vermektedir. Düşük frekanslarda M' ve M'' değerleri elektriksel polarizasyonun olmamasından dolayı neredeyse sifıra yakın bir değere sahip olurlar [79,105,111-113].

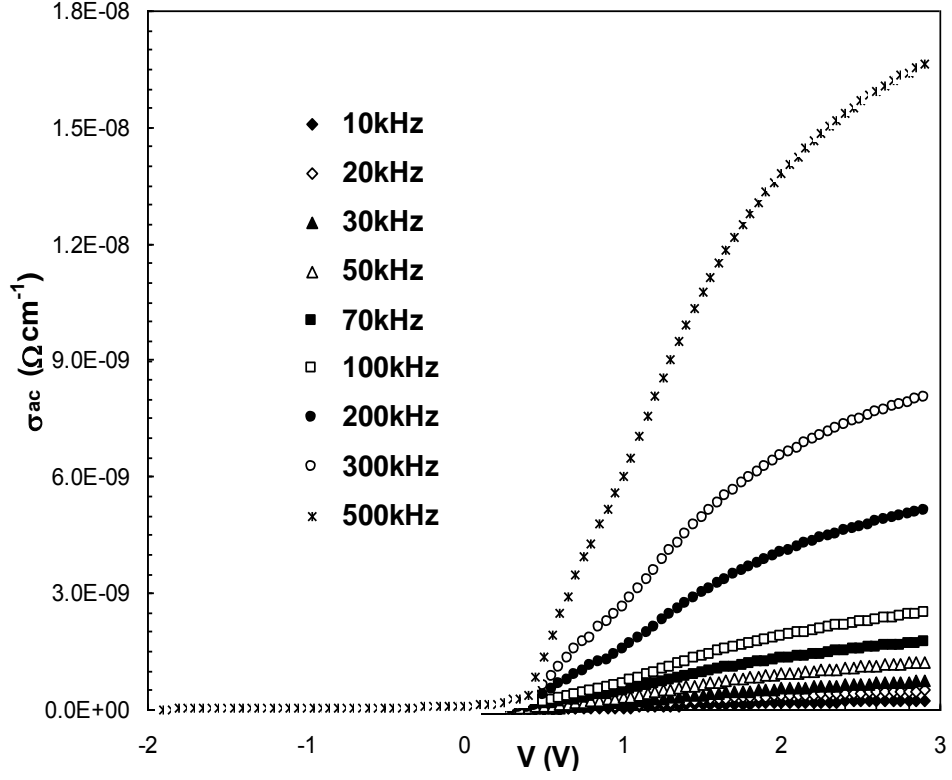


Şekil 4.9. Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının M' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği

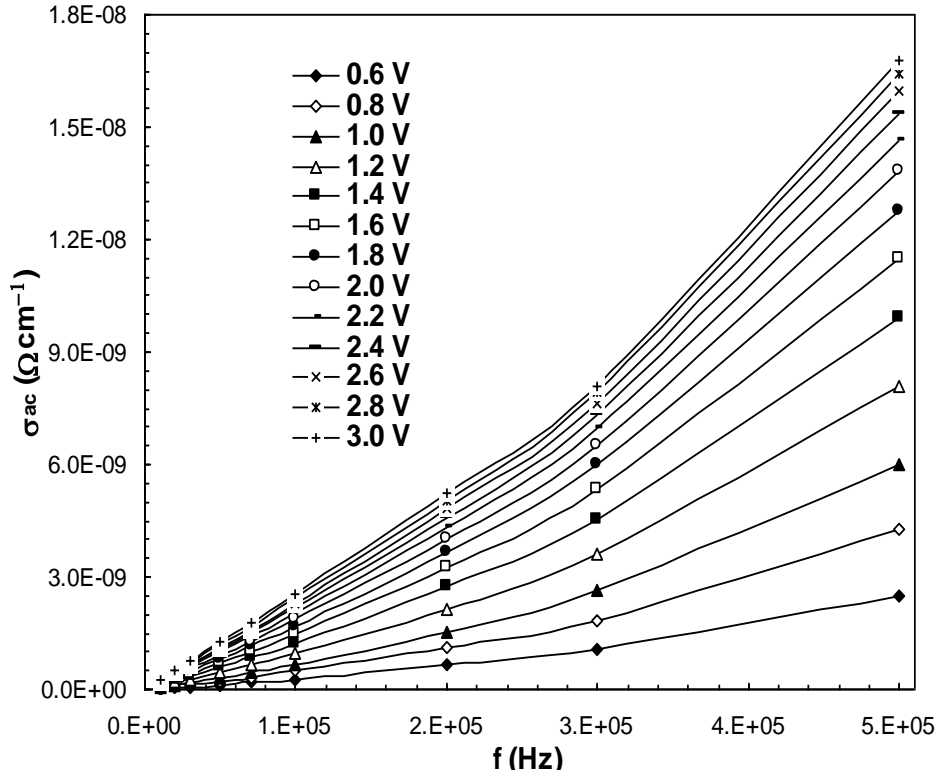


Şekil 4.10. Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının M'' karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği

Gerilime ve frekansa bağlı olarak σ_{ac} karakteristiğinin değişimini incelemek için, σ_{ac} 'nin hem σ_{ac} -V hem de σ_{ac} -f grafikleri sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. Tüm frekans değerleri için -2V'den 0.5V'ye kadar artan gerilimlerde σ_{ac} değerlerinin neredeyse sabit kaldığı Şekil 4.11'den görülmektedir. 0.6V'dan 3V'ye kadar gerilimin artmasıyla ve 10kHz'den 500kHz'e kadar artan frekansla σ_{ac} değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi, Au/PPy/n-Si yapıdaki dipollerin frekans ve gerilimin artmasıyla daha iyi polarizasyona sahip olmasıdır. Her bir frekans için uygulanan gerilimin artmasıyla σ_{ac} değerlerinin arttığı Şekil 4.12'de görülmektedir. Frekansın artmasıyla σ_{ac} değerlerindeki artışa R_s ve polarizasyon etkileri sebep olur. Denklem 4.2 incelendiğinde, σ_{ac} değerlerinin yüksek frekanslardaki ϵ'' değerine bağlı olduğu görülebilir [79,95,114-117].



Şekil 4.11. Oda sıcaklığında farklı frekanslar için Au/PPy/n-Si yapının σ_{ac} karakteristiğinin gerilime bağlı değişim grafiği



Şekil 4.12. Oda sıcaklığında farklı gerilimler için Au/PPy/n-Si yapının σ_{ac} karakteristiğinin frekansa bağlı değişim grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretilen Au/PPy/n-Si SBD'nin dielektrik özelliklerinin, elektrik modülünün ve AC elektriksel iletkenliğinin frekans ve gerilime bağlı karakteristikleri oda sıcaklığında 10-500 kHz geniş frekans aralığında ve -2 V ile 3 V gerilim aralığında deneysel C ve G/ω verileri kullanılarak araştırıldı. Arayüzey PPy katmanı, organik buharlaştırma tekniği kullanılarak n-Si üzerine kaplandı. Au/PPy/n-Si tipi SBD'nin dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kaybı (ϵ''), kayıp tanjantı ($\tan\delta$), reel ve imajiner elektrik modülü (M' ve M'') ve AC elektriksel iletkenliği (σ_{ac}) oda sıcaklığında 10-500 kHz geniş frekans aralığında ve -2 V ile 3 V gerilim aralığında frekansın ve uygulanan gerilimin güçlü bir fonksiyonu olarak elde edildi. Deneysel sonuçlar SBD'nin ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' ve σ_{ac} değerlerinin hem tükenim bölgesinde hem de yığılım bölgesinde frekansa ve uygulanan gerilime güçlü bir şekilde bağlı olduğunu gösterdi. Genellikle frekans artarken ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerlerinin azaldığı, σ_{ac} , M' ve M'' değerlerinin de arttığı gözlemlendi. Yaklaşık 0 V civarında frekans arttıkça $\tan\delta$ ve M'' değerlerinin azalan bir şekilde pik verdiği belirlendi. Diğer taraftan gerilimin artmasıyla ϵ' ve M' değerleri azalırken, ϵ'' , $\tan\delta$, σ_{ac} ve M'' değerlerinde artış elde edildi. ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' ve σ_{ac} değerlerindeki bu değişimlerin tümü özellikle diyotun R_s etkisine ve bir dış elektrik alan etkisindeki PPy/n-Si arayüzeyine yerleşmiş yüzey durum yoğunluğuna atfedilebilir. Düşük frekanslarda tükenim bölgesinde, yüzey polarizasyonları ve ara yüzey durumları Au/PPy/n-Si SBD yapının tüm deneysel sonuçlarına etki etti. Fakat R_s bu yapı için sadece yüksek frekansta yığılım bölgesinde etkin oldu.

6. KAYNAKLAR

- [1] Berger L.I., *Semiconductor Materials*, CRC Press, (1997).
- [2] Braun F., Uber die Stromleitung durch Schwefelmetalle, *Annalen der Physik and Chemie*, 153 (4) (1874) 556-563.
- [3] Sharma B.L., *Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their Applications*, PlenumPress, (1984).
- [4] Sze S.M., *Physics of Semiconductor Devices 2nd Edition*, Wiley, (1981).
- [5] Bardeen J., Brattain W.H., The Transistor, a Semiconductor Triode, *Physical Review*, 74 (2) (1948) 230-231.
- [6] Nicollian E.H., Brews J.R., *MOS (Metal-Oxides-Semiconductor) Physics and Technology*, John Willey and Sons, (1982).
- [7] Song Y.P., Van Meirhaeghe R.L., Lafl re W.H., Cardon F., On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers, *Solid-State Electronics*, 29 (6) (1986) 633-638.
- [8] Mui D., Strite S., Morko  H., On the barrier lowering and ideality factor of ideal Al/GaAs Schottky diodes, *Solid-State Electronics*, 34 (10) (1991) 1077-1082.
- [9] Hahn B.R., Yoon D.Y., Electrical and Interfacial Properties Of Metal-Polyamide-Silicon Structure, *Journal Of Applied Physics*, 65 (7) (1989) 2766-2771.
- [10] Sze S.M., Ng K.K., *Physics of Semiconductor Devices 3rd Edition*, John Wiley & Sons, (2007).
- [11] Y cedağ  ., Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) yapılarında elektrik ve dielektrik  zelliklerinin sıcaklık ve frekansa bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi  niversitesi, Ankara, (2007).
- [12] Jaros M., *Physics and Applications of Semiconductor Microstructures*, Carlendon Press, (1989).
- [13] Neamen D.A., *Semiconductor Physics and Devices 2nd Edition*, Mc Graw-Hill, (1997).

- [14] Kanbur H., Altındal Ş., Tataroğlu A., The effect of states, excess capacitance and series resistance in the Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes, *Applied Surface Science*, 252 (5) (2005) 1732-1738.
- [15] Gökçen M., MOS Yapılarda kapasitans-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω-V) Karakteristiklerinin Frekans ve Radyasyona Bağlı İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2005).
- [16] Cooke M.J., *Semiconductor Devices*, Prentice Hall, (1990).
- [17] Ghandhi S.K., *VLSI Fabrication Principles*, John Wiley & Sons, (1983).
- [18] Schroder D.K., *Semiconductor Material and Device Characterization 2nd Edition*, John Wiley & Sons, (1998).
- [19] Goetzberger A., Klausmann E., Schulz M.J., Interface states on semiconductor/insulator surfaces, *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, 6 (1) (1976) 226-233.
- [20] Tataroğlu A., Altındal Ş., Bülbül M.M., Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure, *Microelectronic Engineering*, 81 (1) (2005) 140-149.
- [21] Chattopadhyay P., Raychaudhuri B., New technique for the determination of series resistance of Schottky barrier diodes, *Solid-State Electronics*, 35 (7) (1992) 1023-1024.
- [22] Şahin B., Çetin H., Ayyıldız E., The effect of series resistance on capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes, *Solid-State Communications*, 135 (8) (2005) 490-495.
- [23] Tataroğlu B., Altındal Ş., Tataroğlu A., The C-V-f and G/ω-V-f characteristics of Al/SiO₂/p-Si (MIS) structures, *Microelectronic Engineering*, 83 (10) (2006) 2021-2026.
- [24] Kar S., Dahlke W.E., Interface states in MOS structures with 20-40 Å thick SiO₂ films on nondegenerate Si, *Solid-State Electronics*, 15 (2) (1972) 221-237.
- [25] Konofaos N., McClean I.P., Thomas C.B., Characterisation of the interface states between amorphous diamond-like carbon films and (100) silicon, *Physica Status Solidi (a)*, 161 (1) (1997) 111-123.
- [26] Kwa K.S.K., Chattopadhyay S., Jankovic N.D., Olsen S.H., Driscoll L.S., O’Niell A.G., Thermal oxidation of strained Si/SiGe: impact of surface morphology and effect on MOS devices, *Materials Science and Engineering*, 109 (1-3) (2004) 78-84.

- [27] Altındal Ş., Al-SiO_x-pSi aygıtların ve güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (1993).
- [28] Cowley A.M., Sze S.M., Surface State and Barrier Height of Metal-Semiconductor Systems, *Journal of Applied Physics*, 36 (10) (1965) 3212-3216.
- [29] Jarzebski Z.M., Physical properties of SnO₂ materials: Preparation and defect structure, *Journal of The Electrochemical Society*, 123 (7) (1976) 199-205.
- [30] Maudes J.S., Rodriguez T., Sprayed SnO₂ films: Growth mechanism and film structure characterization, *Thin Solid Films*, 69 (2) (1980) 183-189.
- [31] Ziel A.V., *Solid State Physical Electronics 2nd Edition*, Prentice Hall, (1968).
- [32] Rhoderick E.H., Williams R.H., *Metal-Semiconductor Contacts 2nd Edition*, Oxford University Press, (1988).
- [33] Saad M., Kassis A., Thermally and light-activated current in ZnO/CdS/CuGaSe₂ single crystal solar cells, *Renewable Energy*, 33 (5) (2008) 974-978.
- [34] Kassis A., Saad M., Separation of solar cell current into its constituent parallel currents under illumination, *Renewable Energy*, 34 (4) (2009) 965-969.
- [35] Farag A.A.M., Yahia I.S., Fadel M., Electrical and photovoltaic characteristics of Au/n-CdS Schottky diode, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (11) (2009) 4906-4913.
- [36] Farag A.A.M., Ashery A., Ahmed E.M.A., Salem M.A., Effect of temperature, illumination and frequency on the electrical characteristics of Cu/p-Si Schottky diode prepared by liquid phase epitaxy, *Journal of Alloys and Compounds*, 495 (1) (2010) 116-120.
- [37] Yakuphanoglu F., The current-voltage characteristics of FSS/n-Si heterojunction diode under dark and illumination, *Physica B: Condensed Matter*, 388 (1-2) (2007) 226-229.
- [38] Yakuphanoglu F., Electronic and photovoltaic properties of Al/p-Si/copper phthalocyanine photodiode junction barrier, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91 (13) (2007) 1182-1186.
- [39] Yakuphanoglu F., Şenkal B.F., Electrical conductivity, photoconductivity, and optical properties of poly (1,4-diaminoanthraquinone) organic semiconductor for optoelectronic applications, *Polymers for Advanced Technologies*, 19 (9) (2008) 1193-1198.
- [40] Yakuphanoglu F., Çağlar M., Çağlar Y., Ilıcan S., Electrical characterization of nanocluster n-CdO/p-Si heterojunction diode, *Journal of Alloys and Compounds*,

- 506 (1) **(2010)** 188-193.
- [41] Yakuphanoglu F., Electrical and photovoltaic properties of cobalt doped zinc oxide nanofiber/n-silicon, *Journal of Alloys and Compounds*, 494 (1-2) **(2010)** 451-455.
- [42] Akkal B., Benamara Z., Bouiadjra N.B., Tizi S., Gruzza B., Illumination dependence of I-V and C-V characterization of Au/InSb/InP (100) Schottky structure, *Applied Surface Science*, 253 (3) **(2006)** 1065-1070.
- [43] Singh T.B., Meghdadi F., Günes S., Marjanovic N., Horowitz G., Lang P., Bauer S., Sariciftci N.S., High-Performance Ambipolar Pentacene Organic Field-Effect Transistors on Poly(vinyl alcohol) Organic Gate Dielectric, *Advanced Materials*, 17 (19) **(2005)** 2315-2320.
- [44] Sönmezoğlu S., Şenkul S., Taş R., Çankaya G., Can M., Electrical and interface state density properties of polyaniline-poly-3-methy triophene bblend/p-Si Schottky barrier diode, *Solid State Sciences*, 12 (5) **(2010)** 706-711.
- [45] Güllü Ö., Kılıçoğlu T., Türüt A., Electronic properties of the metal/organic interlayer/inorganic semiconductor sandwich device, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 71 (3) **(2010)** 351-356.
- [46] Güllü Ö., Türüt A., Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structures, *Journal of Applied Physics*, 106 (10) **(2009)** 103717.
- [47] Çakar M., Türüt A., Onganer Y., The conductance and capacitance-frequency characteristics of the rectifying junctions formed by sublimation of organic pyronine-B on p-type silicon, *Journal of Solid State Chemistry*, 168 (1) **(2002)** 169-174.
- [48] Altındal S., Sari B., Ünal H.I., Yavaş N., Electrical Characteristics of Al/Polyindole Schottky Barrier Diodes. I. Temperature Dependence, *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (5) **(2009)** 2955-2961.
- [49] Vural Ö., Şafak Y., Altındal Ş., Türüt A., Current-voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs structures in the wide temperature range, *Current Applied Physics*, 10 (3) **(2010)** 761-765.
- [50] Oral M., *Elektrostatik*, Ege Üniversitesi Matbaası, **(1983)**.
- [51] Northrop D.C., Rhoderick E.H., *The Physics of Schottky barriers, impedance Devices*, John Wiley and Sons, **(1978)**.

- [52] Ho P.S., Yang E.S., Evans H.L., Wu Xu., Electronic states at silicide-silicon interfaces, *Physical Review Letters*, 56 (2) (1986) 177-180.
- [53] Hench L.L., West J.L., *Principles of Electronic Ceramics*, John Wiley & Sons, (1990).
- [54] Hoque M.M., Dutta A., Kumar S., Sinha T.P., Dielectric Relaxation and Conductivity of Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃ and Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O₃, *Journal of Materials Science & Technology*, 30 (4) (2014) 311-320.
- [55] Chandrakala H.N., Ramaraj B., Madhu G.M., The influence of zinc oxide-cerium oxide nanoparticles on the structural characteristics and electrical properties of polyvinyl alcohol films, *Journal of Materials Science*, 47 (23) (2012) 8076-8084.
- [56] Uslu H., Altındal Ş., Dökme İ., Illumination effect on electrical characteristics of organic-based Schottky barrier diodes, *Journal of Applied Physics*, 108 (10) (2010) 104501.
- [57] Dökme İ., Altındal Ş., Tunç T., Uslu İ., Temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes, *Microelectronics Reliability*, 50 (1) (2010) 39-44.
- [58] Bülbül M.M., Bengi S., Dökme İ., Altındal Ş., Tunç T., Temperature dependent capacitance and conductance-voltage characteristics of Au/Polyvinyl alcohol (Co, Zn)/n-Si Schottky diodes, *Journal of Applied Physics*, 108 (3) (2010) 034517.
- [59] Taşcıoğlu İ., Aydemir U., Altındal Ş., The explanation of barrier height inhomogeneities in Au/n-Si Schottky barrier diodes with organic thin interfacial layer, *Journal of Applied Physics*, 108 (6) (2010) 064506.
- [60] Uslu İ., Başer B., Yaylı A., Aksu M.L., Preparation and Characterization of PVA/Zinc Acetate/Boron Composite Fibers, *e-Polymers*, 7 (1) (2007) 1699-1704.
- [61] Uslu İ., Daştan H., Altaş A., Atakol O., Aksu M.L., Preparation and Characterization of PVA/Boron Polymer Produced by an Electrospinning Technique, *e-Polymers*, 7 (1) (2007) 1568-1573.
- [62] Byun S.W., Im S.S., Transparent and conducting nylon 6-based composite films prepared by chemical oxidative polymerization, *Synthetic Metals*, 57 (1) (1993) 3501-3506.
- [63] Chen X., Issi J.P., Devaux J., Billaud D., Chemically oxidized polypyrrole:

- Influence of the experimental conditions on its electrical conductivity and morphology, *Polymer Engineering & Science*, 35 (8) (1995) 642-647.
- [64] Yoon C.O., Reghu M., Moses D., Cao Y., Heeger A.J., Transports in blends of conducting polymers, *Synthetic Metals*, 69 (1-3) (1995) 255-258.
- [65] Bhat N.V., Gadre A.P., Bambole V.A., Structural, mechanical, and electrical properties of electropolymerized polypyrrole composite films, *Journal of Applied Polymer Science*, 80 (13) (2001) 2511-2517.
- [66] Kim B.J., Oh S.G., Han M.G., Im S.S., Preparation of PANI-coated poly(styrene-co-styrene sulfonate) nanoparticles, *Polymer*, 43 (1) (2002) 111-116.
- [67] MacDiarmid A.G., "Synthetic Metals": A Novel Role for Organic Polymers, *Angewandte Chemie International Edition*, 40 (14) (2001) 2581-2590.
- [68] Hamzah H.M., Saion E., Kassim A., AC Conductivity Measurement of PVA-PPY Conducting Polymer Composites, *6th Putra Physics Seminar Proceedings*, (2004) 248-261.
- [69] Hamzah H.M., Saion E., Yahya N., Kassim A., Ekramul M., The Study of Conductivity of Polypyrrole Conducting Polymer, *5th Putra Physics Seminar Proceedings*, (2003) 73-76.
- [70] Benseddik E., Makhlouki M., Bernede J.C., Lefrant S., Pron A., XPS Studies of Environmental Stability of Polypyrrole-Poly(Vinyl Alcohol) Composites, *Synthetic Metals*, 72 (3) (1995) 237-242.
- [71] Wanga L.X., Li X.G., Yang Y.L., Preparation, properties and applications of polypyrroles, *Reactive & Functional Polymers*, 47 (2) (2001) 125-139.
- [72] Vernitskaya T.V., Efimov O.N., Polypyrrole: a conducting polymer; its synthesis, properties and applications, *Russian Chemical Reviews*, 66 (5) (1997) 443-457.
- [73] Harun M.H., Saion E., Kassim A., Mahmud E., Hussain M.Y., Mustafa I.S., Dielectric properties of poly (vinyl alcohol)/polypyrrole composite polymer films, *Journal for The Advancement of Science & Arts*, 1 (1) (2009) 9-16.
- [74] Yücedağ İ., Kaya A., Tecimer H., Altındal Ş., Temperature and voltage dependences of dielectric properties and ac electrical conductivity in Au/PVC+TCNQ/p-Si structures, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 28 (2014) 37-42.
- [75] Afandiyeva I.M., Dökme İ., Altındal Ş., Bülbül M.M., Tataroğlu A., Frequency

- and voltage effects on the dielectric properties and electrical conductivity of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si structures, *Microelectronic Engineering*, 85 (2) (2008) 247-252.
- [76] Afandiyeva I.M., Bülbül M.M., Altındal Ş., Bengi S., Frequency dependent dielectric properties and electrical conductivity of platinum silicide/Si contact structures with diffusion barrier, *Microelectronic Engineering*, 93 (2012) 50-55.
- [77] Chelkowski A., *Dielectric Physics*, Elsevier, (1980).
- [78] Oreshkin P.T., *Physics of Semiconductors and Dielectrics*, Vysshaya Shkola, (1977).
- [79] Szu S.P., Lin C.Y., AC impedance studies of copper doped silica glass, *Materials Chemistry and Physics*, 82 (2) (2003) 295-300.
- [80] Aydemir U., Au/SrTiO₃/n-Si (MFS) Schottky Diyotların Elektriksel Parametrelerinin I-V, C-V Ve DLTS Metodu İle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2009).
- [81] Grove A.S., *Physics and Technology of Semiconductor Devices*, John Wiley and Sons, (1967).
- [82] Ulrich B., Kuchar F., Capacitance-voltage measurements on a p-type InSb metal/insulator/semiconductor structure with Si₃N₄ as the insulator, *Thin Solid Films*, 168 (2) (1989) 157-168.
- [83] Haddara S.H., El-Sayed M., Conductance technique in MOSFETs: study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes, *Solid-State Electronics*, 31 (8) (1988) 1289-1298.
- [84] Fröhlich H., *Theory of Dielectrics*, Clarendon Press, (1958).
- [85] Tareev B., *Physics of Dielectric Materials*, Mir Publishers, (1979).
- [86] Von Hippel A.R., *Dielectrics and Waves*, John Wiley & Sons, (1959).
- [87] Popescu M., Bunget I., *Physics of Solid Dielectrics*, Elsevier, (1984).
- [88] Daniel V.V., *Dielectric Relaxation*, Academic Press, (1967).
- [89] Symth C.P., *Dielectric Behaviour and Structure*, McGraw-Hill, (1955).
- [90] Nicollian E.H., Goetzberger A., MOS Conductance Technique for Measuring Surface State Parameters, *Applied Physics Letters*, 7 (8) (1965) 216-219.
- [91] Bülbül M.M., Frequency and temperature dependent dielectric properties of Al/Si₃N₄/p-Si(1 0 0) MIS structure, *Microelectronic Engineering*, 84 (1) (2007) 124-128.
- [92] Dökme İ., Altındal Ş., The C-V-f and G/ω-V-f characteristics of Au/SiO₂/n-Si capacitors, *Physica B*, 391 (1) (2007) 59-64.

- [93] Yücedağ İ., On the anomalous peak at low and moderate frequency CV curves of Al/SiO₂/p-Si structure at the forward bias region, *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications*, 3 (6) (2009) 612-615.
- [94] Karataş Ş., Studies on electrical and the dielectric properties in MS structures, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354 (30) (2008) 3606-3611.
- [95] Maurya D., Kumar J., Shripal S., Dielectric-spectroscopic and a.c. conductivity studies on layered Na_{2-x}K_xTi₃O₇ (X=0.2, 0.3, 0.4) ceramics, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 66 (10) (2005) 1614-1620.
- [96] Sattar A.A., Rahman S.A., Dielectric Properties of Rare Earth Substituted Cu-Zn Ferrites, *Physica Status Solidi (a)* 200 (2) (2003) 415-422.
- [97] Matheswaran P., Sathyamoorthy R., Saravanakumar R., Velumani S., AC and dielectric properties of vacuum evaporated InTe bilayer thin films, *Materials Science and Engineering: B*, 174 (1-3) (2010) 269-272.
- [98] Kumar K., Katyal S.C., Sharma P., Thakur N., Effect of Bi addition on dc, ac conductivity and dielectric properties of Te₁₅(Se_{100-x}Bi_x)₈₅ glassy alloys, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13 (4) (2011) 371-376.
- [99] Rahman A.S.M.S., Islam M.H., Hogarth C.A., AC electrical properties of vacuum-evaporated SiO/SnO₂ films, *International Journal of Electronics*, 62 (2) (1987) 167-179.
- [100] Nicollian E.H., Goetzberger A., The Si-SiO₂ Interface - Electrical Properties as Determined by the Metal-Insulator-Silicon Conductance Technique, *Bell System Technical Journal*, 46 (6) (1967) 1055-1133.
- [101] Smyth C.P., *Dielectric Behavior and Structure*, McGraw-Hill, (1955).
- [102] Daniel V.V., *Dielectric Relaxation*, Academic Press, (1967).
- [103] Dökme İ., Altındal Ş., Gökçen M., Frequency and gate voltage effects on the dielectric properties of Au/SiO₂/n-Si structures, *Microelectronic Engineering*, 85 (9) (2008) 1910-1914.
- [104] Tekeli Z., Gökçen M., Altındal Ş., Özçelik S., Özbay E., On the profile of frequency dependent dielectric properties of (Ni/Au)/GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N heterostructures, *Microelectronics Reliability*, 51 (3) (2011) 581-586.
- [105] Pissis P., Kyritsis A., Electrical conductivity studies in hydrogels, *Solid State Ionics*, 97 (1-4) (1997) 105-113.
- [106] Uslu H., Altındal Ş., Tunç T., Uslu İ., Mammadov T.S., 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*, 120 (1) (2011) 322-328.
- [107] Yücedağ İ., Altındal Ş., Tataroğlu A., On the profile of frequency dependent series resistance and dielectric constant in MIS structure, *Microelectronic Engineering*, 84 (1) (2007) 180-186.
- [108] Bidault O., Goux P., Kchikech M., Belkaoumi M., Maglione M., Space-charge relaxation in perovskites, *Physical Review B*, 49 (12) (1994) 7868-7873.
- [109] Kyritsis A., Pissis P., Grammatikakis J., Dielectric relaxation spectroscopy in poly(hydroxyethyl acrylates)/water hydrogels, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 33 (12) (1995) 1737-1750.
- [110] Rapoš M., Ružinský M., Luby S., Červenák J., Dielectric properties of Me-CdTe-Me thin film structures, *Thin Solid Films*, 36 (1) (1976) 103-106.
- [111] Prabakar K., Narayandass S.K., Mangalaraj D., Dielectric properties of Cd_{0.6}Zn_{0.4}Te thin films, *Physica Status Solidi (a)*, 199 (3) (2003) 507-514.
- [112] Migahed M.D., Ishra M., Fahmy T., Barakat A., Electric modulus and AC conductivity studies in conducting PPy composite films at low temperature, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65 (6) (2004) 1121-1125.
- [113] Chattopadhyay P., Raychaudhuri B., Origin of the anomalous peak in the forward capacitance-voltage plot of a Schottky barrier diode, *Solid-State Electronics*, 35 (6) (1992) 875-878.
- [114] Kannan C.V., Ganesasmoothy S., Subramanian C., Ramasamy P., Dielectric properties of self-flux-grown RbTiOPO₄ single crystals, *Physica Status Solidi (a)*, 196 (2) (2003) 465-470.
- [115] Cutroni M., Mandanici A., Piccolo A., Fanggao C., Saunders G.A., Mustarelli P., Frequency and temperature dependence of a.c. conductivity of vitreous silver phosphate electrolytes, *Solid State Ionics*, 90 (1-4) (1996) 167-172.
- [116] Tataroğlu A., Altındal Ş., Bülbül M.M., Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure, *Microelectronic Engineering*, 81 (1) (2005) 140-149.
- [117] Yücedağ İ., Ersöz G., Gümüş A., Altındal Ş., 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*, 29 (13) (2015) 1550075.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Gülçin Ersöz
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri : 20/06/1990 Kdz. Ereğli
Telefon : 0535 471 06 78
E-posta : glcnersoz@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi	Devam Ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi	2012
Lise	Anadolu Ticaret Meslek Lisesi	2008

Yabancı Dil

İngilizce (YDS : 56.25)

Yayımlar

1. Yücedağ İ., Ersöz G., Gümüş A., Altındal Ş., 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*, 29 (13) (2015) 1550075.
2. Gümüş A., Ersöz G., Yücedağ İ., Bayrakdar S., Altındal Ş., Comparative Study of Temperature-Dependent Dielectric Properties of Au/PPy/n-Si (MPS) Type Schottky Barrier Diodes (SBDs), *Journal of Korean Physical Society* (UNDER REVIEW)

3. Ersöz G., Yücedağ İ., Bayrakdar S., Altındal Ş., Gümüş A., The effects of polypyrrole interfacial layer and illumination on the main electrical parameters of the Au/PPy/n-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs) at room temperature, *Journal of electronic materials* (UNDER REVIEW)

Poster

1. Demir A., Yücedağ İ., Ersöz G., Altındal Ş., Baraz N., Kandaz M., A comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si (MS), Au/biphenyl-CuPc/n-Si (MPS₁) and Au/biphenylSubs-CoPc/n-Si (MPS₂) type Schottky barrier diodes, *1st International Conference on Organic Electronic Material Technologies*, Elazığ/Turkey

Bildiri

1. Baraz N., Yücedağ İ., Demir A., Ersöz G., Altındal Ş., Kandaz M., Controlling the electrical characteristics of Au/n-Si structure with biphenyl-CoPc and OHSubs-ZnPc and without interfacial layer, *1st International Conference on Organic Electronic Material Technologies*, Elazığ/Turkey