



**Au(MgO-PVP)/n-Si (MPS) YAPILARIN HAZIRLANMASI,YAPISAL VE
FREKANS BAĞLI ELEKTRİK DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ayşegül EROĞLU

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ayşegül EROĞLU

01/07/2021

Au (MgO-PVP)/n-Si (MPS) YAPILARIN HAZIRLANMASI, YAPISAL VE FREKANS BAĞLI ELEKTRİK DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Ayşegül EROĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Au/(MgO-PVP)/n-Si Schottky diyotlar $\langle 100 \rangle$ yönelimli ve 350 μm kalınlıklı tabaka üzerine, elektriksel parametreleri ve iletim mekanizmaları hakkında araştırma yapmak amacıyla büyütüldü. Dielektrik ve elektrik parametreler -2-3 Volt gerilim ve 10 kHz-5 MHz frekans aralığında empedans spektroskopisi yöntemiyle incelendi. Ardından idealite faktörü, bariyer yüksekliği, seri direnç gibi elektriksel parametreler, akım voltaj ölçümleri kullanılarak Termiyonik emisyon teorisinden, Cheung ve Norde fonksiyonlarından bulundu ve bulunan sonuçlar karşılaştırıldı. Yapının arayüzey tuzakları ve durumlarının enerjiye bağlı dağılımı, yine I-V ileri beslem verilerinden n ve F_B dikkate alınarak çıkarıldı. Hem kapasitans hem de iletkenlik değerleri inversiyon, deplesyon ve akümülyasyon bölgelerinde arayüzey durumları ve tuzaklar, seri direnç ve organik (MgO-PVP) arayüzey nedeniyle geniş bir dağılıma sahiptir. Bunlar arasında N_{ss} ve polarizasyon düşük frekanslarda inversiyon ve deplesyon bölgelerinde etkindir fakat R_s yüksek frekanslarda akümülyasyon bölgesinde etkilidir. Difüzyon potansiyeli (V_D), Fermi enerjisi (E_F), tükenme bölgesi genişliği gibi bazı temel elektriksel parametreler (W_D) ve bariyer yüksekliği (Φ_B) gibi bazı temel elektriksel parametreler, frekansın fonksiyonu olarak C^{-2} -V eğrilerinin lineer bölgesindeki eğimi ve kesme noktası değerlendirilerek hesaplandı. Ek olarak kompleks dielektrik sabiti, kompleks modülüsün gerçek ve sanal kısımları, ac iletkenlik frekans ve gerilimin fonksiyonu olarak C ve G/w verilerinden bulunmuştur. MgO-PVP ara katmanı dielektrik sabiti 10 kHz de 5,0 olarak bulunmuştur ki bu geleneksel yalıtkan katmana göre çok yüksektir. SiO_2 gibi geleneksel yalıtkanlara göre kolay büyütme süreci, düşük maliyet, esneklik, yüksek dayanıklılık gibi avantajları da bulunmaktadır. Bu sonuçlar kullanılan (MgO-PVP) polimer ara tabakanın MOS ve MPS tip kapasitörlere kıyasla daha büyük kutuplanma ve daha fazla depolanma sağladığını göstermektedir.

Bilim Kodu : 20227

Anahtar Kelimeler : MgO-PVP, Elektrik ve Dielektrik Özellikler, Schottky Bariyer Diyot

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Prof. Dr. Mehmet KASAP

THE FABRICATION OF Au/(MgO-PVP) /n-Si (MPS) SCHOTTKY BARRIER DIODES
AND THE INVESTIGATION THEIR ELECTRICAL AND DIELECTRICAL
PROPERTIES

Ayşegül EROĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2021

ABSTRACT

In this thesis Au/(MgO-PVP)/n-Si Schottky Diodes (SDs) , $\langle 100 \rangle$ orientation and $350\text{ }\mu\text{m}$ thickness are grown on to a wafer for analyzing electrical parameters and conduction mechanism. Dielectric and electrical parameters were investigated between -2-3 V voltage and 10kHz-5MHz frequency by impedance analyzer. Then electrical parameters such as ideality factor, barrier height, series resistance were extracted from three different methods (TE, Cheung and Norde functions) using I-V measurements and the results were compared. Nss and energy dependent distribution of MgO-PVP organic interlayer was calculated by I-V datas. When $\ln(I)-\ln(V)$ curves were investigated, it was seen that conduction mechanism were ohmic and limit space charge at low, medium and high voltages. Both capacitance and conduction values have wide distribution in inversion, depletion and accumulation region due to organic (MgO-PVP) Nss, series resistance. Between these two Nss and polarization are effective in inversion and depletion regions at low intermediate frequencies, but Rs are effective in accumulation region at high frequencies. The voltage and frequencies dependent Nss and Rs were extracted from respectively Hill Coleman ve Nicollian Brews methods. Some basic electrical parameters such as diffusion potential, Fermi Energy, depletion region width and barrier height were extracted from the intercept and slope of the C^{-2} -V curves as function of frequency. In addition, complex dielectric constant, real and imaginary parts of complex modulus, ac conductivity were extracted from C and G/w datas as function of frequency and voltages. MgO-PVP interlayer dielectric constant was calculated as 5.0 at 10 kHz such that this calculation is higher than traditional insulator layer. (MgO-PVP) has more advantages such as easy grown processes, low cost, flexibility, high mechanical power than traditional insulators like SiO_2 . These results show that (MgO-PVP) polymer interlayer has more storage and bigger polarization than MPS and MOS type capacitors.

Science Code : 20227

Key Words : MgO-PVP, Electrical and Dielectrical Properties, SBD's

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet KASAP

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne sunduğum doktora tez çalışmamın bu aşamaya gelmesinde şüphesiz ki Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL'ın katkıları çok büyüktür. Yol göstericiliği ve bütün desteği için kendisine saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Danışman hocam Prof. Dr. Mehmet KASAP başta olmak üzere tez süresince önerileri ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Abdullah YILDIZ ve jüri üyelerim Prof. Dr. Adem TATAROĞLU ve Prof. Dr. İlbilge DÖKME'ye de teşekkürü bir borç bilirim.

Hayat temposunda bazen pes edip kaçmak bazen üstüne üstüne yürümek istediğim tüm inişlerde çıkışlarda ne zaman ihtiyaç duysam yanımda olan kardeşim Oğulcan EROĞLU, annem Firdevs EROĞLU başta olmak üzere aileme, arkadaşlarıma ve son olarak da hep yeni bir yol bulmayı başardığım için kendime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL-YARIİLETKEN (M/S) KONTAKLAR.....	5
2.1. Metal Yarıiletken Kontakların Teorisi	5
2.2. MPS Schottky Engel Diyotların Yapısı.....	13
2.3. MPS Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları	15
2.3.1. Termiyonik emisyon teorisi (TE)	15
2.3.2. Alan emisyonu, termiyonik alan emisyonu (tünelleme).....	17
2.3.3. Eklem bölgesinde rekombinasyon.....	18
2.4. Homojen Olmayan Engel Yüksekliği ve Gaussian Modeli.....	18
2.5. Arayüzey Durumları Dağılım Profiline Enerji Bağlılığı	21
2.6. Schottky Engel Diyotlarda Kapasitans/Kondüktansın Voltaj ve Frekansa Bağlı Özellikleri.....	22
2.6.1. Dielektrik malzeme ve dielektrik sabiti	22
2.6.2. Dielektrik kutuplanma.....	23
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	29
3.1. MgO ve PVP Hakkında Literatür Taraması.....	29
3.2. Kullanılan Materyaller ve Test Yöntemleri.....	29

Sayfa

3.3. MgO Nanoyapıların Hazırlanması.....	31
3.4. Au / n-Si / PVP: MgO / Au Yapının Üretim Süreci	31
3.5. Termogravimetrik Diferansiyel Termal Analiz (TGA-DTA).....	32
3.6. X-ışını Difraksiyonu	34
3.7. MgO Nanoyapılarının SEM ve BET Analizleri.....	35
3.8. Yüzey Alanı Ölçümü (BET).....	37
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	39
4.1. Elektrik Karakteristikleri.....	39
4.1.1. İleri ve geri beslemde I-V özellikleri.....	39
4.2. Dielektrik Özellikler.....	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. M/S Kontaklarda İş Fonksiyonuna Göre Kontak Türleri.....	6
Çizelge 4.1. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapı için bulunan I_s , n , R_s ve ϕB_0 değerlerinin farklı yöntemler ile bulunması	40
Çizelge 4.2. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının çeşitli frekanslar için hesaplanan V_D , N_D , E_F , E_M , Φ_B ve W_D değerleri	57



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken katılar için bant yapısı modellemesi.....	1
Şekil 1.2. Verici atomlarla katkılanan n-tipi yarıiletken ve bant yapısı modellemesi...	2
Şekil 1.3. Alıcı atomlarla katkılanan p-tipi yarıiletken ve bant yapısı modellemesi	3
Şekil 2.1. Metal ile yarıiletkenin kontak edilmeden önce (a) ve kontak edildikten sonra (b) enerji bant diyagramı.....	6
Şekil 2.2. Doğrultucu Metal/n tipi yarıiletken eklemine doğru beslem enerji bant diyagramı	10
Şekil 2.3. Doğrultucu Metal/n tipi yarıiletken eklemine ters beslem enerji bant diyagramı	10
Şekil 2.4. (a) MS/MIS tipi Schottky diyotun eşdeğer devresi (b) R_{sh} ve R_s 'nin Schottky diyotun I-V karakteristiğine etkisi	12
Şekil 2.5. MPS Yapının Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 2.6. Schottky Engel Yüksekliği iki boyutlu modeli	20
Şekil 2.7. Plakaları arasında dielektrik malzeme olan bir sığaçta kutuplanma modellemesi	24
Şekil 3.1. Au / n-Si / PVP: MgO / Au Üretim Süreci Şematik Gösterimi.....	32
Şekil 3.2. Ultrason destekli yöntemle hazırlanan magnezyum hidroksit nanoyapılarının (a) DTA ve (b) TGA eğrisi.	33
Şekil 3.3. MgO nanoyapılarının X-ışını kırınım desenleri	35
Şekil 3.4. MgO ve MgO-Mn katkılı nanoyapıların UV-Görünür soğurulma spektrumları	37
Şekil 3.5. MgO nanoyapıların adsorpsiyon-desorpsiyon grafiği.....	38
Şekil 4.1. Au/n-Si ve Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının yarılogaritmik I-V grafiği	39
Şekil 4.2. Au/n-Si ve Au/(MgO-PVP) /n-Si yapının R_i -V grafiği.....	41
Şekil 4.3. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının (a) $dv/d\ln I$ (b) $H(I)$ -I grafiği	42
Şekil 4.4. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının F(V)-V grafiği	44
Şekil 4.5. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının $\ln(I_F)$ - $\ln(V)$ grafiği	45
Şekil 4.6. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının $\ln(I_R)$ - $V^{0.5}$ grafiği	47

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının Nss- Ec-Ess grafiği.....	48
Şekil 4.8. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının (a) C ⁻² -V (b) G-V grafiği	49
Şekil 4.9. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının Rs-V grafiği.....	50
Şekil 4.10. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C-V (a) ve G/w -V(b) grafiği	51
Şekil 4.11. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C-lnf (a) ve G/w-lnf (b) grafiği .	52
Şekil 4.12. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının Rs-V (a), Rs-lnf (b) grafiği	53
Şekil 4.13. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C ⁻² -V grafiği.....	55
Şekil 4.14. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının Nss-f grafiği.....	56
Şekil 4.15. Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' -V, ϵ'' -V, $\tan\delta$ -V grafikleri.....	59
Şekil 4.16. Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ 'nın frekansa bağlı grafikleri	61
Şekil 4.17. Au/(MgOPVP)/n-Si yapı için gerilime bağlı a M', b M'' eğrileri	64
Şekil 4.18. Au/(MgOPVP)/ n-Si yapının frekansa bağlı M' ve M'' eğrileri	65
Şekil 4.19. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapıda frekans ve gerilime bağlı σ_{ac} değerleri.....	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. HP 4192 A empedans analizörü.....	30
Resim 3.2. Janis vpf-475 kriyostat.....	30
Resim 3.3. Keithley 2400 akım- gerilim kaynağı.....	31
Resim 3.4. MgO nanoyapılarının SEM görüntüleri: a) 135kx, b) 25kx, c) MgO nanoyapılarının EDX profilleri.	36



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

MgO

Magnezyum oksit

Al

Aluminyum

Au

Altın

E_g (eV)

Yarıiletken yasak enerji aralığı

E_c (eV)

İletim bandı

E_v (eV)

Valans bandı

E_d (eV)

Verici (donör) enerji seviyesi

E_a (eV)

Alıcı (akseptör) enerji seviyesi

Φ_m (eV)

Metalin iş fonksiyonu

Φ_s (eV)

Yarıiletkenin iş fonksiyonu

χ_s (eV)

Elektron yakınlığı

E_F (eV)

Fermi Enerji Seviyesi

Φ_B (eV)

Schottky engel yüksekliği

Φ_{B0} (eV)

Sıfır beslem engel yüksekliği

I (A)

Akım

q (C)

Elektrik yükü

J (A.cm⁻²)

Akım yoğunluğu

I_o (A)

Doyma akımı

V (V)

Diyot/yapı üzerine uygulanan gerilim

V_D (V)

Diyot üzerine düşen gerilim

V_F (V)

Diyota uygulanan doğru beslem gerilimi

V_R (V)

Diyota uygulanan ters beslem gerilimi

R_s (Ω)

Seri direnç

V_{RS} (V)

Seri direnç üzerine düşen gerilim

R_{sh} (Ω)

Kısa devre direnci

n (Birimsiz)

İdealite faktörü

Simgeler	Açıklamalar
h (J.s)	Planck Sabiti
k (J/K)	Boltzmann sabiti
A (m ²)	Doğrultucu Kontak Alanı
A^* (A/cm ² K ²)	Richardson sabiti
ϵ_i (Birimsiz)	Arayüzey tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s (Birimsiz)	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
V_D (eV)	Diffüzyon potansiyeli
Hz	Frekans birimi (Hertz)
F	Sığa birimi (Farad)
°C	Santigrad cinsinden sıcaklık
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
Å	Angström
d_i/δ (Å)	Arayüzey tabakanın kalınlığı
Si	Silisyum
SiO ₂	Silisyum dioksit
E (V/m)	Elektrik alan
D	Elektrik akı yoğunluğu
E_p	İç elektrik alan
E_0	Dış elektrik alan
$\Delta\Phi$ (eV)	Schottky engel düşmesi
Φ_{ap} (eV)	Görünen engel yüksekliği
μ_e^* (kg)	Elektronun etkin kütlesi
μ_h^* (kg)	Değişin etkin kütlesi
m_0 (kg)	Elektronun durgun kütlesi
N_A (cm ⁻³)	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
N_D (cm ⁻³)	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_v (cm ⁻³)	Valans bandındaki durumların yoğunluğu
N_c (cm ⁻³)	İletim bandındaki durumların yoğunluğu
$N(E)$ (cm ⁻³)	Bantlardaki durumların yoğunluğu
W_D (cm)	Tüketim bölgesinin kalınlığı

Simgeler	Açıklamalar
τ (sn)	Ara-yüzey tuzaklarının ömrü
μ (cm ² /V.s)	Elektronun mobilitesi
N_{ss} (eV.cm ⁻²)	Arayüzey durumların yoğunluğu
C_o (F)	Boş kondanstörün sığası
C_i (F)	Arayüzey tabakanın sığası
ϵ^* (Birimsiz)	Kompleks dielektrik sabiti
ϵ' (Birimsiz)	Dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ'' (Birimsiz)	Dielektrik sabitinin imajiner kısmı
$\tan\delta$ (Birimsiz)	Tanjant kayıp açısı
M^* (Birimsiz)	Kompleks elektrik modulusü
M' (Birimsiz)	Elektrik modulusün reel kısmı
M'' (Birimsiz)	Elektrik modulusün imajiner kısmı
σ_{ac} (S/cm)	ac iletkenlik

Kısaltmalar	Açıklamalar
AC	Alternatif akım
C-V	Kapasitans- voltaj
DC	Doğru akım
EDX	Enerji Dağılım X Işını
FE	Alan Emisyonu
GD	Gaussian dağılımı
G/ ω -V	İletkenlik- voltaj
I-V	Akım-voltaj
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken
MPS	Metal-Polimer-Yarıiletken
MS	Metal-Yarıiletken
n-Si	n-tipi silisyum
PVP	Polyvinilpropilin
RR	Doğrultma Oranı

Kısaltmalar**Açıklamalar****SBD/SBDs**

Schottky engel diyet/diyotları

SD

Schottky diyet

SEM

Taramalı Elektron Mikroskopu

TE

Termiyonik Emisyon

TFE

Termiyonik Alan Emisyonu

TG/DTA

Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz

XRD

X ışını kırınımı

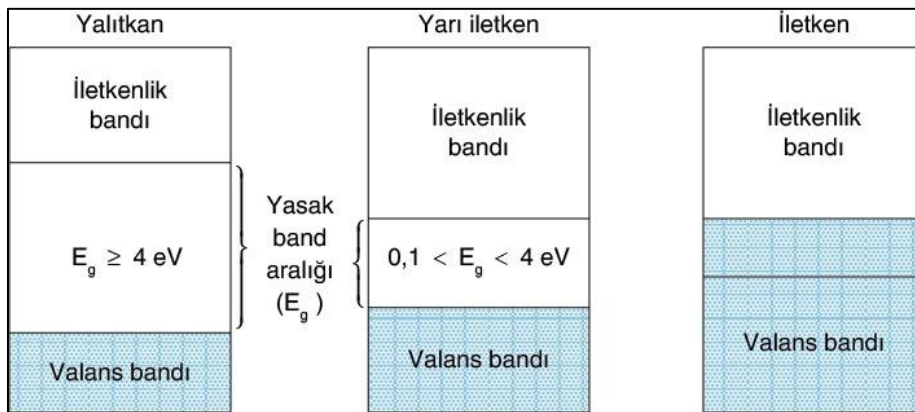


1. GİRİŞ

Kütle, hacim, eylemsizlik, tanecikli yapı gibi pek çok ortak özelliği bulunan maddelerin atomları arasındaki ilişki ve bağları dikkate alındığında farklı yapılara sahip olduğu bilinmektedir. Bu farklılıklar mekanik ve elektriksel ilişkileri de değiştirir. 19. yüzyılın başlarında elektriği ileten maddeler iletken ve elektriği iletmeyen maddeler ise yalıtkan olarak sınıflanıyordu. Ancak 1822 yılında Seebeck'in kurşun sülfür ile ve ardından 1833 yılında Michael Faraday'ın gümüş sülfür kristalleri ile yaptığı çalışmalarda bu malzemenin elektriksel iletkenliğinin artan sıcaklıkla artış gösterdiğini gözlemlemesi üçüncü bir maddenin sınıflandırmaya girmesi için temel oluşturmuştur. Çünkü bu durum metal davranışı ile ölçüşmemektedir. [1,2]. Bu tarihten günümüze yapılan çalışmalar ve gelişen bilim seviyesi, maddelerin elektriksel iletkenlikleri bakımından üç farklı grupta incelenmesini sağlamıştır.

Günümüzde malzemeler elektrik iletkenliği bakımından iletken, yarıiletken ve yalıtkan olarak üç farklı şekilde incelenmektedir. Bu çalışmanın da temelini oluşturan yarıiletken maddeleri anlayabilmemiz için yarıiletken ve diğer malzemelerin bant yapılarını incelemeliyiz. Çünkü bant yapıları her katıda kendi karakteristiğine sahiptir ve bir katının elektriksel özellikleri incelenirken bant yapısına bakıldığında onun neden iyi bir yalıtkan ya da iletken özellik gösterdiği anlaşılabilir. [3].

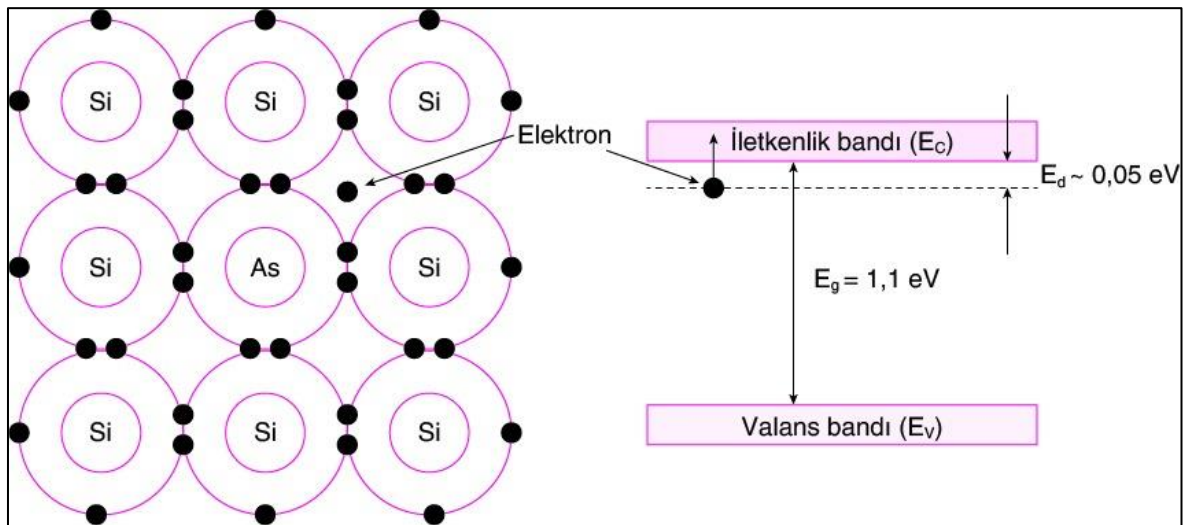
Şekilde iletken, yalıtkan ve yarıiletken katılarına ilişkin bant yapıları verilmiştir.



Şekil 1.1. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken katılar için bant yapısı modellemesi

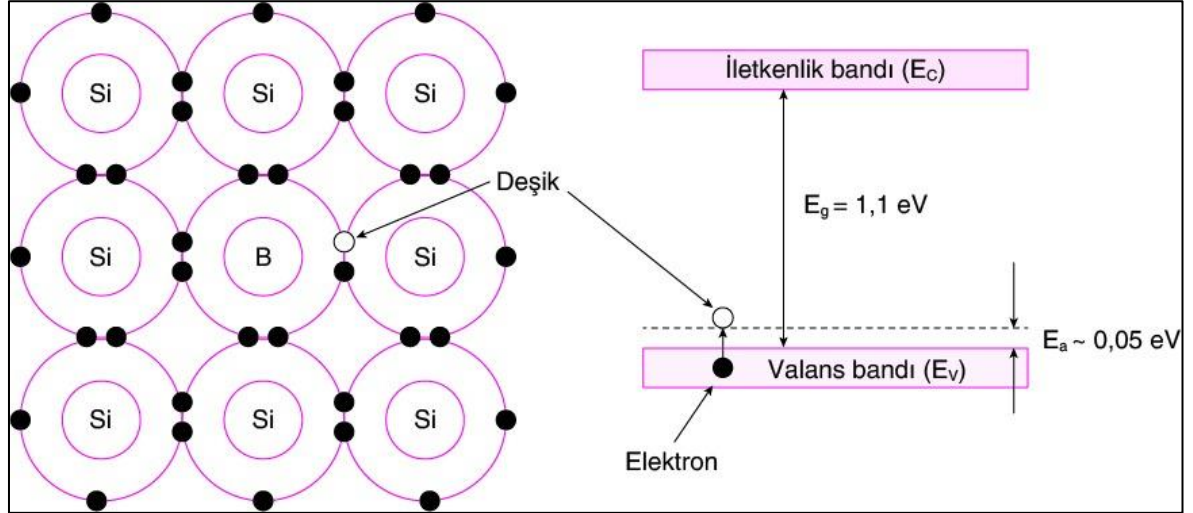
0 K' de malzemelerin tipik bant yapıları incelendiğinde yalıtkan bir malzemenin valans bandı (değerlik bandı da denir) dolu , iletim bandı ise boştur. Bantlar arasında geniş bir yasak enerji aralığı mevcuttur. Oysa iyi bir iletkende bu bantlar neredeyse çakışık durumdadır. Yarıiletkenler de ise bant aralıkları incelendiğinde yalıtkanların sahip olduğu bant aralığından çok daha küçük bir aralığa sahip olduğu gözlenir. Bu sayede değerlik bandındaki elektronlar bir uyarı vesilesiyle (termal veya optik olabilir) iletim bandına geçiş yapabilir ve iletme katkıda bulunur. [3]. Bir yarı iletken safsızlık veya kusur içermiyorsa özgül veya gerçek yarıiletken olarak adlandırılır. Özgül bir yarıiletkenin mutlak sıfırda valans bandı dolu, iletkenlik bandı boştur ve iletim gerçekleşmez. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda valans bandında bulunan elektronlar iletim bandına uyarılabilir ve böylece elektron ve deşik çiftleri oluşturulur. Yarıiletkenlerde yük taşıyıcılar elektron ve deşiklerdir.

Yarıiletkenlerin çok önemli bir avantajı vardır. Kontrollü bir şekilde katkılama yapılarak malzemenin iletkenlik özellikleri değiştirilebilir. Bu nedenle yarıiletkenlere safsızlık atomları katarak yük taşıyıcılar oluşturulabilir. Böyle bir işlem sonucu oluşturulan yarıiletkene de katkılı yarıiletken denir. Katkılama sonucu yasak bant aralığı içinde yeni enerji seviyeleri oluşur. Bunu bir örnekle değerlendirecek IV A grubundaki özgül yarıiletken olan Silisyuma bir VA grubu elementi olan Arsenik katkılандığında Silisyumun dört elektronu ve arseniğin dört elektronu sıkı bir kovalent bağ yaparken arseniğin beşinci elektronu iletkenlik bandı altında yeni bir enerji seviyesi oluşturur. Bu seviye verici (donör) enerji seviyesi olarak adlandırılır.



Şekil 1.2. Verici atomlarla katkılanan n-tipi yarıiletken ve bant yapısı modellemesi

Benzer biçimde IIIA grubu elementi olan 3 elektronlu Boron katkısı Silisyumda bir deşik meydana gelmesine sebep olur. Bu deşik ise valans bandının üstünde alıcı (akseptör) enerji seviyesi oluşturur.



Şekil 1.3. Alıcı atomlarla katkılanan p-tipi yarıiletken ve bant yapısı modellemesi

Verici atomlarla katkılanan yarıiletkenlere n-tipi yarıiletken, alıcı atomlarla katkılanan yarıiletkenlere ise p-tipi yarıiletken denilmektedir. Katkı oranı öz direnci azaltır. Aynı katkı konsantrasyonuna sahip n tipi ve p tipi silisyumlar incelendiğinde n tipinin daha düşük öz dirençli olduğu gözlenmiştir.

Walter Schottky ilk metal-yarıiletken aygıtların geliştiricisidir. Bu nedenle bu aygıtlar, Schottky bariyer diyotları (SBD) şeklinde anılır. [4].

Metal ve yarıiletken arasında bulunan arayüzey tabakası kalınlığına bağlı olarak MS yapılar, MIS/MOS veya MPS yapılara dönüşür. Bu yapıların elektriksel ve dielektriksel özelliklerinin incelenmesi bize aygıt performansı açısından önemli bilgiler verir.

Son yıllarda MIS/MOS/MPS yapılarında arayüzey malzemeleri değiştirilerek yapıların farklı karakteristiklerinin nasıl değiştiği araştırılmakta ve elde edilen sonuçların yarıiletken teknolojisine katkı getirmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada Au(MgO-PVP)/n tipi Si yapılar hazırlanarak üretilen MPS yapının elektriksel ve dielektrik özelliklerinin geniş voltaj ve frekans aralığında incelenmesi amaçlandı. Geleneksel olarak SiO₂/SnO₂ gibi düşük dielektrik sabitli MS/ Schottky

diyotlar yaygınken bizim katkılı polimer arayüzey katmanı kullanmamızdaki temel gerekçe bu yapıların özelliklerini iyileştirmek, esnekliğini artırmak, performansını artırmak, üretim maliyetini düşürmek gibi amaçlar için denemeler yapmaktır.

Tez kapsamında öncelikle MS yapıların elektrikselve dielektriksel özelliklerine yönelik geniş bir literatür taraması ile teorik detaylar incelendi. Au(MgO-PVP)/n tipi Si yapıların hazırlanma aşamaları ve üretim sonrası ölçüm aşamaları anlatıldı. Deneyisel incelemelerde MgO-PVP arayüzey tabakasının ve aygıtın frekans ve gerilime bağlı oda sıcaklığında ölçümleri gerçekleştirildi. Elde edilen veriler farklı tekniklerle değerlendirilerek elektrik/dielektrik özellikler incelendi. Bu çalışmanın teknolojiye ne gibi katkılar sunabileceği, geleneksel yöntemle hazırlanmış diyotlara göre avantaj-dezavantajları yorumlandı ve bu çalışmanın ardından yapılabilecek çalışmalara yönelik önerilerde bulunuldu.

2. METAL-YARIİLETKEN (M/S) KONTAKLAR

2.1. Metal Yarıiletken Kontakların Teorisi

Alman Fizikçi Walter Hans Schottky tarafından yapılan detaylı çalışmalar Metal ve yarıiletken kontak diyotların Schottky engel diyotları (SBDs) olarak anılmasına neden olmuştur. 1906 yılında Greenleaf Whittier Pickard, silisyum yarıiletkeni kullanarak bir nokta kontak dedektörü için patent almış, bu patentin bir yıl ardında ise George W. Pierce diyotların doğrultma oranlarını incelemek amacıyla farklı yarıiletkenlerle metalleri kontak etmiştir. 1932 yılında ise Alan Herries Wilson ve çalışma arkadaşları doğrultma özelliğine kuantum mekaniksel bir bakış açısı getirmiş ve elektron davranışını tünelleme ile açıklamaya çalışmışlardır. [5,7].

Doğrultma özelliği, diyot performansını belirleyen çok önemli bir parametredir ve diyotların ileri pozitif gerilimde çektiği akımın, aynı değerde negatif gerilimde çektiği akıma oranlanması ile bulunur. İdeal bir diyotta doğrultma oranının 10^9 'dan daha büyük olması gerekir.

Yarıiletken devre teknolojisinde metal yarıiletken kontaklar çok önemli bir yere sahiptir. Tüm yarıiletken kontaklar doğrultucu değildir. Lineer akım-gerilim karakteristiğine sahip olan kontaklar doğrultucu olmayan kontaklardır ve omik kontak olarak adlandırılır. Doğrultucu Schottky kontaklarda ise akım gerilim karakteristiği lineer değildir. Bir yarıiletken/metal kontağın omik ya da doğrultucu davranış sergilemesi metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır. İş fonksiyonunu tanımlayabilmek için önce Fermi Enerji Seviyesini tanımlamalıyız. 0 °K de valans bandının sahip olabileceği en yüksek enerji, Fermi seviyesi (E_F) 'dır. Buna göre, İş fonksiyonu (ϕ) ise metal ya da yarıiletkenin Fermi enerji seviyesinde bulunan elektronu serbest hale getirmek için gerekli olan en küçük enerji miktarıdır.

Metalin dış yüzeyindeki kinetik enerjisi sıfır olan bir elektronun enerji seviyesine ise vakum seviyesi denir. Bu durumda minimum enerji ile fermi seviyesinden bir elektron koparıp vakum seviyesine geçirdiğimizde elektrona iş fonksiyonu kadar enerji vermiş oluruz.

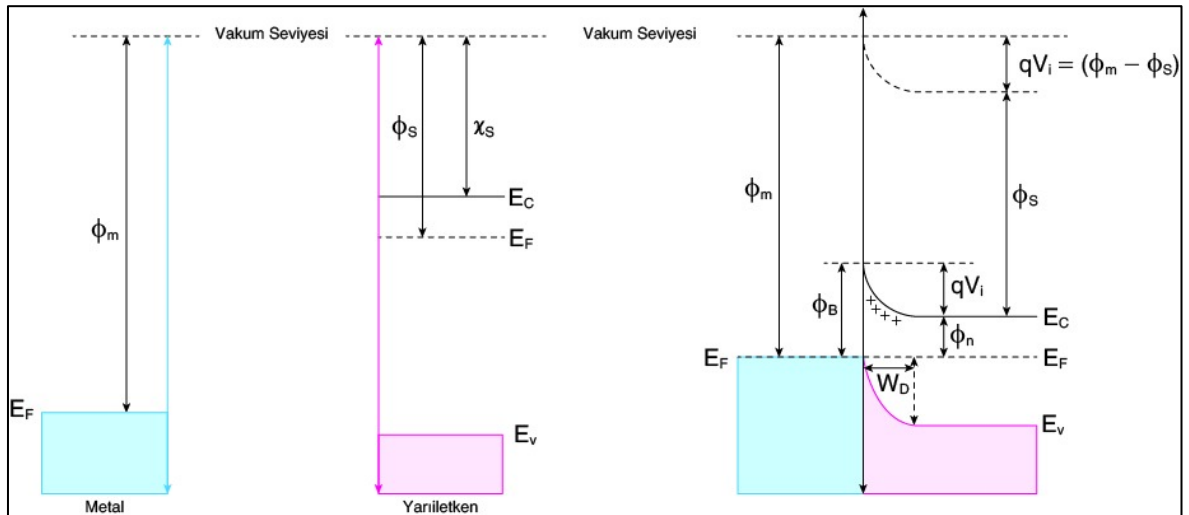
Metal/n tipi yarıiletken kontakta metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyükse kontak doğrultucu, tersi durumda ise omiktir.

Metal/p tipi yarıiletken kontakta yarıiletkenin iş fonksiyonu, metalin iş fonksiyonundan büyükse doğrultucu, tersi durumda omiktir.

Çizelge 2.1. M/S Kontaklarda İş Fonksiyonuna Göre Kontak Türleri

Metal/n tipi yarıiletken kontak	$\phi_m > \phi_s$	Doğrultucu kontak
	$\phi_s > \phi_m$	Omik kontak
Metal/p tipi yarıiletken kontak	$\phi_m > \phi_s$	Omik kontak
	$\phi_s > \phi_m$	Doğrultucu kontak

Wilson ve arkadaşlarının 1932 yılında yaptığı çalışmanın ardından 1938’de Schottky ve Mott ayrı ayrı doğrultma olayının gerçekleşmesini ve engel oluşum sürecini açıklamışlardır. Bu açıklama metal ve yarıiletken kontaklar arasında oluşan engelin iş fonksiyonu ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Buna göre kontak edilen metal ve yarıiletken malzemelerin arasında yük geçişi olmaktadır. Yük geçişi termal dengeye kadar devam eder. Termal denge durumunda ise metal ve yarıiletkende elektron ve deşik miktarı eşittir. Fermi enerjileri ise aynı seviyeye gelmiştir.



Şekil 2.1. Metal ile yarıiletkenin kontak edilmeden önce (a) ve kontak edildikten sonra (b) enerji bant diyagramı

Schottky ve Mott'un teorisine göre, bu çalışma kapsamında da kullanılan n tipi yarıiletken için engel oluşma süreci Şekil 3.1.'de çizilmiştir. Şekil 3.1.a 'da bir metal ve bir yarıiletkenin kontak edilmeden önceki enerji band diyagramlarını görüyoruz. Dikkatli bir şekilde incelediğimizde Metalin iş fonksiyonu (ϕ_m) 'nun yarıiletkenin iş fonksiyonu (ϕ_s) 'ndan büyük olduğunu yani n tipi bir yarıiletkenle kontak oluşturulacağını fark etmekteyiz. Ayrıca yine metalin Fermi Seviyesinin (E_F) yarıiletkenin Fermi seviyesinden daha aşağıda olduğunu görüyoruz. Fermi seviyesi katkılamaaya bağlı olarak değişir. Bu nedenle iş fonksiyonları da katkılamaaya bağlı değişecektir. Görselde χ_s ile gösterilen nicelik elektron ilgisidir. Elektron ilgisi; iletim bandı ile vakum seviyesi arasında bir elektronun enerji farkıdır. Bu değer katkılamaaya bağlı değildir.

Şekil 3.1.b de ise metal ve yarıiletken kontak edildikten sonra yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronların metale doğru geçtiğini görüyoruz. Bu geçişe difüzyon denir, sebebi yarıiletkende bulunan elektronların enerjilerinin metaldeki elektronların enerjisinden fazla olmasıdır ve Fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar akış devam eder. Geçiş tamamlandığında yani termal denge durumunda yarıiletkenin bant yapısında kayda değer değişimler gözlenecektir. Bu değişimleri şu şekilde açıklayabiliriz:

Yarıiletkenin Fermi seviyesi verici katkı atomları azaldıkça ve iletim bandı izinli enerji durumları konsantrasyonu değiştikçe yasak enerji aralığının ortalarına doğru kayar. (Yasak Enerji aralığı değişmez.)

Termal dengeye ulaşıldığında Fermi Seviyesi sabitlenir.

Bu davranış sonucu Fermi seviyesi ile iletkenlik bandı arasında enerji farkı arttığı için yarıiletkenin valans bandı da iletkenlik bandı da yukarı doğru bükülür. (Engel Oluşumu)

Metale geçiş yapan iletim bandı elektronlarının yerinde deşikler kalır.

Yarıiletkenin metal ile birleştiği sınırında serbest elektron kalmamasından dolayı bu bölge elektriksel direnci yüksek pozitif uzay yük bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgenin kalınlığı katkı konsantrasyonunun artmasıyla azalacaktır. Yalıtkan olmasından dolayı bölge tüketim tabakası (Schottky Tabakası) olarak da adlandırılır.

Metal tarafında ise artan serbest elektronlardan dolayı negatif uzay yük bölgesi meydana gelir.

Bu yük bölgeleri pozitiften negatife doğru bir elektrik alan oluşmasına neden olur.

Metaldeki elektron konsantrasyonunun yarıiletkendekideşik konsantrasyonundan daha az olması yarıiletkende gözlenebilir bir uzay-yük tabakası oluşmasına neden olur. [8]. Burada önemli bir parametre de kontak sonrası yarıiletkenin bantlarında görülen bükülme miktarının yani engelin büyüklüğüdür. Bu büyüklük (qV_i), metal malzemenin iş fonksiyonu ile yarıiletken malzemenin iş fonksiyonu arasındaki fark kadardır.

$$qV_i = \phi_M - \phi_S \quad (2.1)$$

Burada qV_i değeri kontak potansiyeli olarak da adlandırılabilir. Yarıiletkenden metale geçen elektronların karşılarna çıkan engel yüksekliği qV_i değeridir. O halde geçiş yapmak isteyen elektronların termal denge halinde minimum qV_i kadar enerji kazanmış olmaları beklenir.

Metalden geçiş yapmak yapmak isteyen yük taşıyıcıları ise daha büyük bir engelle karşılaşacaktır. Bu ifade Schottky tarafından açıklandığı için Buna Schottky engel yüksekliği de denir ve aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilir.

$$\phi_B = (\phi_M - \chi_s) \quad (2.2)$$

$$\phi_S = (\phi_N + \chi_s) \quad (2.3)$$

Bu eşitlikleri taraf tarafa topladığımızda $\phi_B + \phi_S = \phi_M - \phi_N$ olur.

$$\phi_B = \phi_N + \phi_M - \phi_S \quad ; \quad \phi_M - \phi_S = qV_i \quad \text{olduğundan}$$

$$\phi_B = qV_i + \phi_N \quad (2.4)$$

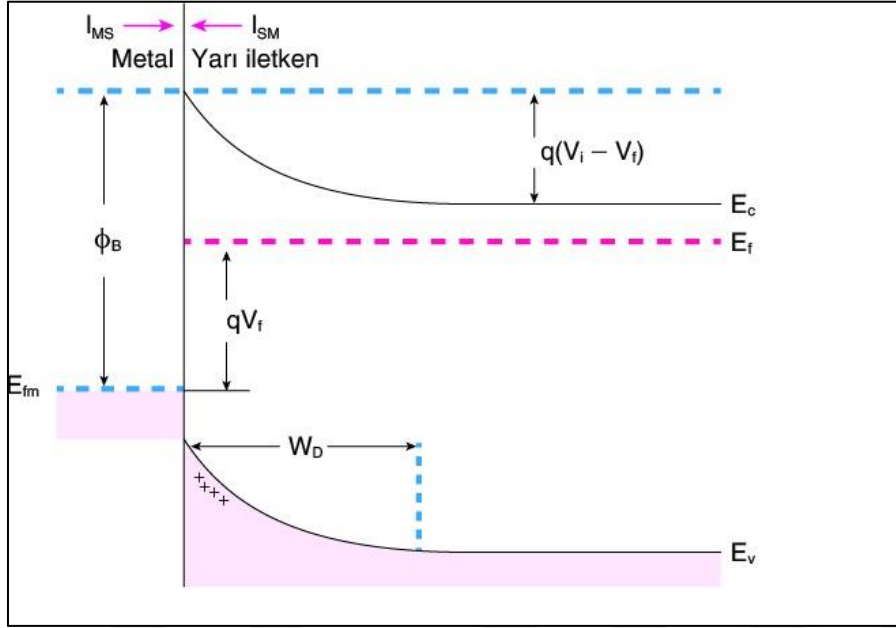
Bulunur.

Bu eşitlikler ϕ_N olarak tanımlanan nicelik $E_C - E_F$ ye eşittir ve Fermi seviyesinin yasak enerji aralığına göre bulunduğu yeri belirtir. Metal yarıiletkenle kontak yapıldığında iş fonksiyonlarının değişmediği düşünülmüştür. ϕ_B değerinin bütün çalışma sıcaklıklarında kT/q değerinden çok daha büyük olduğuna dikkat edilmelidir.

Schottky ve Mott'un ayrı ayrı ortaya koyduğu teoride; Schotkky, yarıiletkenin metalin arayüzeyine doğru homojen katkılandığını kabul ederek yarıiletkende meydana gelişini detaylı anlattığımız uzay tabakasının başladığı yerden itibaren elektrik alanın lineer artarak parabolik bir engel oluştuğunu söylemiştir. Mott ise hareketli yüklerin olmadığı arayüzeyde elektrik alanın sabit olduğunu bu yüzden lineer bir engel oluştuğunu ileri sürmüştür. Bu nedenle parabolik engel "Schottky engeli", lineer engel ise "Mott engeli" olarak bilinmektedir. Mott engelinin, yüksek katkılı yarıiletken ve metal arasına çok düşük katkılı bir tabakanın konulması sonucu ortaya çıktığı görülür.

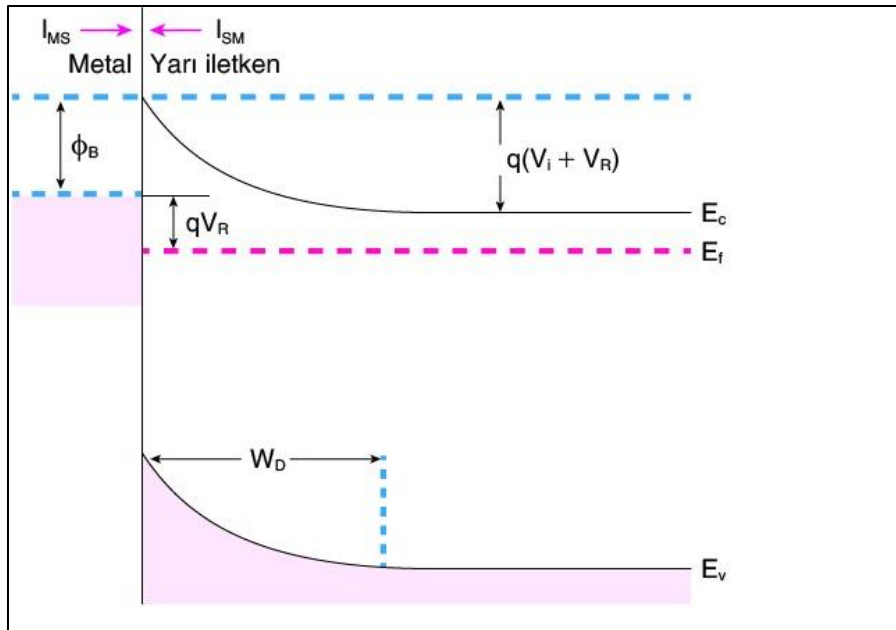
Termal dengede, metalden yarıiletkene doğru geçiş yapan elektronlar ve yarıiletkenden metale geçiş yapan yük taşıyıcıların sayısının eşit olması engel boyunca net akımı sıfır yapar. Eklemden akım geçirmek amaçlandığında bir öngerilime ihtiyaç vardır. Öngerilimin ters ya da doğru olması sonuçları değiştirecektir. Şimdi her iki durumu da ayrıntılı olarak inceleyelim.

Kontağın Doğru Beslenmesi: Bir üretcin pozitif kutbu metalin üst doğrultucu kontağına, negatif kutbu ise yarıiletkene bağlanarak bir dış voltaj uygulanırsa metal/yarıiletken kontak doğru öngerilimlenmiş olacaktır. Böyle bir durumda tükenim tabakası daralır. Yarıiletkenden metale geçiş yapmak isteyen yük taşıyıcıların karşılaştıkları engel düşerek yük geçişleri kolay bir hale gelir. Böylece elektronlar metale geçiş yaparak, metalden yarıiletkene doğru uygulanan voltajla üstel olacak şekilde artan bir akım oluştururlar. Ters durumda yani metalden yarıiletkene geçişlerde ise kayda değer bir değişiklik görülmez. Çünkü metalde herhangi bir voltaj düşmesi oluşmaz, engel yüksekliği de değişmez. Ayrıca doğru beslemde iç ve dış elektrik alan ters yönlüdür. Bu da vektörel olarak elektrik alanı azaltır.



Şekil 2.2. Doğrultucu Metal/n tipi yarıiletken eklemi doğru beslem enerji bant diyagramı

Kontakın Ters Beslenmesi: Bir üreticinin pozitif kutbu yarıiletken, negatif kutbu ise metale bağlanarak bir dış voltaj uygulanırsa metal/yarıiletken kontak ters öngerilimlenmiş olacaktır. Böyle bir durumda tükenim tabakası genişler. Yarıiletken metale geçiş yapmak isteyen yük taşıyıcıların karşılaştıkları engel yükselir, yük geçişleri zorlaşır. Böylece akım azalır. İdeal bir diyotta bu akımın sıfıra yaklaştığı kabul edilir. Ayrıca dış ve iç elektrik alan aynı yönlüdür. Elektrik alanın vektörel toplamı artar.



Şekil 2.3. Doğrultucu Metal/n tipi yarıiletken eklemi ters beslem enerji bant diyagramı

Buraya kadar Schottky diyotlarda engel yüksekliği ile ilgili açıklamalar yaptık ve ideal durumlardan söz ettik. Yapılan çalışmalar çeşitli nedenlerin engel yüksekliğinin idealden saparak teori ile farklı değerler verebildiği göstermiştir. Kısaca bu durumların neler olduğunu inceleyelim:

Hayali Kuvvet Etkisi: Bu etkiye Schottky etkisi de denir. Dielektrikte bulunan bir elektron metal üzerinde bir elektrik alan oluşturur. Böyle bir yükün oluşturduğu elektrik alan, metalin yüzeyinden iç kısma doğru aynı mesafede yerleşmiş pozitif yüklü bir imaj yükü ile aynı olacaktır. Elektronun imaj yükü ile etkileşimi sonucu üzerine etki eden Coulomb kuvveti değişecektir. Kuvvet etkisi toplam potansiyel ifadesini de değiştirir. Potansiyel enerjideki değişim potansiyel engel yüksekliğini azaltır. Dolayısıyla Schottky etkisi engel yüksekliğini azaltarak idealden saptıran, engel yüksekliğini düşüren bir etkidir.

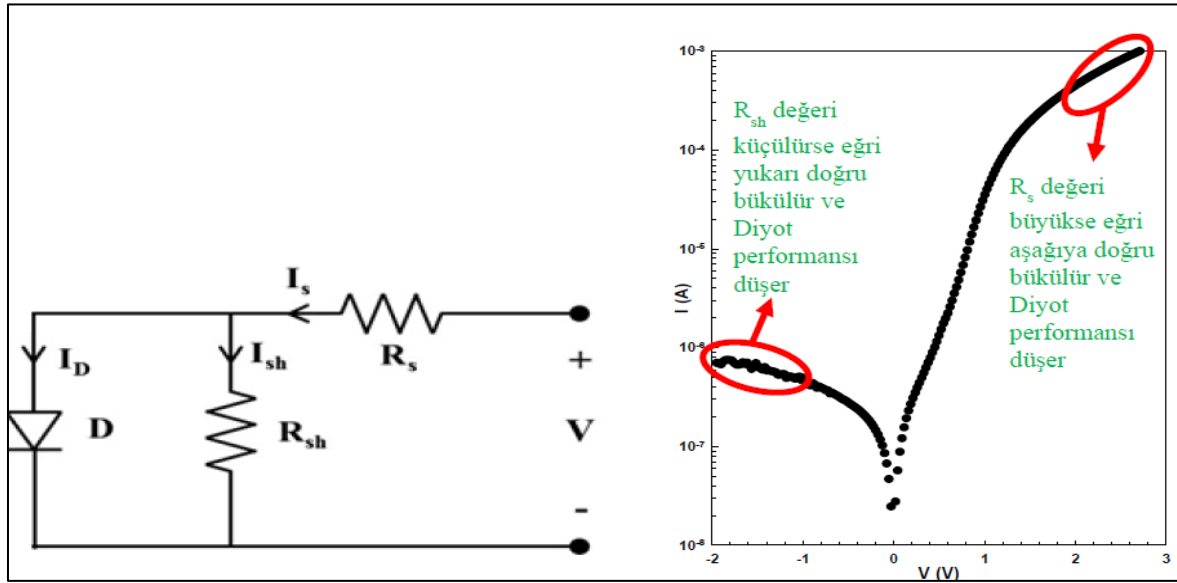
Tünelleme Etkisi:Yük taşıyıcıların engel üzerinden değil kuantum mekaniksel tünelleme ile engel içinden geçmesine denir. Bu etki aşırı katkılı yarıiletkenlerle kontak edilmiş Schottky diyotlarda düşük sıcaklıklarda görülen bir etkidir ve diyot karakteristiğini idealden saptıran etkiler içinde yer alır. Bu kısma termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu konusunda bir kez daha değinilecektir.

Kenar Etkileri: Schottky kontaklar yarıiletken üzerinde küçük metal noktalarla yapılmaktadır. Burada metalin kenarındaki elektrik alan büyüklüğünün, deneysel çalışmalarda merkezdeki elektrik alan büyüklüğünden daha küçük olduğu görülmüştür. Böyle bir durum elektriksel karakteristiklerin idealden sapmasına sebep olur. İstenmeyen bu durumun önüne geçmek için n tipi bir yarıiletkenin metal kenarlarına p tipi bölgeler oluşturulur.

Direnç Etkisi: Schottky diyotlarda seri ve şönt direnç olarak iki farklı dirençten bahsedebiliriz. Doğru beslem altında seri direnç etkisi ters beslem altında ise şönt direncin etkisi görülür. Seri Direnç (R_s); ister metal-yarıiletken ister metal-yalıtkan-yarıiletken kontaklarla oluşturulmuş olsun diyotların performansını etkileyen önemli bir parametredir. İstenen durum düşük seri dirençtir. Devreye gerilim uygulandığında seri direnç gerilimi ne kadar az olursa diyot gerilimi o kadar fazla olur. Bu da diyotun gücünü artıracaktır. İdeal durumda seri direncin sıfıra yaklaşması gerekir. Seri dirence neden olan faktörleri de temel

olarak şu şekilde sıralayabiliriz: Kontak alırken kullanılan teller, ohmik kontak, organik kirler, yarıiletkenin direnci, katkılama sorunları ve arayüzey durumlarıdır.

İdeal diyotlarda şönt direncinin teorik olarak sonsuz olacağı düşünülür. Deneysel durumlarda ise $10^9 \Omega$ 'dan ve seri direnç değerinden büyük olması istenir. Şönt direncin düşük olması sızıntı akımda artışa sebep olacaktır. Bu durum diyot performansı açısından istenmeyen bir durumdur. Eklem sınırındaki kusurlar ya da M/S arası oksit tabaka Şönt dirence sebep olur. Aynı zamanda ölçüm sistemi de şönt dirence sebep olur. Aynı zamanda ölçüm sistemi de şönt direnç oluşmasında etkili olabilir.



Şekil 2.4. (a) MS/MIS tipi Schottky diyotun eşdeğer devresi (b) R_{sh} ve R_s 'nin Schottky diyotun I-V karakteristiğine etkisi

Bir Schottky diyot için çizilmiş eşdeğer devre ile birlikte bu diyotun akım-gerilim karakteristiklerindeki direnç etkisini Şekil 2.4. 'de görüyoruz. Şönt direnci diyota paralel olduğu için direncinin yüksek olması üzerinden geçen akımı azaltır. Böylece diyot üzerinden geçen akım artar. Diyotun güç değerinin artması performansını olumlu yönde etkileyecektir.

Arayüzey Durumları: Bir Schottky diyotta kontaklar büyütülmeden önce kullanılacak metal ve yarıiletken malzemenin kimyasal olarak temizlenmesi çok önemlidir. Bu kimyasal temizlik işleminde kullanılacak kimyasallar ve uygulama yöntemi; organik kir, inorganik kir, partikül ya da oksit tabakası gibi temizlik çeşidine de bağlı olarak özenle yapılması gereken işlemlerdir. Ancak alınan tüm önlemlere rağmen hazırlanma esnasında

ortamda görünmese bile mikron boyutunda toz parçacıkları ya da organik kirler, safsızlıklar malzemede istenmeyen pek çok durumlar yarıiletkenin yasak enerji bandında farklı enerji seviyeleri oluşmasına da neden olurlar ve aygıtın performansını etkilerler. Bu durumlar arayüzey durumları/tuzakları olarak adlandırılır.

Arayüzey durumlarının hesaplanmasında en doğru sonuç Nicollian ve Goetzberg tarafından geliştirilen “Kondüktans Metodu” ile bulunur. [29-30]. Kondüktans metodunun güvenilir sonuç vermesi dışında da avantajları vardır. $10^9 \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ mertebesinin altındaki arayüzey durumlarının ölçülmesinde de kullanılabilirliği, yüzey potansiyeli değişmesi ölçülebilmesi bu avantajlara örnektir. Kondüktans metodu ile işlem yaparken ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m) verileri kullanılır. [9]. C-V, G/w-V ölçümlerinde empedans ölçümü yapan aygıtın paralel CM ve GM birleşiminden oluştuğu varsayılarak Eş.2.5. yazılabilir.

$$\frac{G_p}{w} = \frac{w G_m C_{ox}^2}{G_m^2 + w^2 (C_{ox} - C_m)^2} \quad (2.5)$$

Eş. 2.5’ te C_{ox} oksit tabakasının kapasitansıdır.

Farklı gerilimlerde $G_p/w-w$ grafiği çizildiğinde tüketim bölgesinde bir pik davranışı gözlenir. Bu davranış Silisyum yasak enerji aralığındaki arayüzey durumlarının dağılımına atfedilir. [29-30].

Hareketli İyonlar: Genellikle H^+ , Na^+ , K^+ , Li^+ gibi iyonların metal ile yalıtkan ya da yarıiletken ile yalıtkan arayüzeyinde bulunması durumudur. Oksit içinde hareket edebilen bu iyonlar elektrik alan altında yapının kararlılığını olumsuz etkilerler. Hareketli iyon bulunmasının sebepleri arasında, içinde bu iyonlar olan kimyasalların kullanılması, oksitleme gazlarında bu iyonların bulunması ya da organik/inorganik kirler sayılabilir.

2.2. MPS Schottky Engel Diyotların Yapısı

Metal ve yarıiletken arasında bir oksit tabaka ya da yalıtkan varsa MS yapı MIS/MOS yapıya dönüşür. Oksit tabaka doğal yollarla oluşabilir. Bunun nedeni yarıiletkenin yüksek sıcaklıklarda ortamda bulunan oksijen ile tepkimeye girmesidir. Yarıiletken yüzeyin

hazırlanması ya da hazırlanma yöntemine bağlı olarak değişebilen bu doğal oksit tabakasının kalınlığı 20- 30 Å kadardır.

Metal ve yarıiletken arasında yapay olarak da yalıtkan bir tabaka oluşturulabilir. Metal ve yarıiletken arasında organik bir polimer tabakanın olması yapıyı MPS yapıya dönüştürür. Arayüzeyde kullanılan polimer tabakanın yapıya sağladığı bazı avantajlar vardır. Bu yalıtkan tabaka metal ve yarıiletkeni birbirinden izole eder ve böylece kısa devreyi önler. Metal ve yarıiletken arası yük geçişlerini düzenler. Yalıtkan tercihinde polimer kullanılması arayüzey tabakanın akım-iletim mekanizmalarının daha iyi kontrolünü sağlar. Sızıntı akımı azaltır ve yüksek doğrultma sağlar. Bu nedenle seçilen arayüzey tabaka dolayısıyla bu tabakanın dielektrik sabiti önem arz etmektedir. Arayüzey tabakanın seçiminin yanısıra kalınlığı, homojen olup olmaması da cihaz performans ve güvenliğini etkileyen durumlardandır. MIS/MPS yapılarda arayüzey tabakasının 30 Å'dan küçük olduğu durumlarda izinli enerji seviyelerindeki yüklerin ya da tuzakların metal ile yük alışverişi yaptığı görülür. Bu metal ile dengede arayüzey durumudur. 30 Å'dan kalın tabakalarda ise izinli enerji seviyelerindeki yükler ya da tuzaklar yarıiletkenle yük alışverişi yapar. Bu da yarıiletkenle dengede arayüzey durumudur.

MPS yapılarda arayüzey tabaka olması ve diyotun seri dirence sahip olması akım iletim mekanizmalarının MS yapılardan farklı olmasına yol açar. Bunun nedeni geçit voltajının diyot, arayüzey tabaka ve seri direnççe paylaşılmasıdır. [5,7].

$$V_G = V_D + V_{RS} + V_i \quad (2.6)$$

Şekilde çalışmada kullanılan MPS yapının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. MPS Yapının Şematik Gösterimi

2.3. MPS Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

Bir MS/MIS/MPS kontağa gerilim uygulandığında farklı akım iletim mekanizmaları görülebilir. Biz burada literatürde en sık rastlanan 4 temel mekanizmaya yer verirken gerekli olması halinde başvurulabilecek farklı mekanizmaların da olduğunu belirtmeliyiz.

Temel mekanizmalar; Termoyonik Emisyon Teorisi, Alan Emisyonu, Termoyonik Alan Emisyonu, eklem bölgesinde rekombinasyon, nötr bölgede azınlık taşıyıcıları enjeksiyonu olarak incelenebilir.

Yapıda hangi mekanizmanın etkin ya da hangi mekanizmanın baskın olacağını belirleyen birçok parametre vardır. Sıcaklık, katkı atomu yoğunluğu, seri direnç ve kısa devre direnci, arayüzey durumları, metal ve yarıiletkenin arayüzeyindeki yalıtkan/polimer tabakanın kalınlığı ya da homojen olması bu parametrelerin başında gelir.

2.3.1. Termoyonik emisyon teorisi (TE)

Bir MS/MIS/MPS kontakta yük taşıyıcıların potansiyel engeli (Φ_B) kadar ya da daha fazla enerjilerinin bulunması halinde potansiyel engelini aşıp metalden yarıiletken ya da yarıiletkenden metale geçmesi durumuna denir. Genellikle bir Schottky Diyotun akım iletimi çoğunluk taşıyıcıları vasıtasıyla gerçekleşir. n tipi bir yarıiletken için elektronlar çoğunluk taşıyıcısı, deşikler (hole-boşluk) azınlık taşıyıcısıdır. p tipinde ise bu durum tersidir. Burada bir iletken de elektron hareketi ile akım oluşurken yarıiletken de yalnız elektronlar değil deşiklerin de akım oluşumuna katkısı olduğuna dikkat edilmelidir. Termoyonik emisyon teorisine göre, doğrultucu kontakın potansiyel engeli yüksekliği, kT/q enerjisinden çok daha büyüktür. Böylece termal denge durumu bozulmaz. Ayrıca Schottky Bölgesi diye de adlandırılan tüketim bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları küçük olması ile açıklayabiliriz. TE teorisine göre akımın engel biçimine bağımlılığı önemli değildir.

Mobilitesi yüksek temel yarıiletkenler (Si, Ge, GaAs...) üzerine oluşturulmuş MS kontaklarda yük taşıyıcılar genellikle engel üzerinden TE yolu ile geçerler. Burada uygulanan doğru öngerilim-akım arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{B0}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_S)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Bağıntıdaki bazı parametreleri incelersek;

I_0 ; sıfır beslemde doyum akımı

n : idealite faktörü

h : Planck sabiti

k : Boltzmann sabiti

A : doğrultucu kontak alanı

A^* : Richardson sabitidir.

A^* değeri numuneye göre değişkenlik gösteren bir niceliktir. Si için 300 K de p tipi yarıiletkenlerde 32, n tipi yarıiletkenler 112 $\text{Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ alınır. [4-6].

Termoionik emisyon teorisine göre orta büyüklükte voltaj değerleri ($\sim 0,5-0,7$ V) arasında diyotun $\ln I$ -V grafiğinde lineer davranış beklenir. Ancak ileri pozitif voltajlarda sapmalar görülür. Sapmaların nedeni seri direnç (R_s) dir. Grafikte $\ln I$ eksenine fit edilmiş doğrunun sıfır voltaj kesim noktası I_0 değerini, eğimi ise idealite faktörünü (n) verir.

İdealite faktörünü ,

$$n = \frac{q}{kT} \frac{d(V-IR_S)}{d(\ln(I))} \quad (2.8)$$

eşitliğinden de elde edebiliriz.

Belirli bir sıcaklık değerindeki ϕ_{B0} değerini de hesapladığımız parametreler yardımıyla Eş. 2.9 ile bulunur.

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{B0}}{kT}\right) \quad (2.9)$$

Burada A^* teorik eğer olarak alınabilir ya da deneysel olarak hesaplanabilir. Deneysel hesaplama yapabilmek için bulduğumuz I_0 değerini kullanarak $\ln(I_0/T^2)-q/kT$ grafiği çizilmeli ve y eksenini kestiği noktadan $\ln AA^*$ bulunmalıdır. Genellikle deneysel A^* değeri teorik değerden oldukça küçük çıkar. Bu doğrunun eğimi de aktivasyon enerjisini (E_a) verecektir. Artan sıcaklıkla ϕ_{B0} değeri artar ve n değeri azalır. Sıcaklık arttıkça ϕ_{B0}

değerinin artması yasak enerji aralığının negatif sıcaklık katsayısına aykırı olduğu için beklenen bir durum değildir. Böyle durumlarda Gaussian dağılımı kullanılarak modifiye Richardson eğrisi elde edilerek daha doğru bir A^* ve buna bağlı olarak ϕ_{B0} elde edilmektedir. [10,20].

2.3.2. Alan emisyonu, termiyonik alan emisyonu (tünelleme)

MS Schottky kontaklarda önemli bir akım iletim mekanizması da tünellemedir.

Engel genişliği kalın olmadığında elektronlar Schottky engeli içinden tünelleme yapabilir. [7]. Padovani'ye göre bu tünelleme; yarıiletkenin Fermi seviyesinden metale doğru tünellemesiyle (alan emisyonu/FE) ya da yüksek enerjilere uyarılabilecek elektronların termal enerjisiyle (termiyonik alan emisyonu /TFE) akıma katkı sağlar.

Yüksek katkılı n tipi yarıiletken diyotlarda fermi seviyesi iletkenlik bandı ile çakışır ve engel genişliği azalır. Böylece elektron doğrudan engel içinden tünellenebilir. Grafiklerle $\ln I-V$ eğrileri incelendiğinde farklı sıcaklık değerleri için eğimleri sabit (paralel eğriler) görülmesi alan emisyonu mekanizmasının etkin olduğunu gösterir. Eğimler sabit olduğu için nT değerleri de yaklaşık olarak sabittir yani sıcaklığa bağlı değildir. FE ve TFE mekanizmalarının etkin olduğu durumlarda akım, Eş. 2.10 ile bulunur.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-qV}{E_0}\right) \quad (2.10)$$

İdealite faktörü ise Eş. 2.11 ile verilir.

$$n_{tün} = \frac{E_{00}}{kT} \coth\left(\frac{E_{00}}{kT}\right) = \frac{E_0}{kT} \quad (2.11)$$

$$E_0 = E_{00} \coth\left(\frac{qE_{00}}{kT}\right) \quad (2.12)$$

$$E_{00} = \frac{h}{4\pi} \left(\frac{N_D}{m^* e_s}\right)^{1/2} \quad (2.13)$$

Burada E_{00} tünelleme olasılığı parametresidir. m^* elektron etkin kütlesi, ϵ_s yarıiletken dielektrik sabiti, h Planck sabiti N_D : verici konsantrasyonudur. Termal enerji ve E_{00} oranı akım iletim mekanizmaları hakkında önemli ipuçları verir:

$E_{00} \ll kT/q$ ise TE

$E_{00} \gg kT/q$ ise FE

$E_{00} \sim kT/q$ ise TFE mekanizmalarının olması beklenir.

2.3.3. Eklem bölgesinde rekombinasyon

Orta sıcaklık bölgesinde (175-235 K) özellikle önemli olan bu etki TE akım iletim mekanizmasına paralel bir artış veren önemli bir mekanizmadır. [7]. Genellikle lokal durumlar sonucu ortaya çıkar ve band aralığının ortasına yakın enerjiye sahiptir. Bir Schottky Bariyer Diyotta rekombinasyon olduğunda pn eklemindeki akım iletim mekanizmasına benzer bir akım iletim mekanizması görülür. Doğru beslemde rekombinasyon akımı sıcaklıkla ters orantılıdır.

Çizilen grafikte, yüksek ve düşük sıcaklıklarda iki ayrı eğim görülür. Düşük sıcaklıklardaki aktivasyon enerjisi $E_g - V/2$ değerine, yüksek sıcaklıklardaki aktivasyon enerjisi ise $\Phi_B - V$ değerine yaklaşmaktadır. Tüm bu durumlar rekombinasyon akımının Schottky diyotların idealden sapmasına neden olduğunu gösterir. Bu sapma düşük sıcaklıklarda daha belirgindir.

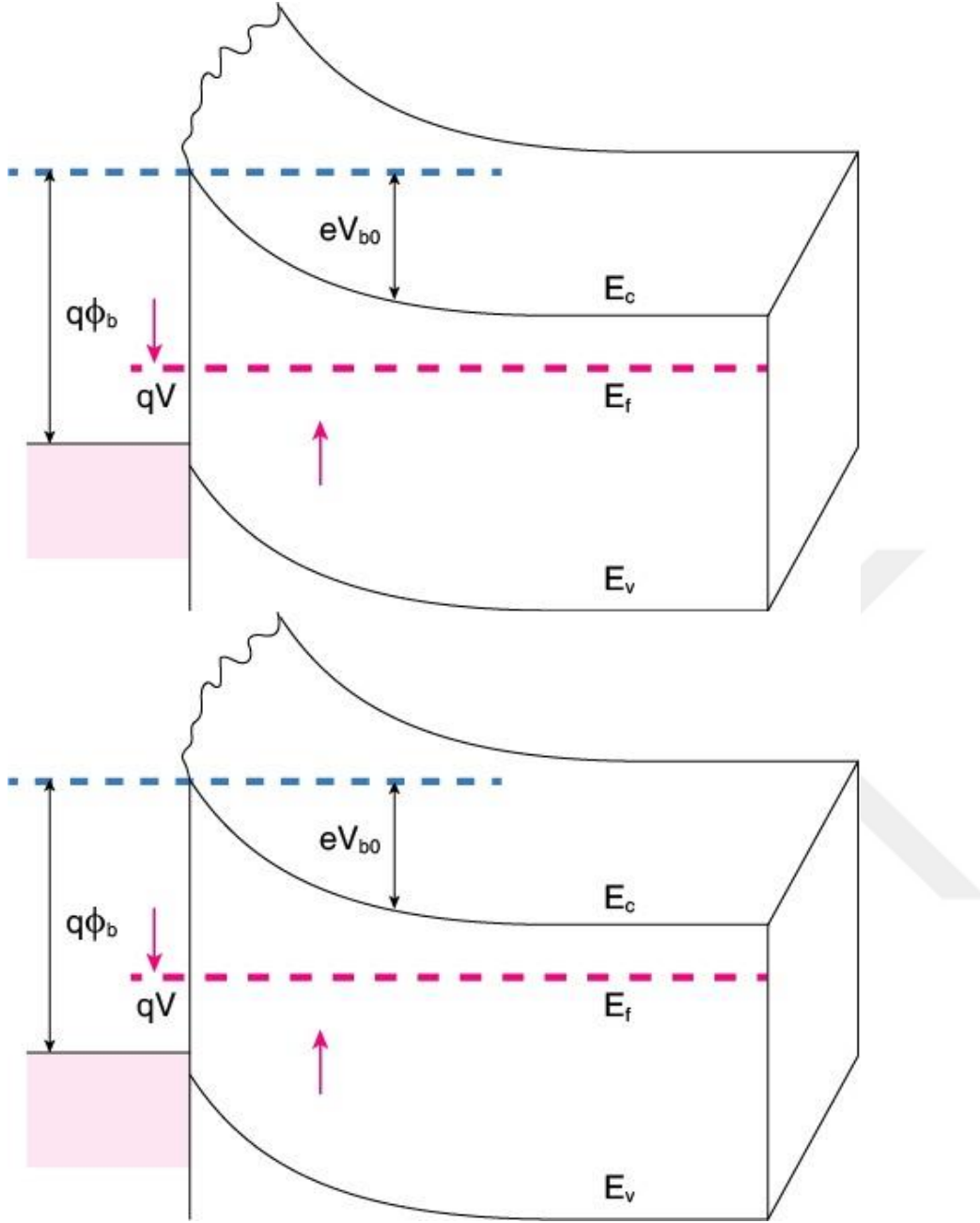
2.4. Homojen Olmayan Engel Yüksekliği ve Gaussian Modeli

MIS ve MS Schottky kontaklarda metal ve yarıiletken arayüzeyinde oluşan potansiyel engel yüksekliği (Φ_B), ters beslem kapasite voltaj (C-V) ölçüm verilerinden elde edilen $1/C^2 - V$ grafiğinin lineer kısmından ve doğru beslem akım voltaj (I-V) verilerinden çizilen $\ln I - V$ grafiğinin lineer kısmından ayrı ayrı elde edildiğinde aralarında yaklaşık olarak Fermi Enerji seviyesi kadar bir fark çıkar. Aslında bu fark doğaldır. Çünkü yarıiletkenden metale geçen yük taşıyıcıları qV_i kadar bir engelle karşılaşırken, metalden yarıiletkene geçen yük taşıyıcıların karşılaştığı engel $qV_i + E_F$ kadardır. Bu engel yüksekliği farkı ve düşük sıcaklıklarda idealite faktörünün 1'den büyük olması durumunu açıklamak için Gaussian Dağılımından yararlanılmaktadır. [21,23]. Bu modele göre metal ve yarıiletken

arasında homojen tek bir engel değil, ortalama engel yüksekliği civarında homojen olmayan irili ufaklı engeller vardır. Arayüzeydeki atomlarda görülen bu düzensizlik pürüzlere dolayısıyla da engel yüksekliği ve difüzyon potansiyelinin farklı uzaysal değişimler göstermesine neden olur. Pürüzlülüğün nedenleri arasında, metal atom yapısında bulunan dislokasyonlar, tane sınırlar, metal kalınlığının değişimi, FE nedeniyle lokal engel yüksekliği azalması sayılabilir. Tüm bu nedenler potansiyelde değişimlerin sebebi olabilmekte ve engel yüksekliğinin Gaussian dağılıma sahip olmasını düşündürmektedir. [21-24].

Düşük sıcaklıklarda idealite faktörünün oldukça yüksek çıktığı durumlar da pek çok Schottky diyotta gözlenmiştir. İdealite faktöründeki bu artışın yanısıra $\ln(I_0/T^2) - q/kT$ grafiğinin lineerlikten sapma göstermesi idealden ve termiyonik emisyonun uzaklaşmanın göstergesi olduğu gibi Gaussian Dağılım Teorisinin geçerliliğini de vurgulamaktadır. Düşük sıcaklıklardaki idealden sapmaları daha önce ayrıntılı olarak açıkladığımız tüketim bölgesi rekombinasyon akımı, tünelleme etkisi ya da imaj kuvvet etkisi ile açıklayamayız. [25].

Buna karşın konu ile ilgili pek çok model önerilmiştir: Yalıtkan arayüzey tabaka, arayüzey durumları, kısa devre direnci, seri direnç etkisi, katkı atomları düzensizliği gibi sayılabilecek teoriler içinde düşük sıcaklıklar için en başarılı model “engel homojensizliği modeli” olarak değerlendirilmektedir. [26]. Bu model Werner ve Gütter [27] tarafından geliştirildi. Engel homojensizliği modeli baz alınarak modifiye edilen bu modele göre, Schottky engeli düzgün değildir. Φ_B engel yüksekliği olasılık yoğunluğu; sıcaklık ve gerilimden bağımsız σ standart sapmaya sahip ortalama bir engel yüksekliği (Φ_B) ile etrafında Gaussian dağılımı ile açıkladığımız irili ufaklı engellere sahiptir. Şekilde bu model iki boyutlu olarak çizilmiştir.



Şekil 2.6. Schottky Engel Yüksekliği iki boyutlu modeli

ϕ_{B0} değerinin azalan sıcaklıkla azalan davranış gösterdiğini ve engel yüksekliğinin Gaussian dağılıma sahip olduğunu gösteren ifadeyi elde etmek için Song ve arkadaşlarının modelini inceleyelim. [21] (σ_{so}) standart sapma ve Φ_B ortalama değerli engel yüksekliği olmak üzere dağılım fonksiyonu Eş.2.14 ile bulunur.

$$P(\phi_B) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\Phi_B - \bar{\Phi}_B)^2}{2\sigma_s^2} \right] \quad (2.14)$$

Gaussian dağılıma göre ters doyum akımı (I_0) Eş. 2.15 ile bulunur.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{ap}}{kT}\right) \quad (2.15)$$

İfade de gördüğümüz ϕ_{ap} görünen engel yüksekliği değeridir.

$$\Phi_{ap}(T) = \bar{\Phi}_{B0} + \frac{q\sigma_{s0}^2}{2kT} \quad (2.16)$$

Görünen engel yüksekliği ifadesi ters doyum akımı I_0 eşitliğinde yerine yazılırsa klasik Richardson eşitliği düzenlenmiş olur.

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{q\sigma_{s0}}{kT}\right)^2 = \ln(AA^*) - \frac{q\bar{\Phi}_{B0}}{kT} \quad (2.17)$$

Bağıntıdan da anlaşılabileceği gibi idealite faktöründeki yüksek artış; uygulanan gerilime bağlı standart sapma değişimine ve ortalama engel yüksekliğine de bağlıdır. Bu bağıntının düşük sıcaklıklarda daha çok önem taşıdığı bilinmektedir. [10,21].

2.5. Arayüzey Durumları Dağılım Profiline Enerji Bağlılığı

Diyot performansını artırabilmek için metal ve yarıiletken arasına büyütülecek arayüzey tabakasının ince ve yüksek dielektrik sabitine sahip olması gereklidir. Böyle bir tabaka hem istenmeyen yüzey durumlarını pasivize edebilir hem de kaçak akımı önemli ölçüde azaltabilir. Arayüzey tabakasının kalın olması durumunda ise hem idealite faktörü hem de arayüzey durumları artarak diyot performansını istenmeyen yönde etkiler. Günümüzde yüksek dielektrik sabitli yalıtkan tabakaların kullanımı artmıştır. Diyotun toplam kapasitans değeri ise idealite faktörü ve voltaja bağlı değişen Φ_B değerinin bir fonksiyonu olarak Eş. 2.17 ile verilebilir. [13].

$$\frac{1}{n} = \left(1 - \frac{\partial \Phi_B}{q \partial V}\right) \quad (2.18)$$

Yarıiletken ve yalıtkanın arayüzeyine yerleşen arayüzey durumları şeklinde tanımladığımız parametre (N_{ss}); doğru beslemde elde edilen akım gerilim verileri kullanılarak Φ_B ve idealite faktörünün voltaja bağlı değişiminin de dikkate alınmasıyla elde edilebilir. Φ_B ve n için voltaja bağlı değişimler Card - Rhoderick tarafından formülize edilmiştir. [28].

$$n(V) = \frac{qV}{kT \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)} = 1 + \frac{\delta}{\varepsilon_i} \left[\frac{\varepsilon_s}{W_D} + qN_{SS}(V) \right] \quad (2.19)$$

$$\Phi_e = \Phi_{Bo} + \alpha(V) = \Phi_{Bo} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right)V \quad (2.20)$$

Eşitlikte geçen parametreler incelendiğinde; α voltaja bağlı engel yüksekliği değişim katsayısı, W_D tüketim tabakası kalınlığı, E_s yarıiletken tabakanın dielektrik sabiti E_i arayüzey tabakasının dielektrik sabiti, δ kalınlık olarak ifade edilebilir.

n tipi yarıiletken için arayüzey durumları enerji seviyeleri iletim bandının alt kenarına göre

$$E_C - E_{SS} = q(\Phi_e - V) \quad (2.21)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

2.6. Schottky Engel Diyotlarda Kapasitans/Kondüktansın Voltaj ve Frekansa Bağlı Özellikleri

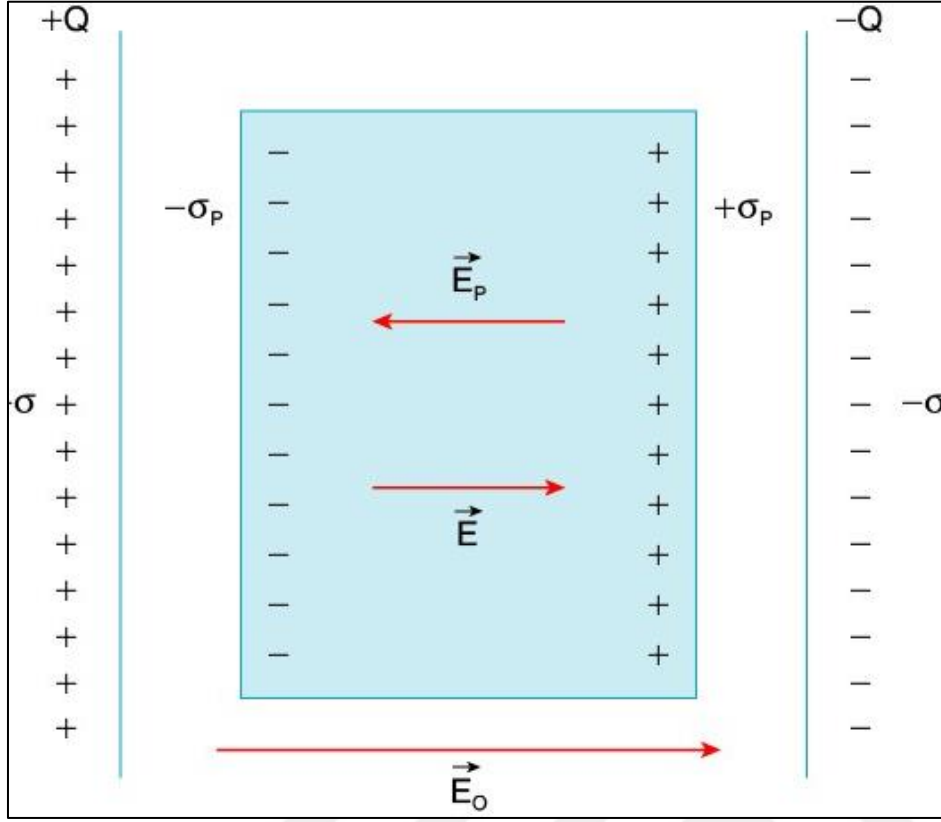
2.6.1. Dielektrik malzeme ve dielektrik sabiti

Metal ve yarıiletken arasına uygun yöntemlerle bir yalıtkan tabaka oluşturulduğunda MIS tipi, bir oksit tabaka oluşturulduğunda MOS tipi ve bir polimer tabaka oluşturulduğunda ise MPS tipi diyota dönüşür. Böyle yapılarda elektrik ve dielektrik özellikler farklı frekans, sıcaklık, voltaj gibi parametrelere bağlı incelenebilir. Ancak burada kalınlık önemlidir. Arayüzey tabaka kalınlığı 300 Å dan kalın olduğunda yapılar diyot değil kondansatör özelliği gösterir yani yük depolarlar. Bahsettiğimiz kalınlık ortalama bir değer olup, tabaka şeffaflığı ve yasak enerji aralığına göre ufak değişimler gösterebilir. Kalınlık faktörünün yanı sıra malzeme üretiminde dielektrik geçirgenlik ve büyütme işleminin kolaylığı da önemli faktörlerdir. Bir diyotun idealite faktörünün 1'e yakın çıkabilmesi için ince bir arayüzey tabakaya ya da yüksek dielektrik sabiti olan bir arayüzeye ihtiyaç vardır. Arayüzey tabaka kalınlığı belirli bir limite kadar inceltilebilir. Bu limit aşımında yüksek elektrik alan meydana gelir. Böyle bir durumla karşılaşmamak için yüksek dielektrik sabitli malzeme kullanmak avantajlı olacaktır.

Dielektrik malzeme sığayı artıracaktır. ($C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$) Dielektrik sabiti (ϵ') paralel plakalı bir sığaın plakaları arasında dielektrik malzeme olduğunda bulunan sığa değeri ile dielektrik malzeme olmadığında bulunan sığa değerin oranıdır. ($\epsilon' = \frac{C}{C_0}$) Dielektrik sabiti ϵ' olan bir malzeme kullanıldığında sığa ϵ' çarpanı kadar artar. İnce arayüzey tabakalarda büyütme sırasında iğne deliği adı verilen bazı istenmeyen durumlar gözlenir ve bunlar kısa devrelere neden olabilir. Uygun dielektrik malzeme ile metal ve yarıiletken izole olur, sızıntı akım ve kısa devre önlenir. İdeal bir diyotta arayüzey durumlarının düşük olması, istenen başka bir durumdur. Yüksek dielektrik sabitli tabaka arayüzey durumlarını da azaltır.

2.6.2. Dielektrik kutuplanma

İletken malzemeler dış elektrik alana maruz kaldıklarında yükleri yüzeye doğru hareket eder. Dielektrik malzemeler ise içinde serbest halde bulunan yük taşıyıcıların olmamasından dolayı dış elektrik alan etkisinde iletken davranış sergilemezler. Ancak bağlı durumdaki pozitif ve negatif yükler denge konumlarına zıt küçük yer değiştirmeler yapar. Yüklerin bu yerdeğıştirmeleri dipolleri ve dipol momentleri oluşturur. Ve malzemeye kutuplanabilme (polarizasyon) özelliği kazandırır. Dış elektrik alan kaldırıldığında yükler ilk konumlarına döner ve net dipol moment tekrar sıfır olur. [31]. Plakaları arasında dielektrik malzeme olan bir sığaıdaki kutuplanmayı inceleyelim:



Şekil 2.7. Plakaları arasında dielektrik malzeme olan bir sığaçta kutuplanma modellemesi

Biri pozitif diğeri negatif yüklü iki paralel plaka arasında, +dan – ye doğru bir düzgün elektrik alan oluşur. Plakalar arasına bir dielektrik malzeme konulduğunda malzemenin üzerindeki yüklere elektriksel kuvvet etki eder. ($F = q\vec{E}$) Bu kuvvet etkisinde pozitif yükler + yüklü levha tarafında negatif yükler ise eksi yüklü levha tarafında konumlanır. (Kutuplanır.) Böylece dielektrik malzeme içinde dış elektrik alanın ($\vec{E}_0$) tersi yönde bir iç elektrik alan ($\vec{E}_p$) oluşur. $\vec{E}_p$ kutuplanmaya karşı koymaktadır. ($\vec{E}_0$) > $\vec{E}_p$ olduğundan bileşke elektrik alan vektörel olarak $\vec{E}_0$ yönündedir. Plakalar üzerindeki serbest yük yoğunluğunu σ , dielektrik malzeme üzerinde oluşan kutuplanma yük yoğunluğunu σ_p ile ifade edersek,

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.22)$$

$$E_p = \frac{\sigma_p}{\epsilon_0} \quad (2.23)$$

Etkin yük yoğunluğu ($\sigma - \sigma_0$) olmak üzere bileşke elektrik alanın büyüklüğü Eş. 2.24 şeklinde yazılabilir.

$$E = \frac{1}{\varepsilon_0} (\sigma - \sigma_0) \quad (2.24)$$

Dielektrik malzemenin metrekare başına düşen yük miktarı (kutuplanma miktarı), (P) bileşke elektrik alanla aynı yönde ve doğru orantılı bir büyüklüktür.

Kutuplanma miktarını lineer homojen dielektriklerde, χ dielektriğin elektrik alınganlığı olmak üzere, Eş. 2.25 ile bulunabilir.

$$P = \varepsilon_0 \chi E \quad (2.25)$$

Boşluğun elektrik alınganlığı sıfırken diğer dielektrik malzemelerde

$$\chi = \varepsilon' - 1 \quad (2.26)$$

'dir.

Bir dielektriğin yüzeyindeki yükler serbest halde bulunmadıkları için kutuplanma etkisini elektrik alanın yer değiştirmesi ile fark ederiz. Buna elektrik akı yoğunluğu denir ve Eş. 2.26 ile ifade edilir.

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (2.27)$$

Bu ifade dielektrik kutuplanma yerine yazılarak

$$D = \varepsilon_0 E (1 + \chi) = \varepsilon' \varepsilon_0 E \quad (2.28)$$

Eş. 2.28 şeklinde düzenlenebilir. [12,18,23,32]. Madde bir dış alternatif gerilim altındayken, elektriksel kuvvet etkisinde yönelme eğilimindeki molekülerin birbirine sürtünmesi sonucu ısı enerjisi açığa çıkar. Gerilimin frekansı arttıkça açığa çıkan ısı enerjisi de artar. Bu ısı enerjisi dielektrik kayıp olarak tanımlanır.

Kuvvetli yığılma bölgesinde admittansın reel kısmı kondüktans, imajiner kısmı ise kapasitans/sığa değerini verir.

$$Y^* = \frac{1}{Z^*} = G + jwC \quad (2.29)$$

Kondüktans ve kapasitansı birimsel olarak aynı skalada (Farad) değerlendirmek için G/w değerleri kullanılır. Ölçülen kapasitans ve kondüktans değerleri ile yüksek frekanslarda ($f \geq 500 \text{ kHz}$) yapının seri direncini (R_s) hesaplayabilmek için Eş. 2.29'dan yararlanılır.

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (wC_m)^2} \quad (2.30)$$

Şimdi sırasıyla diğer dielektrik parametrelerinin hesaplanma bağıntılarını inceleyelim:

Kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı (ϵ') ve imajiner kısmı (ϵ'') sırasıyla,

$$\epsilon' = \frac{C}{C_0} = \frac{Cd_i}{\epsilon_0 A} \quad (2.31)$$

$$\epsilon'' = \frac{G}{wC_0} = \frac{Gd_i}{\epsilon_0 wA} \quad (2.32)$$

Numunede depo edilen enerjinin bir periyotta kayıp miktarı dielektrik tanjant (kayıp açısı)

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{G}{wC} \quad (2.33)$$

eşitlikleriyle bulunabilir.

Denklemlerde geçen parametreleri ,

C: Uygulanan gerilimin fonksiyonu olarak sığa,

C_0 : Boş kondanstörün sığası,

G/w : Uygulanan gerilimin fonksiyonu olarak kondüktans,

ϵ_0 : Serbest uzayın dielektrik sabiti ($8,85 \times 10^{-14} \frac{F}{cm}$)

d_i : Arayüzey tabaka kalınlığı

A: Üst doğrultucu kontak alanı olarak tanımlayabiliriz.

Farklı frekanslarda voltaja bağlı kompleks elektrik modülüsün reel ve imajiner kısımları da dielektrik sabiti ve dielektrik kayıba bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir.

$$M' = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} \quad (2.34)$$

$$M'' = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} \quad (2.35)$$

AC elektriksel iletkenlik (σ_{ac});

$$\sigma_{ac} = \left(\frac{d}{A}\right) w C \tan \delta = \varepsilon'' w \varepsilon_0 \quad (2.36)$$

Dielektrik özellikleri incelenen numunenin iletim mekanizmaları hakkında doğru ve ayrıntılı bilgiler elde etmek için empedans ölçümlerini (C-V-f), (G/w-V-f) geniş frekans ve voltaj aralıklarında yapmak önem taşımaktadır.



3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. MgO ve PVP Hakkında Literatür Taraması

Metal oksitler hakkında araştırma yapıldığında elektronik aygıt yapısından savunma sanayii sistemlerine kadar pek çok alanda MgO'in tercih edildiği görülmüştür. Bu durumun temel sebepleri arasında erime sıcaklığının yüksek olması, yapısının kararlı olması ve dielektrik özelliklerinin kapasite artırmaya uygun olması sayılabilir. Kübik yapıdaki MgO; geniş bant aralığı, ısı yalıtımı ve düşük optik kayıp sebebi ile de avantajlıdır. [34-36].

MgO ince filmlerle yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle dielektriksel karakteristiklerin incelendiği yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada MgO bazlı kompozit ince filmler, saf bst ve Mg eklenmiş bst ince filmlerle kıyaslandığında hem ideal dielektrik özelliklerini koruduğu hem de diğer filmlere oranla yüksek dielektrik sabiti gösterdiği görülmüştür. [37].

Polivinilpirolidon (PVP), nano parçacık sentezinde yaygın olarak kullanılır. Boya, deterjan gibi kimya sektöründe, tıbbi ve biyomedikal aygıtlarda, gıda, kozmetik, tekstil gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. [38–42].

Toksik olmayan, birçok organik çözücüde çözünebilen bir malzeme olması, düşük dielektrik kayıp ve termal kararlılık avantajları ve maliyetinin ucuz olması kullanımının yaygın olma nedenleri arasında sıralanabilir. [9].

3.2. Kullanılan Materyaller ve Test Yöntemleri

Numune yapımında kullanılacak olan materyallerden Magnezyum Sülfat (MgSO_4 , Saflık $\geq 99\%$) ve Polivinilpirolidon (PVP), LOBA Chemie şirketinden, sodyum hidroksit (NaOH , Saflık $\geq 99\%$), and Oleic asit ($\text{C}_{18} \text{H}_{34} \text{O}_2$) Merck Şirketinden satın alınmıştır. Çalışma boyunca deiyonize su kullanılmıştır.

MgO nanoyapılarının hazırlanması ultrasonik banyoda ($28 \text{ kHz} \pm 5\%$, 100 W) gerçekleştirildi. MgO nanotozların termal reaksiyonu termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG/DTA- LINSEIS STA-PT 1000) kullanılarak karakterize edildi.

Hazırlanan numunelerin yapısal özellikleri X ışını kırınımı (XRD) kullanılarak (Cu-K_α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) 2θ açısı aralığı 20- 80 TUV-1800 Shimadzu UV-Vis) spektrofotometre bant aralığı ve soğurma değeri ölçümünde kullanıldı. Ayrıca BET (Brunauer-Emmett-Teller) MiniBelzorp (Japonya) ile gözeneklilik incelendi. Hazırlanan diyotların akım-voltaj ölçümleri (I-V) yaklaşık 10^{-3} Torr basınç altında JanisVPF-475 kriyostat kullanılarak Keithley 2400 ölçüm cihazı ile gerçekleştirildi. Keithley 2400 ölçüm kaynağı akım kaynaklı gerilim ölçümü ve gerilim kaynaklı akım ölçümü yapabilmektedir. Keithley 2400 $\pm 1 \mu\text{V} / \pm 200 \text{ V}$ dc gerilim ; $\pm 10 \text{ pA} \pm 1 \text{ A}$ 'e dc akım aralığında çalışır. Ölçüm sonuçları $\pm \% 0.15$ hassasiyetle bulunabilmektedir. Ölçümler esnasında Kriyostat kullanılmasının sebebi gürültü ve ışık gibi dış etmenlerin deneysel ölçüm sonuçlarındaki etkisini minimuma indirmektir. Kapasitans -voltaj ölçümleri ise Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü ile yapılmıştır. Bu cihaz 5 Hz'den 13 Mhz frekans aralığına çıkabilmektedir. Osilatörde görüntülenebilen genlik 5 mV-1 V arasındadır. -35 V'dan +35 V'a kadar geniş bir skalada pekçok elektriksel parametre ölçümü yapabilmektedir. Tüm ölçümler bir bilgisayar yardımıyla bir IEEE-488 ac/dc dönüştürücü kart üzerinden gerçekleştirildi. Böylece ölçümlerin kontrolü ve kumandası sağlandı.



Resim 3.1. HP 4192 A empedans analizörü



Resim 3.2. Janis vpf-475 kriyostat

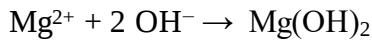


Resim 3.3. Keithley 2400 akım- gerilim kaynağı

3.3. MgO Nanoyapıların Hazırlanması

MgO nanoyapısının sentezi için 0,16 g sodyum hidroksit ve 0,48 g magnezyum sülfatın 20 ml damıtılmış suda çözünmesini sağlayacak şekilde 0,2 M sodyum hidroksit ve magnezyum sülfat çözeltisi hazırlandı. Sodyum hidroksit çözeltisinin pH'ı 14'tü ve magnezyum sülfat çözeltisinin pH'ı 5'ti. Daha sonra magnezyum sülfat solüsyonunun içine sodyum hidroksit solüsyonu ve sürfaktan olarak 1 cc Oleik asit ilave edildi. Hazırlanan çözelti, 20 dakika süreyle 50 W ultrason ışınlamasına maruz bırakıldı. Sonraki aşamada, hazırlanan nanoyapılar santrifüj edilerek 5 kez distile su ile yıkandı. Elde edilen beyaz Mg (OH)₂ tozu 50 ° C'de 72 saat süreyle bir fırında kurutulmuştur. Son aşamada Mg (OH)₂, 500 ° C'de iki saat fırınlanarak MgO nano toz elde edildi.

Bu işlemin tepkimesi aşağıdaki gibidir: [43].

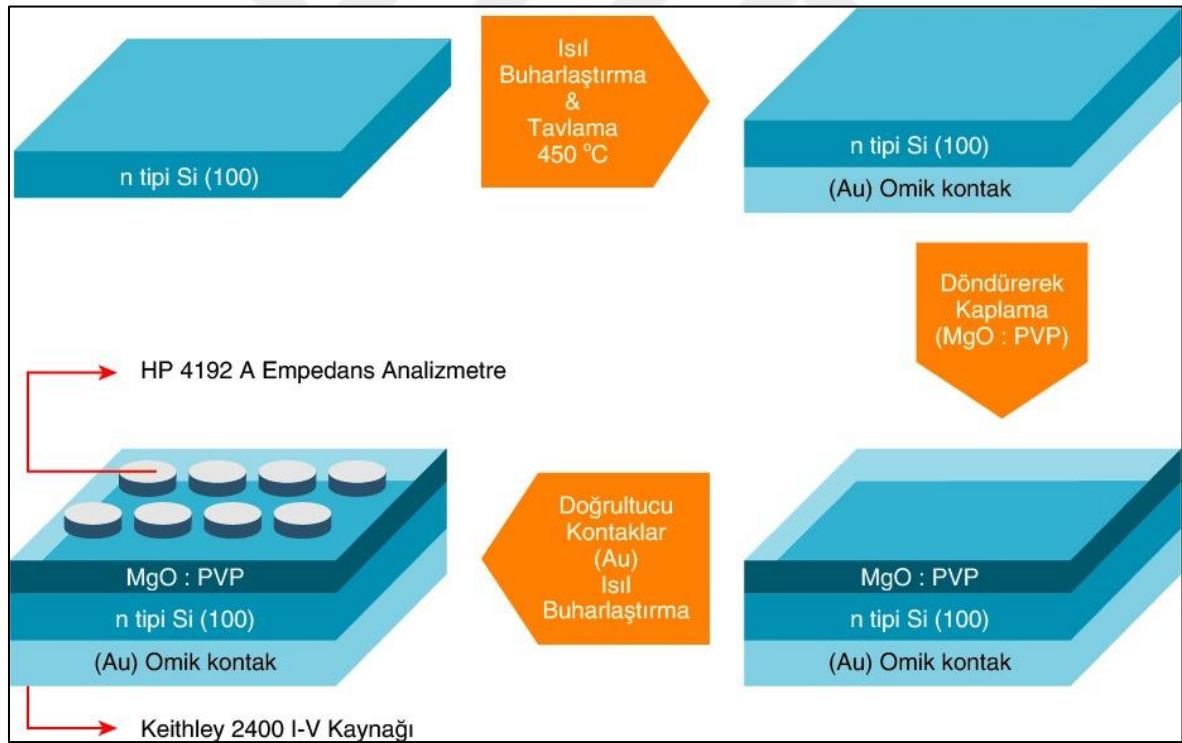


Oleik asit ile kaplanmış MgO nanotozları hazırlamak için çözeltiye ultrason ışınlama aşamasından önce 1000 µl oleik asit ilave edildi ve adımların geri kalanı, yukarıda açıklanan yöntemle benzerdir.

3.4. Au / n-Si / PVP: MgO / Au Yapının Üretim Süreci

Au / n-Si / PVP: MgO / Au yapıları, (100) yönelimli, 350 µm kalınlıklı ve 1⁻¹⁰ Ω cm öz dirençli n-tipi (fosfor katkılı) Si tek kristal yapraklar kullanılarak üretildi. Üretim öncesi, n-Si kristal 55 ° C aseton ile temizlendi, ardından metanol ve damıtılmış su ile temizlendi. Ardından n-Si tabaka 70 ° C'lik bir H₂O, H₂O₂ ve NH₄OH (65:13:13) çözeltisinde

temizlendi. Son olarak, n-Si tabaka bir HF: H₂O (1:24) çözeltisi kullanılarak temizlendi ve damıtılmış su ile yıkandı. Bundan sonra quartz cam vakum fanusuna yerleştirildi. ~1500 Å kalınlığındaki yüksek saflıkta (% 99,999) Au, iyi bir omik kontak elde etmek için 10⁻⁶ Torr basınçta n-Si kristalin arka tarafına püskürtülerek kaplandı. Omik kontakın oluşmasından sonra, arayüzey tabakasının oluşturulması için hazırlanan PVP: MgO kompoziti, bir döndürme kaplama yöntemi (spin coating method) kullanılarak n-Si kristalin ön yüzeyine kaplandı. MgO arayüzey tabakası ve PVP'nin kaplama işleminden sonra: 1 mm çapında 1500 Å kalınlığında dairesel kontaklar yaklaşık olarak 10⁻⁶ Torr basınçta yüksek saflıkta (% 99.999) Au kullanılarak termal buharlaştırma sisteminde metal bir gölge maskesi ile her iki kristal parçası üzerinde oluşturulmuştur. Bu şekilde ön doğrultucu kontaklarda gümüş pasta ile elektrotlardan bağlantılar yapılarak organik Au/PVP:MgO/n-Si ve geleneksel Au/n-Si Schottky Bariyer diyotlar üretildi. Schottky Bariyer Diyotun üretim aşamalarının şematik gösterimi şekilde verilmiştir.

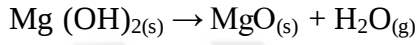


Şekil 3.1. Au / n-Si / PVP: MgO / Au Üretim Süreci Şematik Gösterimi

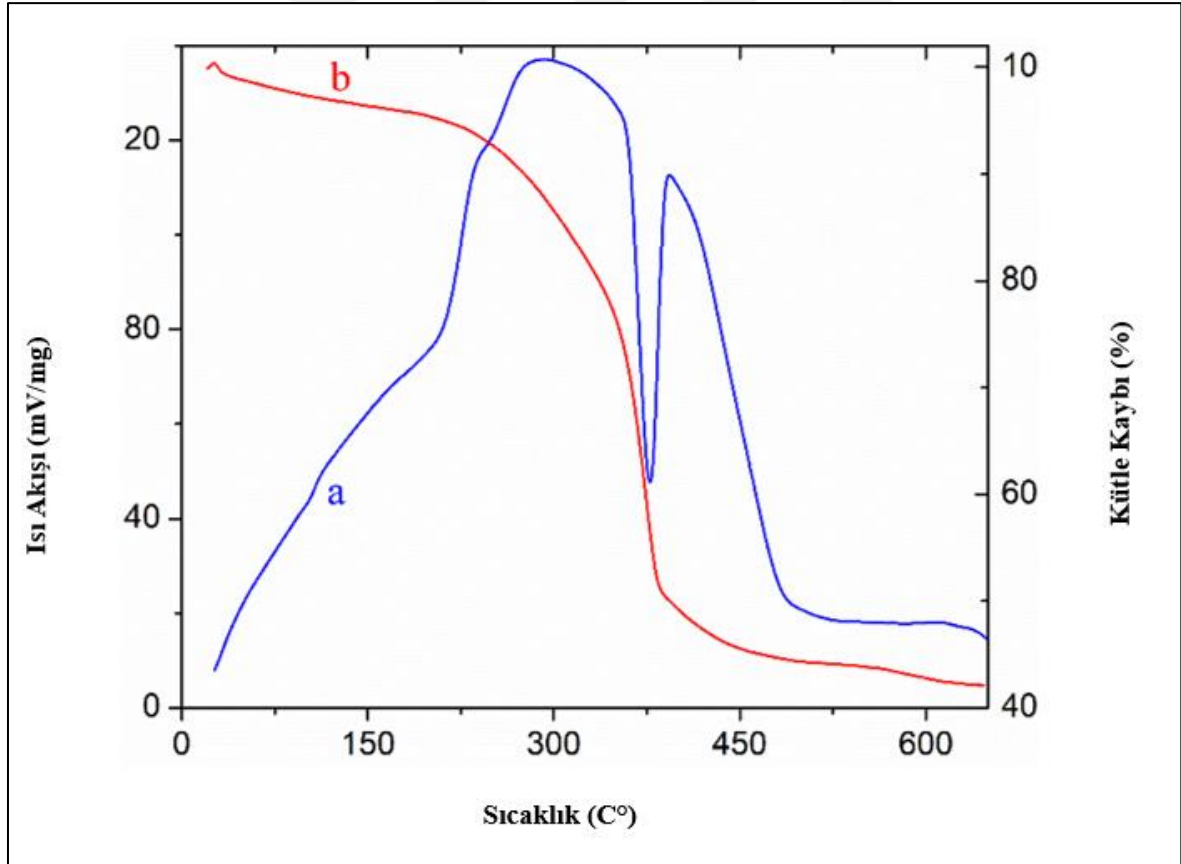
3.5. Termogravimetrik Diferansiyel Termal Analiz (TGA-DTA)

Üretilen yapıda reaksiyon tiplerini ve gerçekleşen termal olayları belirlemek amacıyla Linseis STA_PT 1000 aygıt ile termal analiz gerçekleştirilmiştir. TGA ve DTA profili, eşzamanlı sıcaklıkta termal sistemde kaydedilmiştir. Isıtma için bir seramik Al₂O₃ kap

kullanılmış ve 10 °C / dk ısıtma hızında N₂ atmosferinde ölçümler yapılmıştır. Şekil 4.1' de, magnezyum hidroksit nano tozlarının hem TGA hem de DTA eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.1 (b), nem buharlaşmasına bağlı olarak 20-150 °C aralığında %4 ağırlık kaybı olduğunu göstermektedir. Bir sonraki adımda, faz dönüşümü nedeniyle 150-480 °C aralığında %52 ağırlık kaybı meydana gelir. 500 °C sıcaklıktan sonra ise yok denecek kadar az ağırlık kaybı görülmüştür. 377 °C'de ilk adım TGA eğrisine karşılık gelen bir endotermik pik olduğunu göstermektedir. TGA ve DTA eğrilerine göre hidroksit fazının oksit fazına dönüşmesi için uygun yanma sıcaklığı 500 °C'dir. Su moleküllerinin Mg(OH)₂ bileşiğinden ayrılma tepkimesi aşağıdaki gibidir.



Bu analiz bize buharlaşmaya bağlı kütle kaybı ve oksidasyon için uygun yanma sıcaklığı gibi bilgileri göstermiştir.



Şekil 3.2. Ultrason destekli yöntemle hazırlanan magnezyum hidroksit nanoyapılarının (a) DTA ve (b) TGA eğrisi.

3.6. X-ışını difraksiyonu

Hazırlanan numunelerin kristal özellikleri XRD kırınımı ile incelenmiştir. Şekil 4.2, ultrason destekli yöntemle hazırlanmış MgO nanoyapılarının XRD'sini göstermektedir. Sırasıyla 2θ pikleri 37.0, 43.0, 62.3, 74.6 ve 78.6 (111), (200), (220), (311), (222), (103) ve (222) yönelimlerine karşılık gelir. Belirtilen tüm pikler standart (ICCD# 01-1235) MgO kübik yapısıyla eşleşmiştir. [44]. Numunenin XRD modelinde hiçbir ek tepe gözlenmemiştir, bu da hazırlanan numunenin yüksek saflığını gösterir.

Debye-Scherrer denklemi kullanılarak MgO nanoyapılarının kristal (tanecik) boyutu hesaplanmıştır.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.1)$$

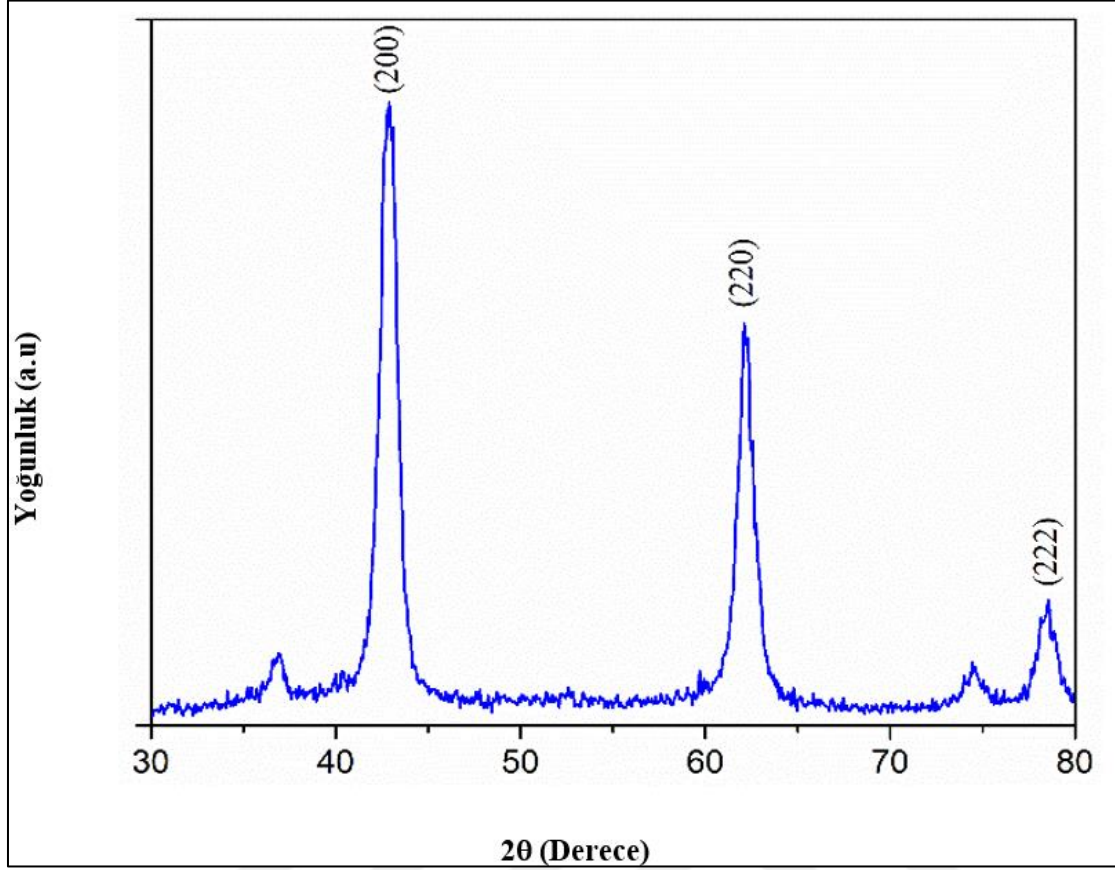
D: Ortalama Tanecik büyüklüğü

λ : CuK α dalga boyu

B: pikin yarısındaki maksimum genişlik

θ : Bragg açısı

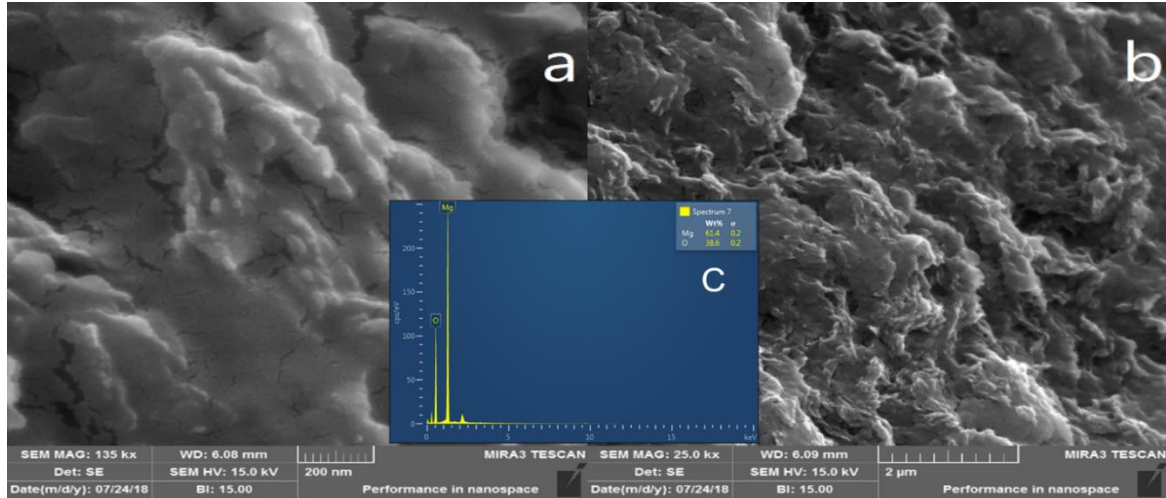
Hazırlanan örneklerin ortalama tanecik boyutu 14.6 nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. MgO nanoyapılarının X-ışını kırınım desenleri

3.7. MgO nanoyapılarının SEM ve BET analizleri

Malzemelerin fiziksel karakterizasyonu, hem kullanılan malzemenin yapısını belirleyecek hem de yüzey homojenliğini ortaya koyacak farklı yöntemlerle gerçekleştirilir. Yüzey morfolojisi aygıtın elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için önemlidir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ise yüzey analiz çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Resim 4, farklı büyütme oranlarında ultrason destekli yöntemle hazırlanan MgO nanoyapılarının FESEM görüntülerini göstermektedir.



Resim 3.4. MgO nanoyapılarının SEM görüntüleri: a) 135kx, b) 25kx, c) MgO nanoyapılarının EDX profilleri.

Resimden de görülebileceği gibi MgO nanopartikülleri, görüntüdeki küçük boyutları nedeniyle ayırt edilemez. Bu küçük parçacıkların birikimi, eşit dağılmış kümelerden oluşur. Ortalama nanopartikül boyutları 10 nm'den azdır ve ortalama küme boyutları yaklaşık 100 nm'dir. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edilen değerler, X-ışını analizi bölümündeki Debye-Scherrer denklemi ile elde edilen ortalama boyutları doğrulamaktadır. Şekil (c) EDX Tekniğinin analizi ile ilgilidir ve nanopartiküllerin Magnezyum ve oksijenden oluştuğunu göstermektedir. Şekildeki piklere göre MgO nanoyapılarında bulunan Magnezyum (Mg) atomlarının yüzdesi % 61.4 ve Oksijen (O) atomlarının yüzdesi % 38.6'dır. Bu nanoyapıdaki diğer öğelerin yokluğu, nanoyapıların saf bir fazının oluştuğunu gösterir. Bu sonuç aynı zamanda X-ışını kırınım modelinden elde edilen sonucu da doğrular.

UV-Vis spektroskopisi MgO'nun UV-Vis spektrumları Şekil 4.3'te verilmiştir. Optik bant aralığı eşitlik 4.2 ile hesaplanmıştır.

$$\alpha h\nu = \beta(h\nu - E_g)^n \quad (4.2)$$

α : Soğurma katsayısı

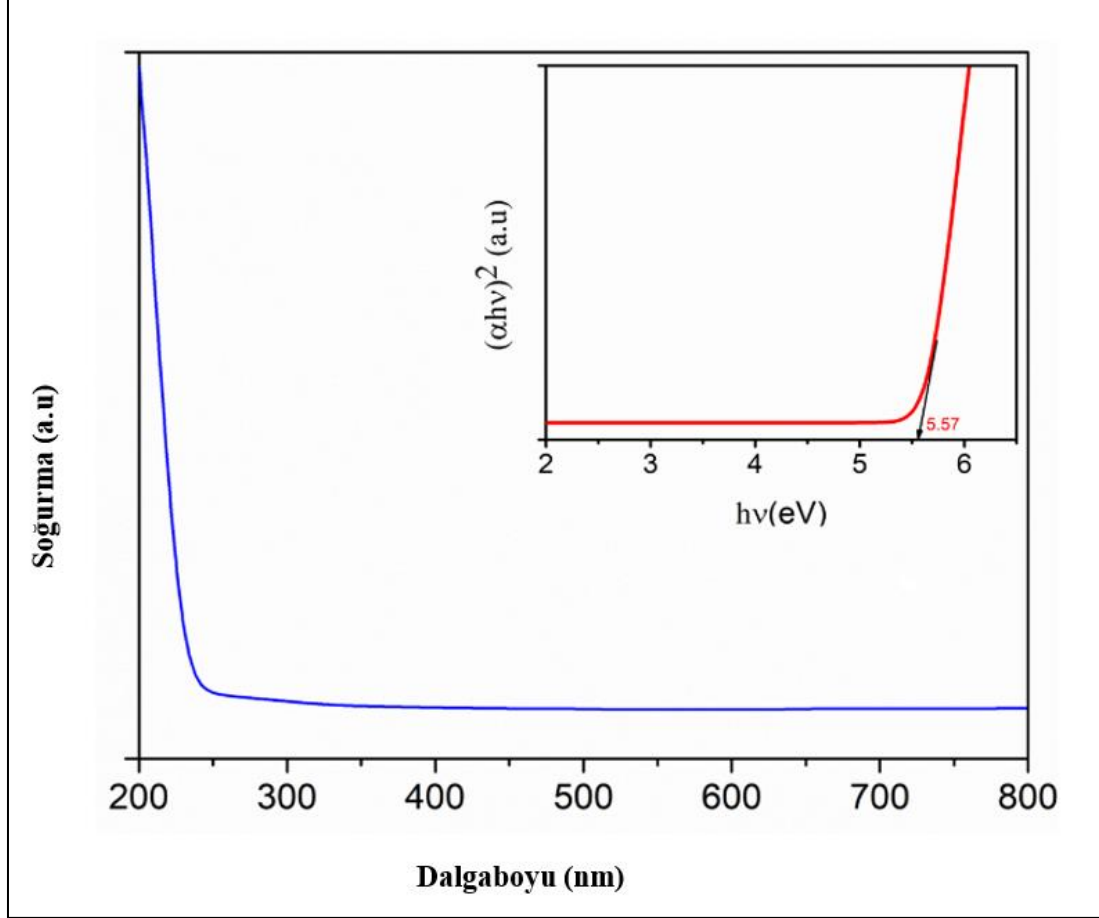
$h\nu$: Foton enerjisi

β : Orantı sabiti

E_g : Bant aralığı

$n=1/2$ (doğrudan geçişler için)

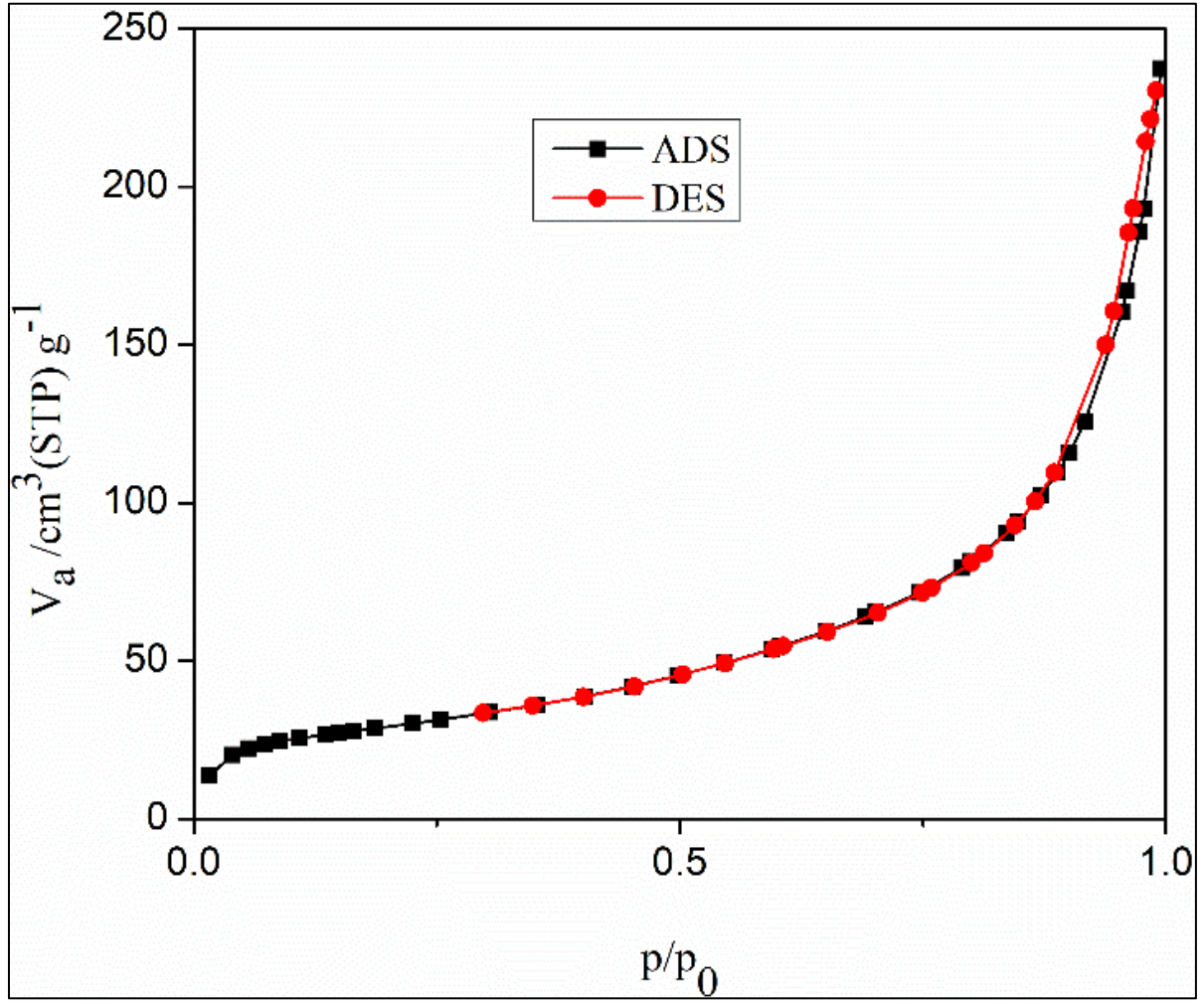
Düz kısım tahmini enerji eksenidir. Ve $(\alpha h\nu)^2 = 0$ olduğunda kesim noktası nanoyapının bant aralığı enerjisini verir. MgO nanoyapılarının doğrudan geçiş bant aralığı değerlerinin yaklaşık 5.57 eV olduğu tahmin edildi. Bant aralığındaki değişimler tanecik boyutundaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. [44].



Şekil 3.4. MgO ve MgO-Mn katkılı nanoyapıların UV-Görünür soğurulma spektrumları

3.8. Yüzey Alanı Ölçümü (BET)

Spesifik numune yüzey alanları, BET yöntemi kullanılarak nitrojen adsorpsiyonunun izotermlerine göre belirlenmiştir. BET, spesifik yüzey alanını belirlemek için kullanılan tekniklerden biridir ve fotokatalist, depolama, ultra-kapasitörler ve biyo/kimyasal sensör gibi alanlarda uygun bir aday olan yüzeyin gözenekliliğini belirlemek için en önemli karakterizasyon araçlarından biridir. [44]. Şekilde MgO nano yapıli Adsorpsiyon-Desorpsiyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.5. MgO nanoyapıların adsorpsiyon-desorpsiyon grafiği

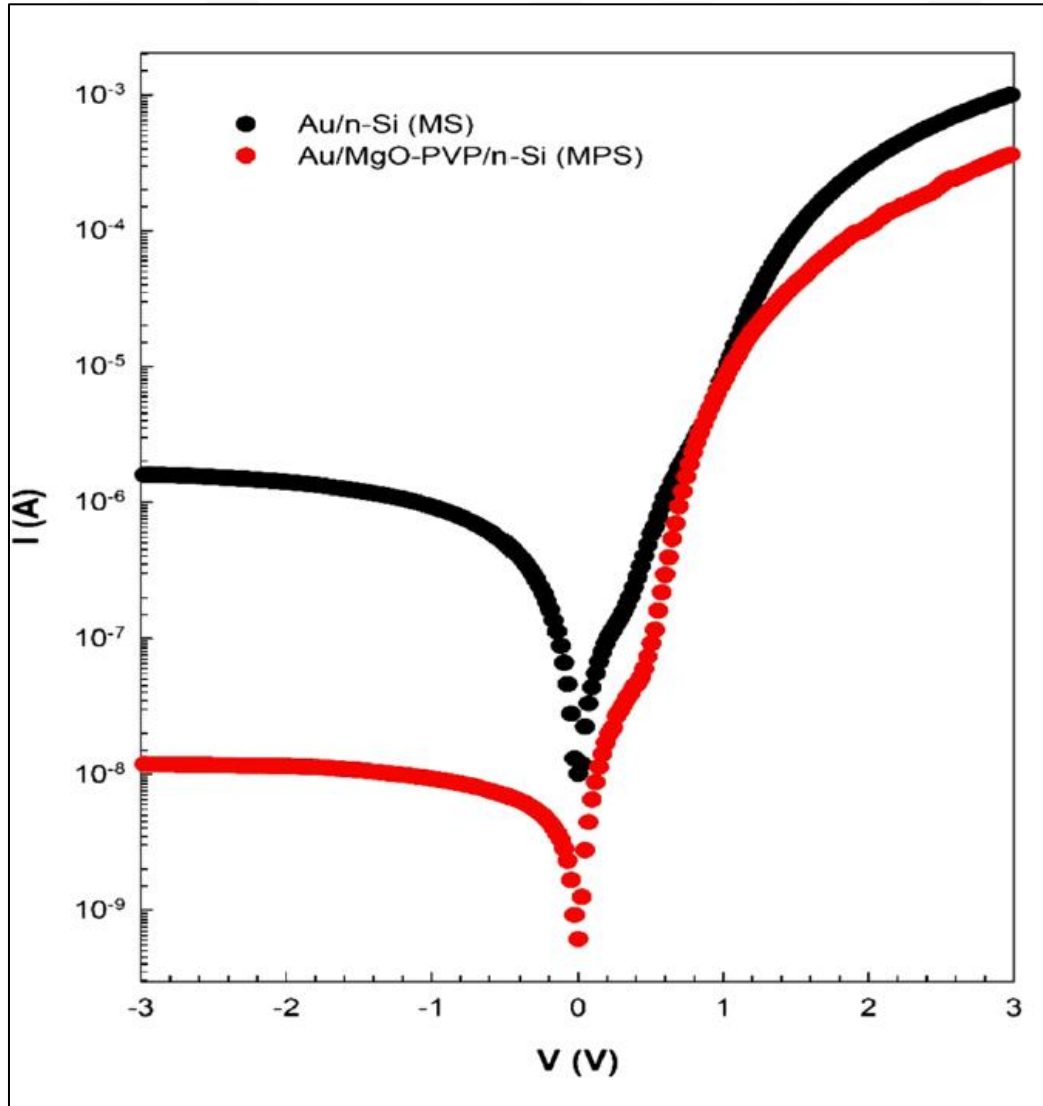
BET analizlerinin sonucu, ortalama gözenek çapı, hacmi ve gözenek yüzey alanlarının sırasıyla 11.4 (nm), 28.064 (cm^3 / g) ve 122.15 (m^2 / g) değerlerine eşit olduğunu göstermektedir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Elektrik Karakteristikleri

4.1.1. İleri ve geri beslemde I-V özellikleri

Deneysel incelemelerimizi yaparken öncelikle MgO-PVP ara katmanın çalışmamıza sağlayacağı avantajları inceleyebilmek için bir karşılaştırma çalışması yapıldı. Bunun için hem Au/n-Si ara tabakasız numune hem de oluşturulan Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının akım gerilim verileri ölçüldü. Ve bunlar karşılaştırmalı olarak değerlendirildi.



Şekil 4.1. Au/n-Si ve Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının yarılogaritmik I-V grafiği

Şekil 4.1’de Au/n-Si (MS) ve Au/(MgO-PVP) /n-Si (MPS) yapının I-V eğrileri gösterilmiştir. Grafiğe göre ters beslem akımı gerilime zayıf bir şekilde bağlıyken doğru beslemde orta voltajlarda artan gerilimle neredeyse üssel olarak artan iyi bir doğrultucu davranış ortaya koymaktadır. Ancak daha yüksek voltajlarda doğal ve polimer ara katmanların varlığı nedeniyle lineerlikten saptığı gözlenmektedir. Lineerlikten sapma seri direnç ve arayüzey tabakasının etkisidir. [7,45-49].

Schottky Bariyer Diyotlarda akım ve voltaj ilişkisi termiyonik emisyon (TE) teorisine bağlı olarak ($n>1$, $R_s>0$) aşağıdaki gibi ifade edilebilir. [5-7,47].

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{B0}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (5.1)$$

Burada A^* Richardson sabitidir (n tipi Si için $A^*=112 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$) [7]. Richardson sabiti değerleri literatürde kolaylıkla bulunabilir. n ve I_s değerleri $\ln(I)$ -V grafiğinde lineer kısmın eğimi ve düşey eksenini kesim noktasından bulunur.

ϕ_{B0} ’ın değeri ve bulunan I_s ve diyot alanı (A) kullanılarak Eş 5.3’ten hesaplanır.

$$n = \frac{q}{kT} \frac{d(V-IR_s)}{d(\ln(I))} \quad (5.2)$$

$$\Phi_{B0} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_s}\right) \quad (5.3)$$

Au/(MgO-PVP)/n-Si yapı için bulunan I_s , n ve ϕ_{B0} değerleri çizelgede verilmiştir.

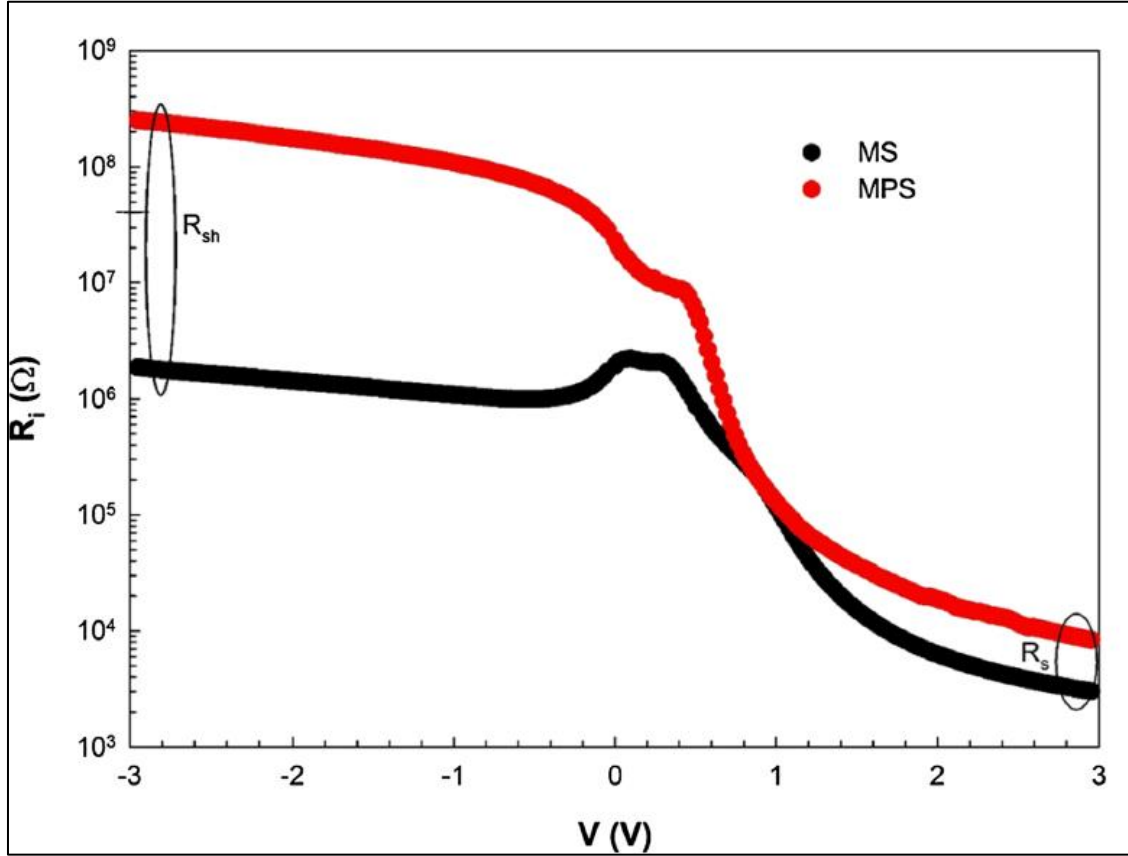
Çizelge 4.1. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapı için bulunan I_s , n , R_s ve ϕ_{B0} değerlerinin farklı yöntemler ile bulunması

Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)				Norde Yöntemi		Cheung Fonksiyonu			
$I_0 (A)$	n	$\Phi_B (eV)$	RR	$\Phi_B (eV)$	$R_s (k\Omega)$	n	$R_s (k\Omega)$ $dV/d\ln(I)I$	$\Phi_B (eV)$	$R_s (k\Omega)$ $H(I)-I$
$1,71 \times 10^{-10}$	3,24	0,84	$2,1 \times 10^4$	0,88	4,19	13,19	3,79	0,59	3,10
$2,14 \times 10^{-8}$	5,98	0,72	$4,1 \times 10^2$	0,79	1,61	7,63	1,78	0,65	1,28

Doğrultma oranı, ($RR=IF/IR$) $\pm 3 \text{ V}$ ’ da sırasıyla 4.1×10^2 ve 2.1×10^4 olarak bulunmuştur. n ’in değeri 1’den büyük bulunmuştur. Burada önemli bir sonuç olarak Au/(MgO-PVP) /n-Si yapının doğrultma oranı Au/n-Si yapılara kıyasla 51 kat daha yüksektir. Bu durum,

bariyer homojensizlikleri, hayali kuvvet düşmesi, Dit'nin Au/(MgO-PVP)/n-Si arayüzeyindeki belirli dağılımı ile açıklanabilir. [5-6,47,50].

R_s ve R_{sh} elektriksel özellikleri etkilemektedir. İleri ve geri beslemde Ohm Yasası ($RI = dVI / dI$) ile hesaplanan R_s ve R_{sh} değerleri Çizelge 4.1 'de verilmiştir. Sırasıyla MS yapı için 3,21 k Ω ve 1,76 M Ω MPS yapı için 9.02 k Ω ve 259 M Ω bulunmuştur.



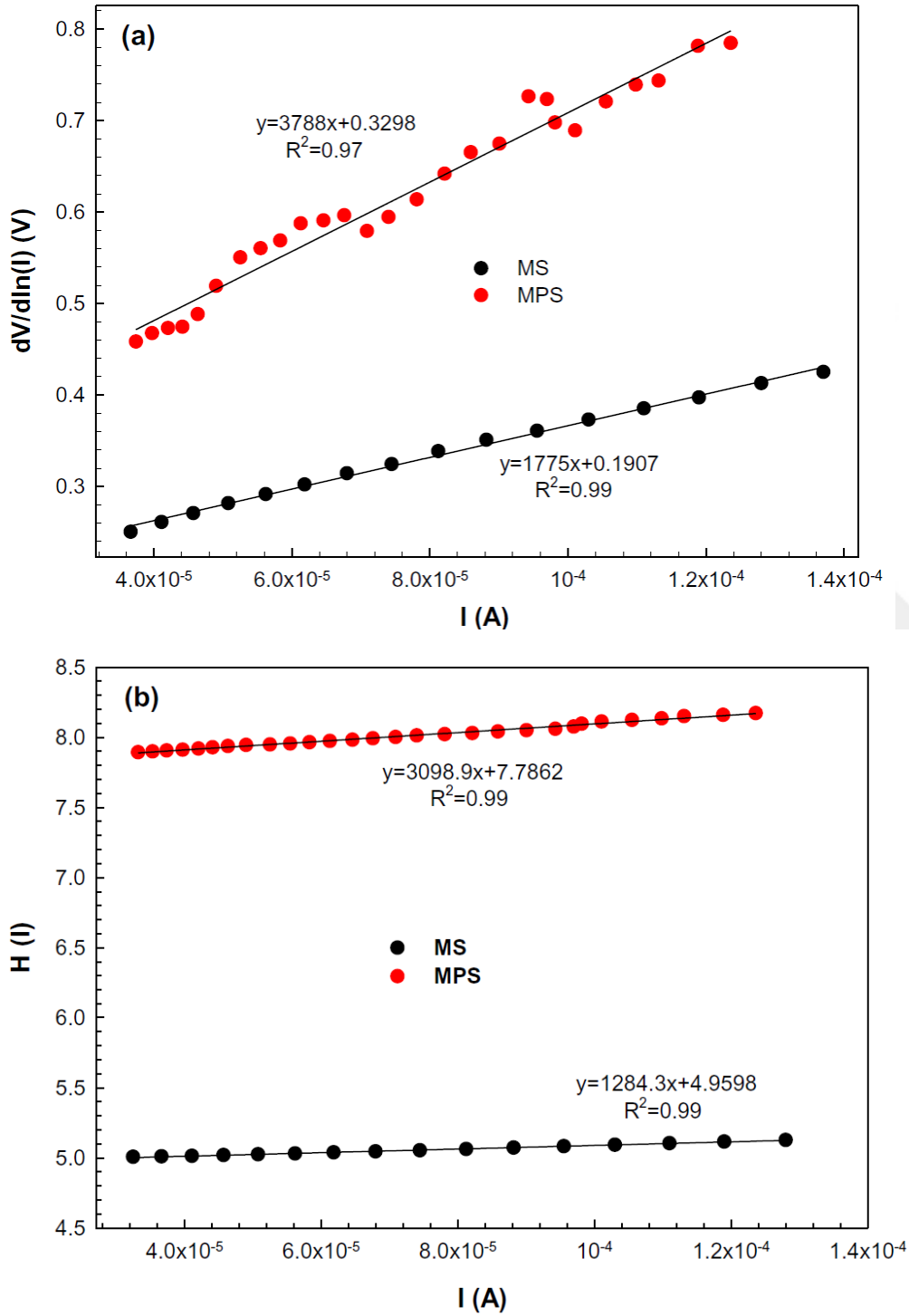
Şekil 4.2. Au/n-Si ve Au/(MgO-PVP) /n-Si yapının R_i -V grafiği

Doğru beslem altında $\ln(I)$ -V grafiğinde yeterli lineer bölge yoktur. Elektriksel parametrelerin doğruluğunu ve güvenilirliğini tartışabilmek amacıyla n , R_s , Φ_B parametreleri bu nedenle Cheung's fonksiyonundan hesaplanabilir.

$$\frac{dV}{d(\ln(I))} = IR_s + \left(\frac{nkT}{q}\right) \quad (5.4)$$

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) = IR_s + n\Phi_B \quad (5.5)$$

Şekil 4.3. a, b $dV/d(\ln(I)) - I$ ve $H(I) - I$ grafiklerini göstermektedir. R_s ve n değerleri sırasıyla eğimden ve düşey eksenini kestiği noktadan bulunur. Bulunan değerler tabloda verilmiştir. Ayrıca R_s ve Φ_B değerleri $H(I) - I$ eğiminden hesaplanabilir.



Şekil 4.3. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının (a) $dv/d\ln I$ (b) $H(I) - I$ grafiği

Tablodaki Cheung's Fonksiyonunun bir parçası olarak hesaplanan bu değerler de gösterilmektedir.

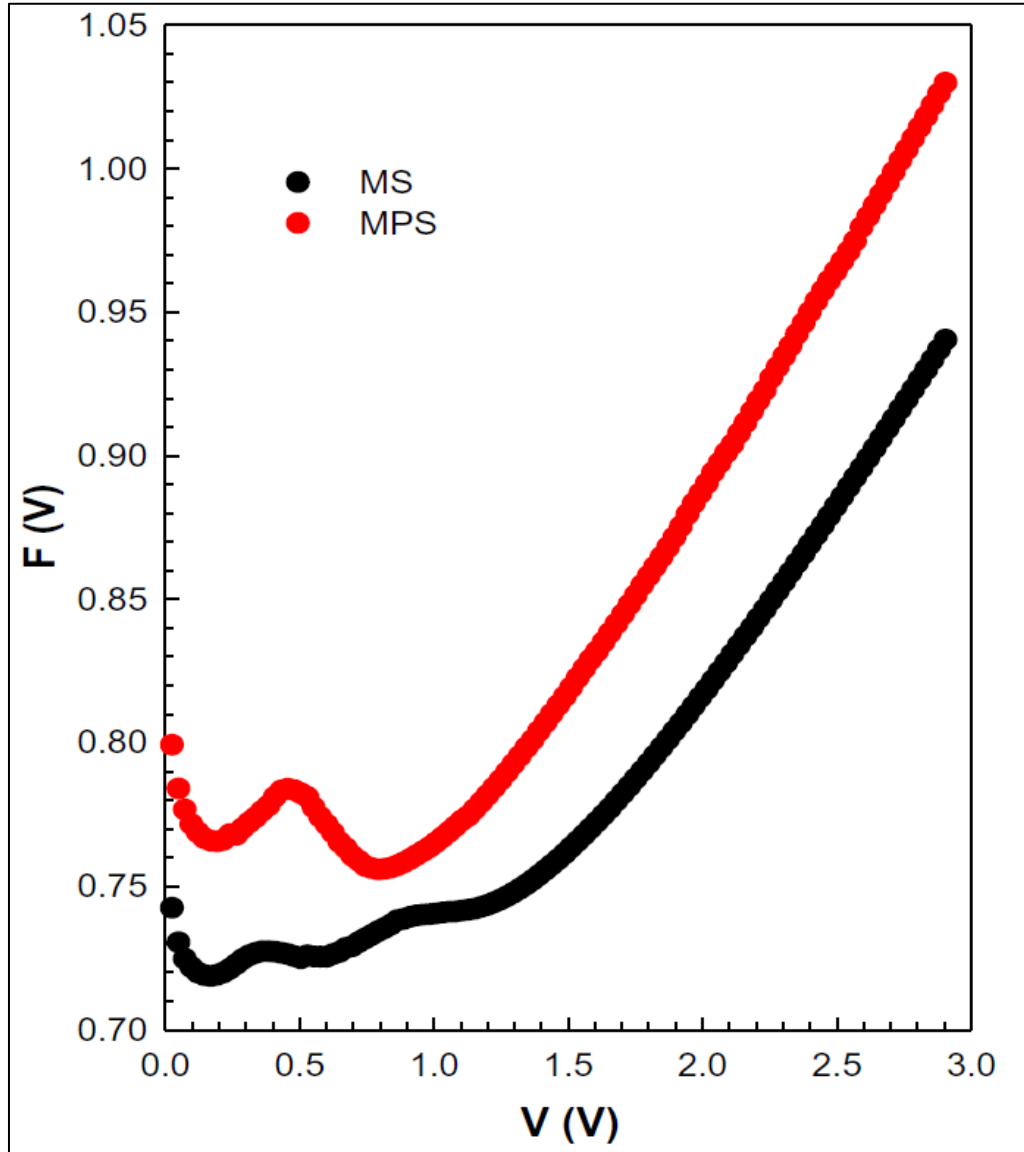
Schottky Bariyer Diyotların n , Φ_B ve R_s değerini hesaplamada alternatif 3. bir yöntem olarak modifiye edilmiş Norde Fonksiyonu sayılabilir. [51].

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (5.6)$$

$$\Phi_B = F(V) + \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (5.7)$$

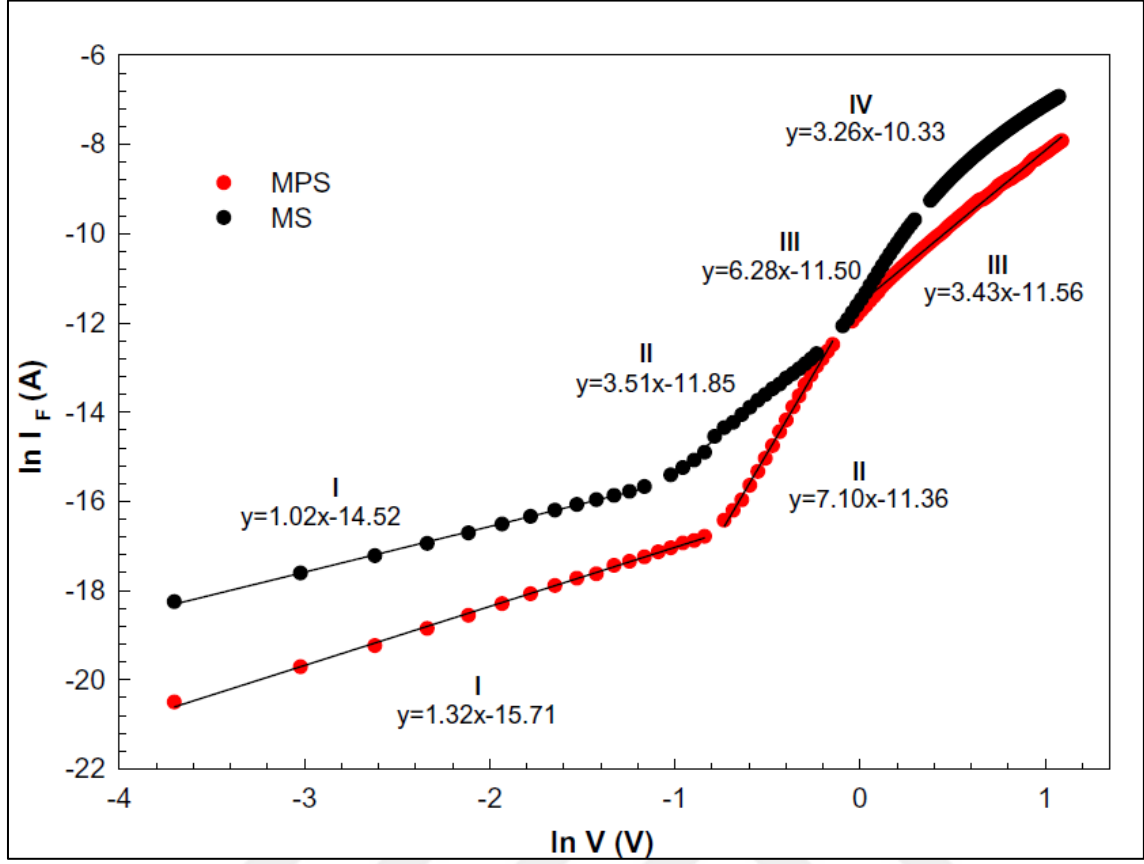
$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{q} \quad (5.8)$$

Burada γ sabittir ve Termiyonik emisyon teorisinden elde edilen idealite faktöründen büyük en küçük tamsayı olmalıdır. V_0 ve I_0 $F(V)$ Norde fonksiyonundaki ($F(V)$) minimum gerilim ve minimum akım değerleridir. Elde edilen Φ_B ve R_s değerleri de Tablonun Norde fonksiyonu bölümünde verilmiştir. N , R_s ve ϕ_B 'nin TE, Cheung ve Norde yöntemlerinden bulunan değerlerinde karşılık gelen farklı voltajlardan dolayı bazı tutarsızlıklar görülür. [52,53]. TE'de doğru beslem I-V eğrisinin lineer bölgesi, Norde Fonksiyonu doğru beslem tüm I-V verileri, Cheung Fonksiyonu ise I-V eğrisinde lineer olmayan bölgeyi kullanır. Bu aynı zamanda voltaj bağımlılığının da bir kanıtıdır.



Şekil 4.4. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının F(V)-V grafiği

MS ve MPS yapının etkili akım iletimini araştırmak için ileri beslem voltaj altında $\ln(I_F)$ - $\ln(V)$ grafiği çizilmiştir. Burada her iki diyotun da farklı bölgelerde farklı doğrusal parçaları bulunduğu görülür. Doğrusallık, V ve I arasındaki ilişki bize ohm yasasını hatırlatır. Grafikte bu bölgelerin MS yapı için I, II., III. ve IV. Olarak adlandırılan lineer 4 bölge ile gösterildiğini görüyoruz. MPS yapı için I, II, III. olarak gösterilen 3 farklı lineer bölge gösterildi. MS ve MPS diyot için aradaki bu fark M/S arayüzeyinde N_{ss} 'in özel bir dağılımının ve arayüzeyin bir sonucudur. m değeri $\ln(I_f) - \ln(V_f)$ değerine karşılık gelir. Sırasıyla MPS yapı için I, II, III bölgelerinin eğimi 1.32, 7.10, 3.43 olarak hesaplandı. MS yapı için ise 1.02, 3.51, 6.28 ve 3.26 olarak hesaplandı.



Şekil 4.5. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının $\ln(I_F)$ - $\ln(V)$ grafiği

Her bölge için elde edilen m değerleri şu şekilde açıklanabilir: MS diyot için;

I.Bölge: m değeri birim değere ($=1$) yakındır. Akım iletim mekanizması omik davranış gösterir.

II.ve III. Bölge: m değeri 2'den büyüktür. Tuzak yükü sınırlı akım iletim mekanizması (TCLC) görülür.

IV. Bölge: MS ve MPS Schottky diyotlar için m 'in değeri güçlü elektron enjeksiyonu nedeniyle 3.4'e yakındır. Uzay yükü sınırlı akım iletim mekanizması (SCLC) görülür.

MPS diyot için ise;

I.Bölge: m değeri birim değere ($=1$) yakındır. Akım iletim mekanizması omik davranış gösterir.

II. Bölge: m değeri 2'den büyük. Tuzak yükü sınırlı akım iletim mekanizması görülür.

III. Bölge: Uzak yükü sınırlı akım iletim mekanizması görülür.

Ayrıca yine MPS yapının akım iletim mekanizmalarını araştırmak için ters önbeslemde $\ln (IR)$ - $\ln (V_R^{0.5})$ grafikleri de verilmiştir. Buna göre ters beslem de söz konusu iki mekanizma olabilir. Bunlar Poole-Frenkel (PF) ve Schottky Emisyon (SE) mekanizmalarıdır. Bu iki mekanizma için sırasıyla Ir, [28,53].

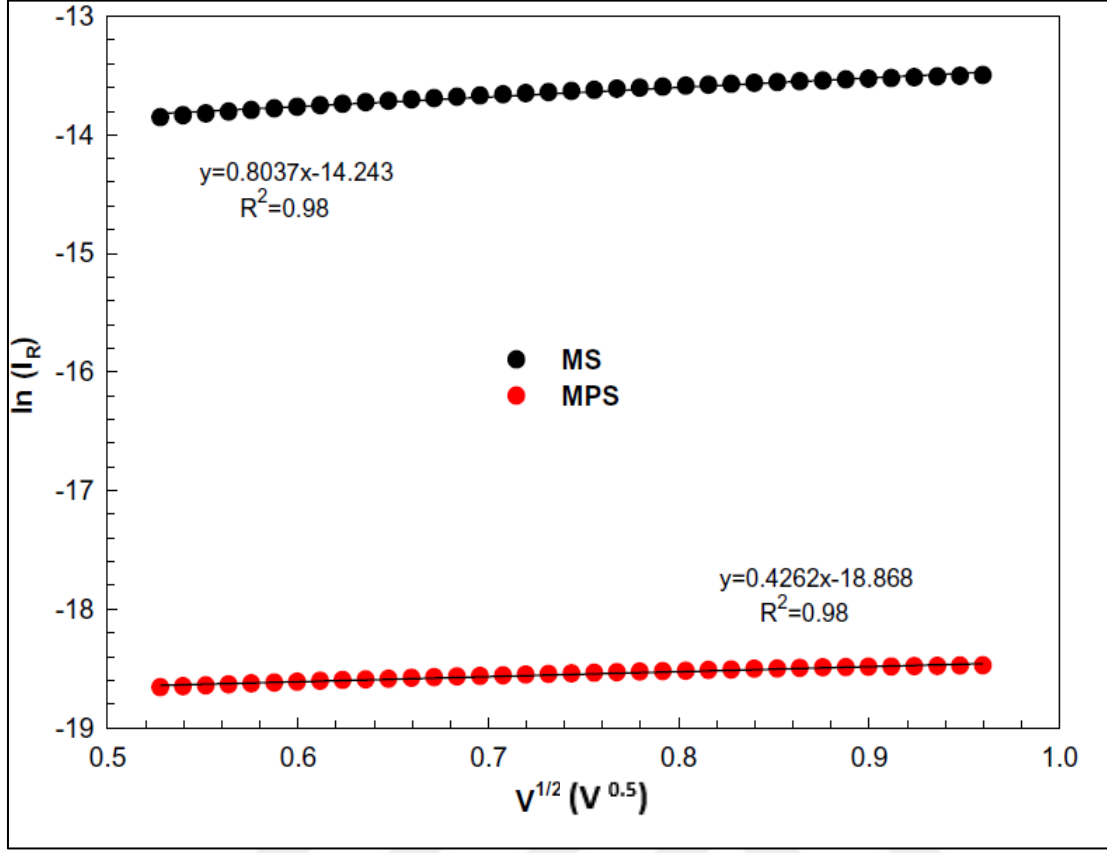
$$I_R = I_0 \exp \left(\frac{\beta_{PF} V^{1/2}}{kT d^{1/2}} \right) \quad (5.9)$$

$$I_R = I_0 \exp \left(\frac{\beta_{SC} V^{1/2}}{kT d^{1/2}} \right) \quad (5.10)$$

şeklinde hesaplanabilir. β_{PF} PF alan düşürme katsayısı, β_{SC} SE alan düşürme katsayısıdır. d : arayüzey kalınlığıdır.

$$\beta_{PF} = \left(\frac{q^3}{\pi \epsilon_0 \epsilon_i} \right)^{1/2} = 2\beta_{SC} \quad (5.11)$$

ϵ_i : arayüzey tabaka dielektrik sabitidir. Denklemden de görüldüğü gibi β_{PF} ; β_{SC} 'nin iki katıdır. β_{PF} ; β_{SC} 'nin teorik değerleri sırasıyla MS yapısı için $3.89 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ ve $1.95 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ ve MPS yapısı için $2.53 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ ve $1.26 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ bulunmuştur. Grafiğe baktığımızda $\ln (IR)$ - $\ln (V_R^{0.5})$ eğrilerinin iyi bir lineer davranış sergilediği görülür. Alan düşürme katsayısı grafikten MS için $1.32 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ ve MPS için $2.32 \times 10^{-5} \text{ eV}^{-1} \text{ m}^{1/2} \text{ V}^{1/2}$ elde edilmiştir. MS diyot için baskın iletim mekanizması SE dir. Çünkü deneysel alan düşürme katsayısı β_{SC} teorik değerine çok yakındır. MPS yapısı için akım iletim mekanizması PF'dir. Çünkü deneysel alan düşürme katsayısı β_{PF} teorik değerine çok yakındır.



Şekil 4.6. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapının $\ln(I_R)$ - $V^{0.5}$ grafiği

Schottky diyotların performansları üzerinde arayüzey durumları (N_{ss}) çok etkilidir. N_{ss} 'in gerilime bağlı profilleri I-V verileri kullanılarak Eş.5.12-Eş.5.15 yardımıyla bulunabilir. [28].

$$n(V) = \left(\frac{q}{kT}\right) \left(\frac{V - IR_S}{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)}\right) \quad (5.12)$$

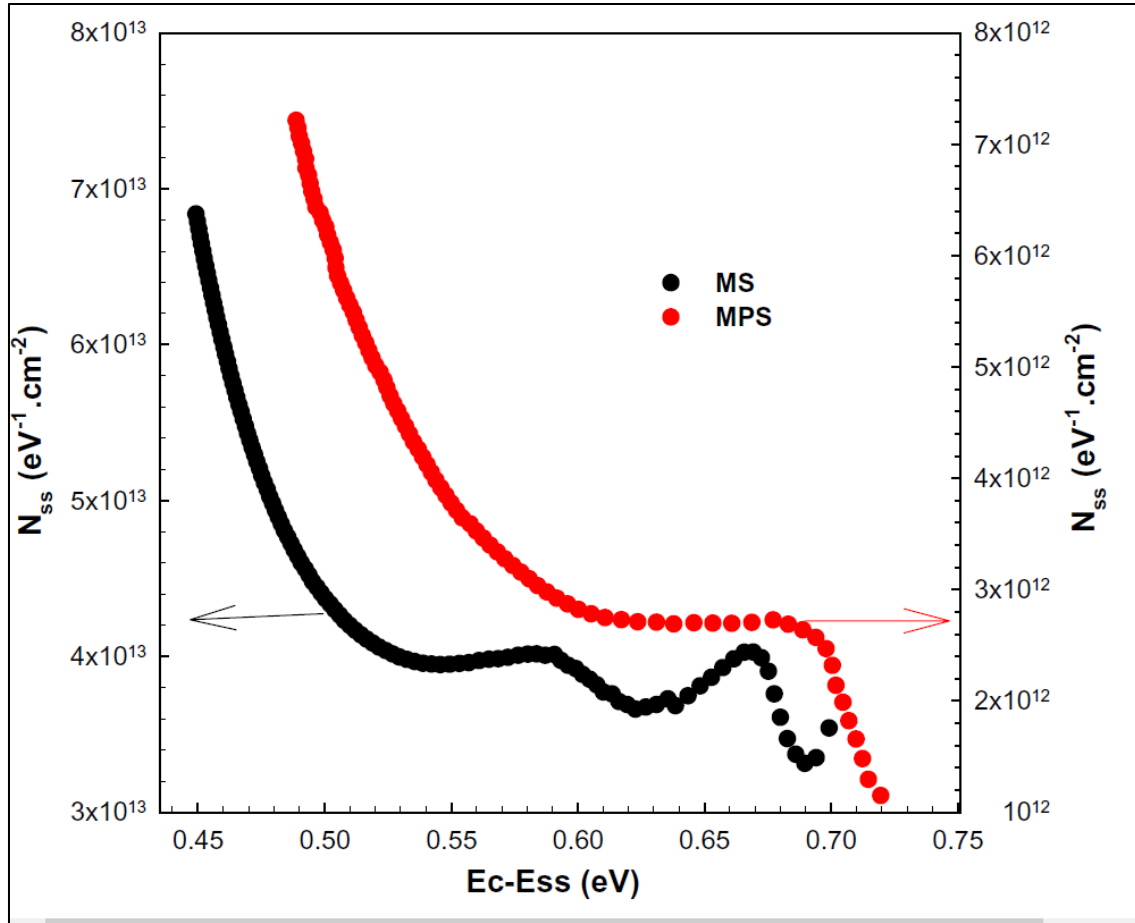
$$\Phi_e = \Phi_{B0} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right)(V - IR_S) \quad (5.13)$$

$$E_C - E_{SS} = q(\Phi_e - V) \quad (5.14)$$

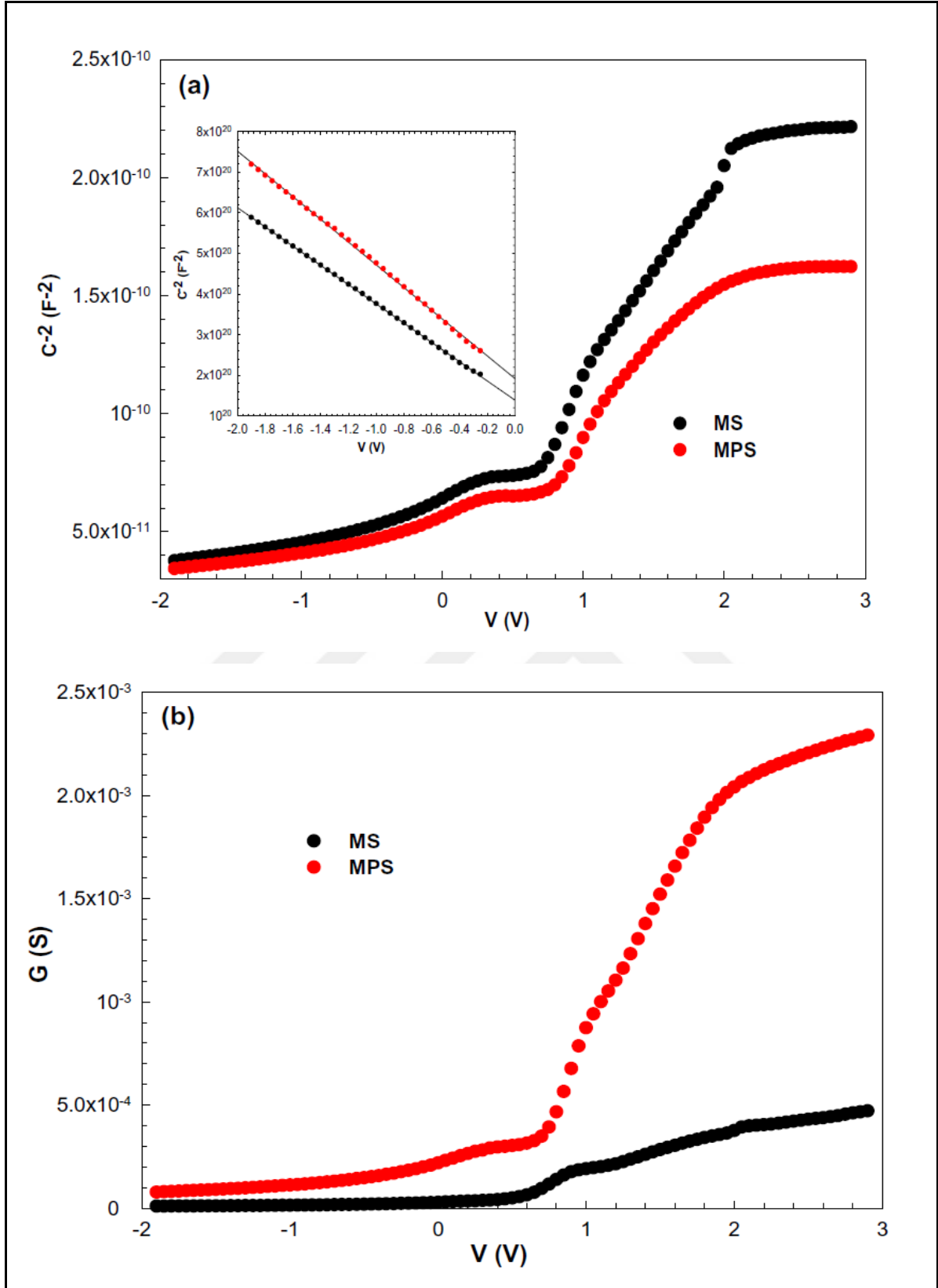
$$N_{SS}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (5.15)$$

Eş. 5.15'te (δ), ϵ_i , ara katmanın geçirgenliğidir, δ ara tabakanın kalınlığı, ϵ_s yarı iletkenin geçirgenliğidir ve W_D , depleasyon bölgesi genişliğidir.

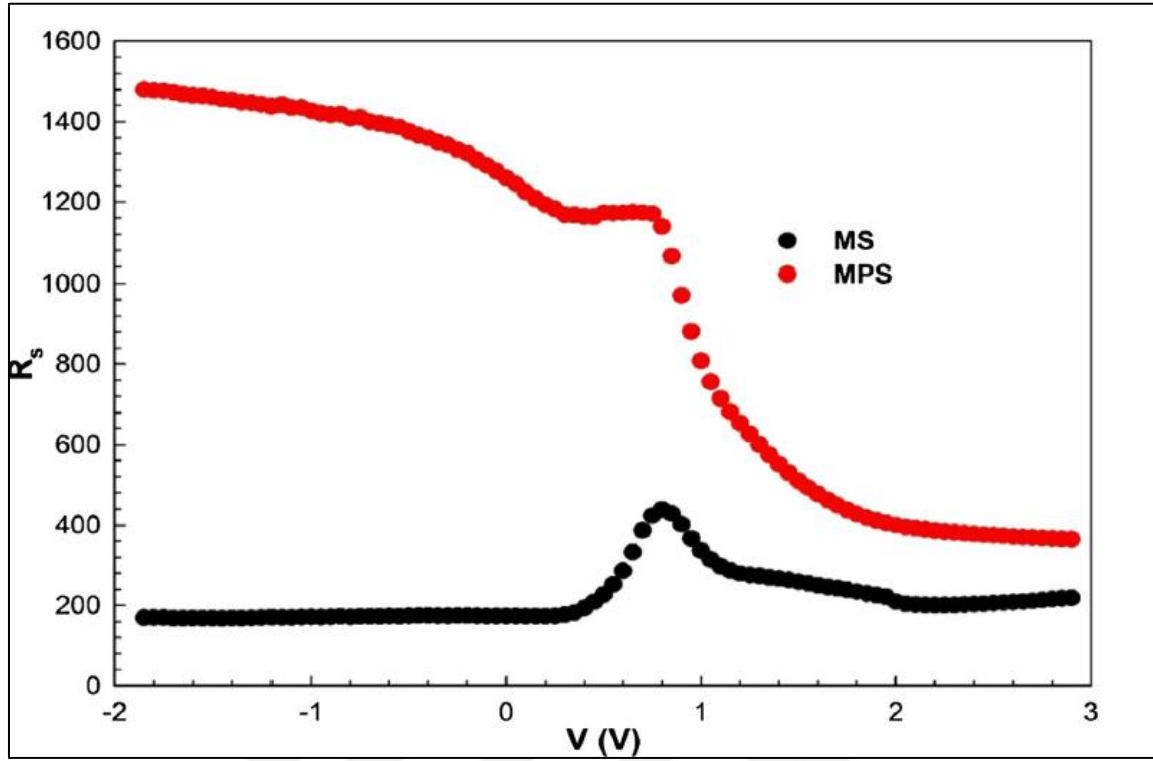
δ değeri SiO_2 ve MgO (PVP) için 1 MHz de sırasıyla $(CI\epsilon\epsilon oA/\delta)$ yardımıyla 3 nm ve 80 nm hesaplandı. [41]. Öte yandan W_D değeri 1 MHz de C^{-2} -V eğiminden MS için $9,59 \times 10^{-5}$ cm MPS için $1,15 \times 10^{-4}$ cm hesaplandı. Grafik 4.7 de görülebileceği gibi MPS nin N_{ss} değerleri 0,70 eV'dan sonra MgO -PVP ara katmanı doygunluğundan ve yüksek dielektrik sabitinden dolayı MS N_{ss} değerlerinden düşük hale gelir. N_{ss} değeri artan arayüzey tabaka kalınlığı (W_D) ve düşük idealite faktörü ile azalır.



Şekil 4.7. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının N_{ss} - E_c - E_{ss} grafiği



Şekil 4.8. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının (a) C^2 -V (b) G-V grafiği



Şekil 4.9. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının R_s -V grafiği

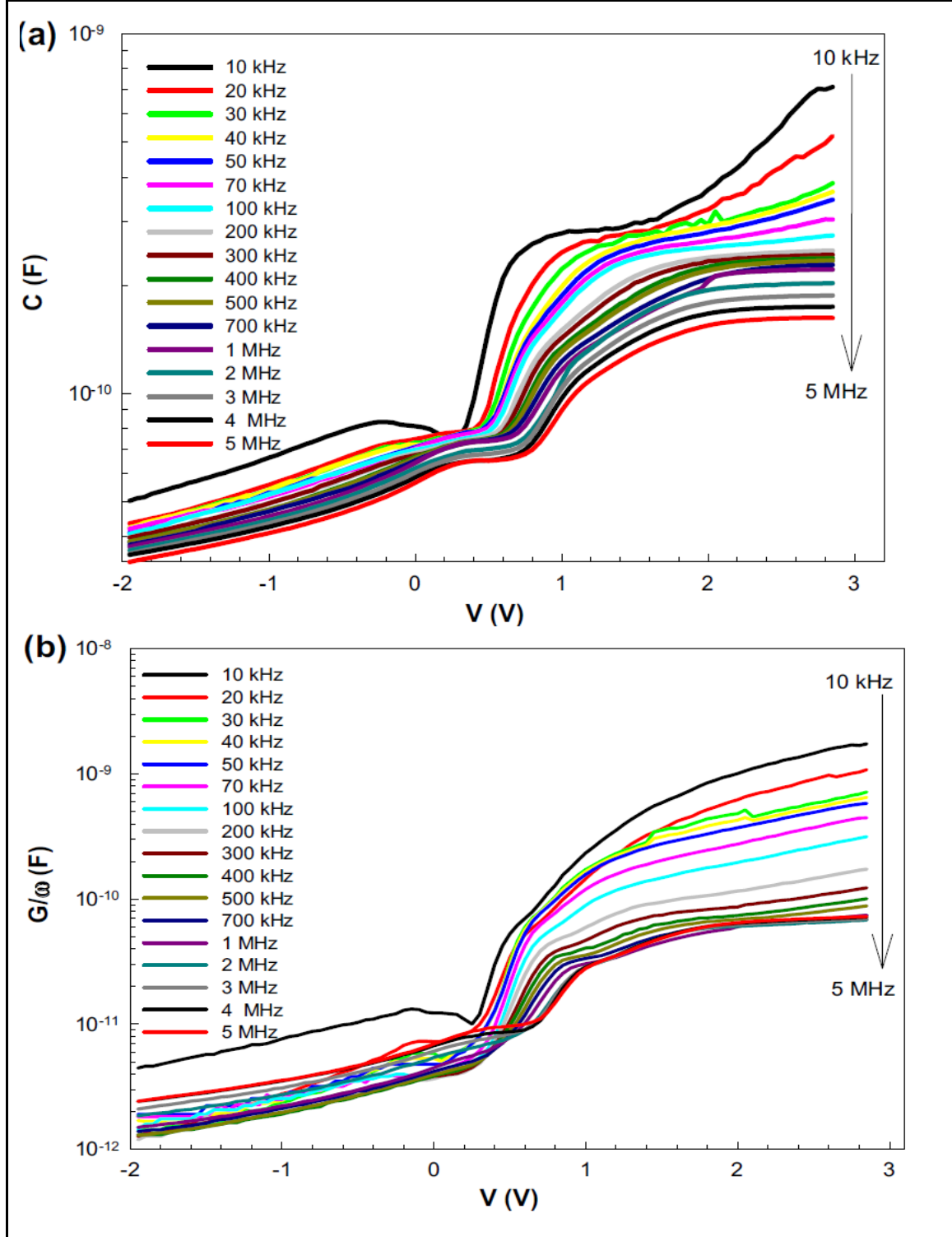
1 MHz’de MS ve MPS yapılar için C-V, G/w-V eğrileri şekilde verilmiştir. Bu eğrilere göre metal-MIS/MOS yapılar gibi inversiyon, deplesyon ve akümülyasyondan oluşan 3 bölge görülmektedir. Hem C hem de G/w eğrilerinin inversiyon ve akümülyasyon bölgelerinde neredeyse sabit olduğunu görüyoruz. Fakat M/S arayüzündeki ara katman ve arayüzey durumlarının olmasından dolayı MIS/MOS yapının deplesyon bölgesi değişmiştir. Akümülyasyon bölgesindeki G/w-V grafiklerindeki iç bükey eğrilik R_s ve akümülyasyon bölgesindeki ara katmanın etkisi ile oluşur. Bu nedenle Schottky diyotlar için R_s çok önemli bir parametredir. Nicollian ve Brews’e göre R_i ’nin voltaja bağlı profili C-V ve G/w-V verileri kullanılarak aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$R_i = \frac{G_m}{G_m^2 + (wC_m)^2} \quad (5.16)$$

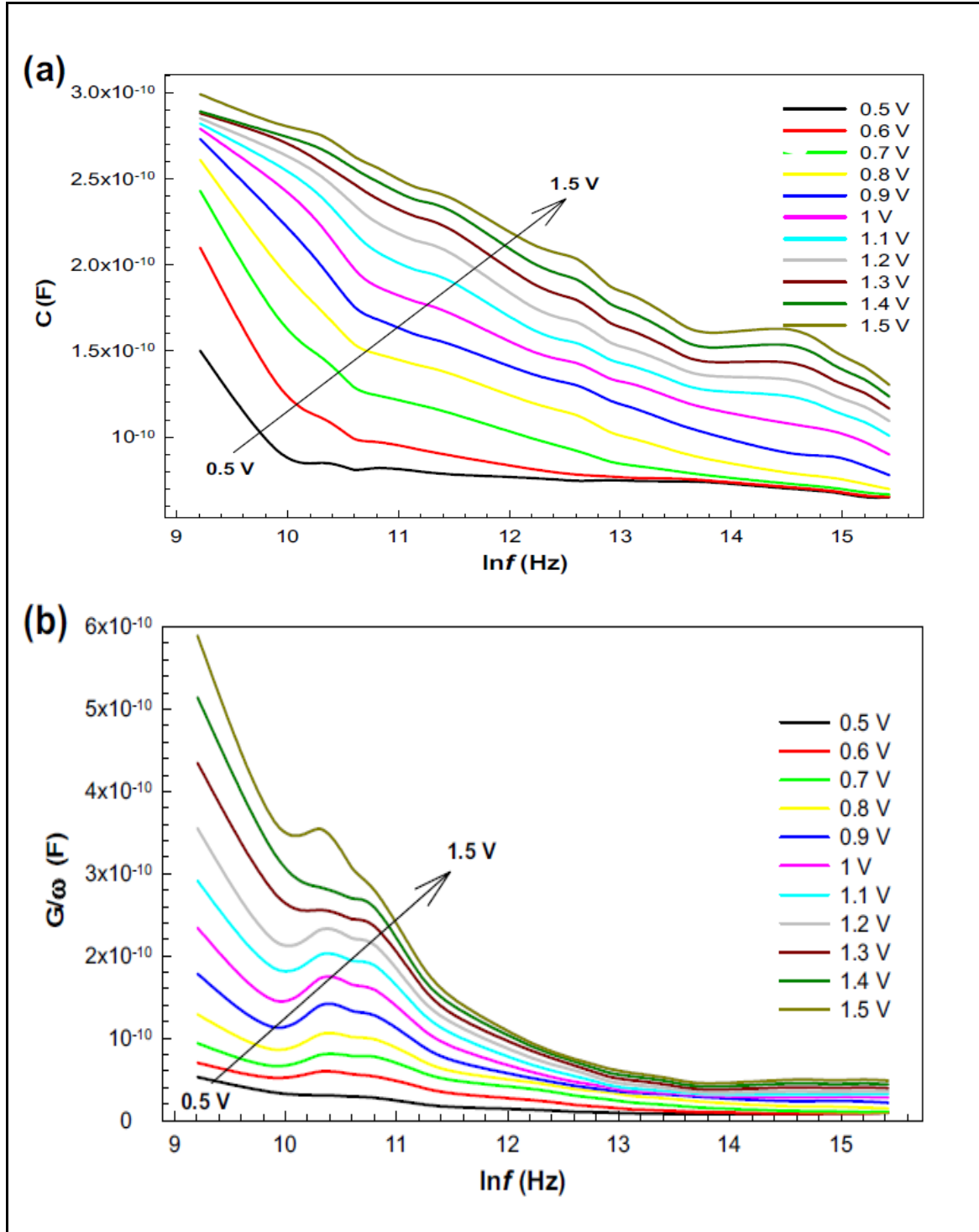
R_i -V eğrileri her iki diyot için de grafikte ve 3V da R_s ’nin değeri de çizelge de verilmiştir.

Yapının C-V-f ve G/w-V-f ölçümleri geniş bir frekans aralığında gerçekleştirildi. (10 kHz-5Mhz) Bu ölçümlere ait grafikler Şekil 5.9 (a) ve (b) de verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere hem C-V hem G/w-V eğrilerinin her frekans için sırasıyla üç bölgesi de görülmektedir. Terslenim (inversiyon) bölgesi -2 ve 0,2 Volt aralığında, tüketim

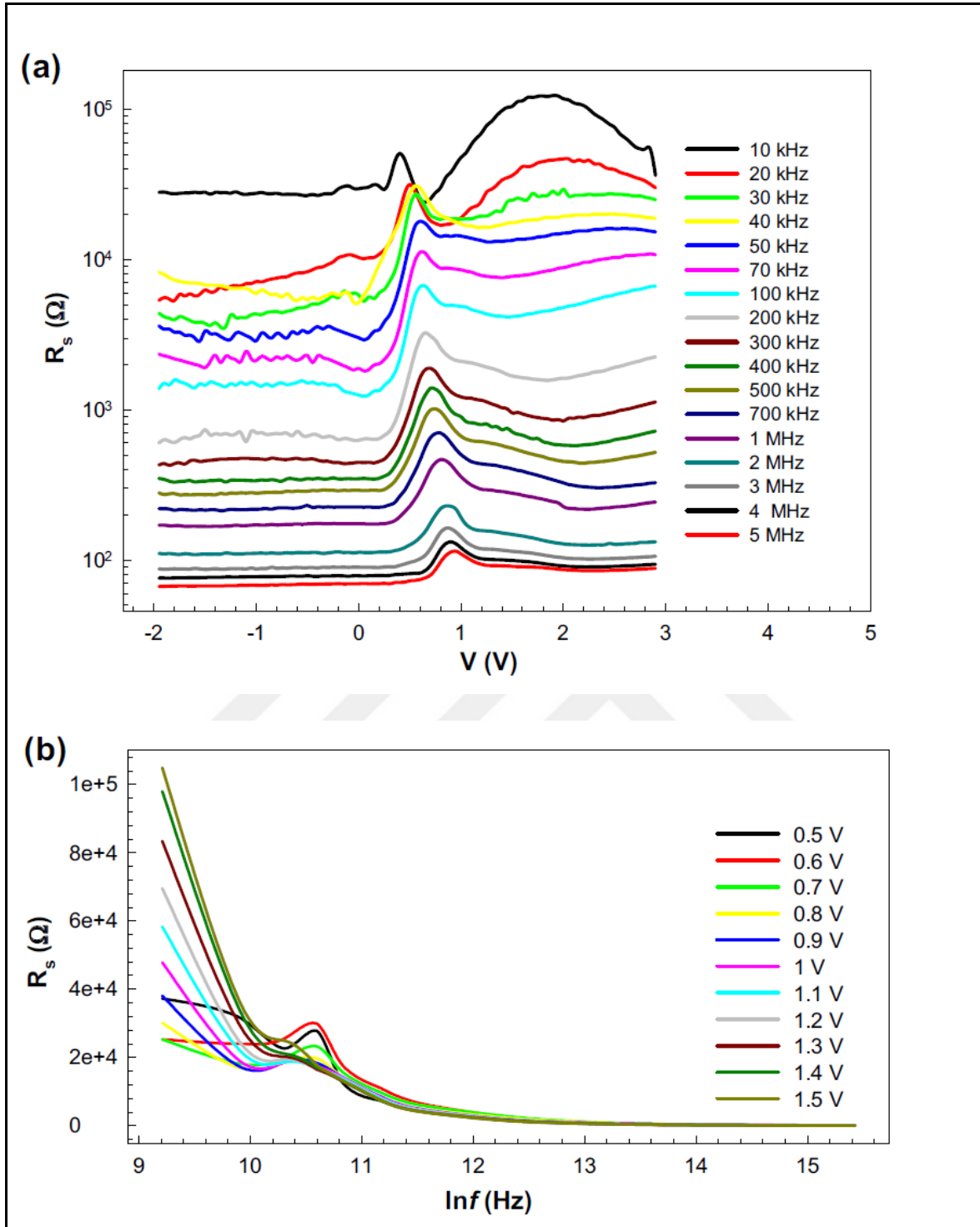
(depleasyon) bölgesi 0,2 ve 1.8 Volt aralığında yığılma (akümülayon) bölgesi ise 1,8-3 Volt aralığında görülebilir. Bunlara ek olarak akümülayon bölgesinde iç bükey bir eğri ortaya çıkar.



Şekil 4.10. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C-V (a) ve G/w -V(b) grafiği



Şekil 4.11. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C - $\ln f$ (a) ve G/ω - $\ln f$ (b) grafiği



Şekil 4.12. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının R_s -V (a), R_s - $\ln f$ (b) grafiği

Ölçülen C ve G/w değerlerinin büyük ölçüde gerilime ve frekansa bağlı olduğu bu durum özellikle deplesyon bölgesinde arayüzey durumları ve bunların ömürlerine bağlı arayüzey dipol kutuplanması ve yapının seri direncine (R_s) atfedilebilir. Ayrıca şekilde görülebileceği gibi C ve G/w değerleri artan frekansla azalır. Çünkü N_{ss} yüksek frekanslarda ac sinyali takip edemez. Bu nedenle bu durumların C ve G değerine katkısı

artan frekansla kademeli olarak azalır. Ayrıca yine zamandan dolayı dipoller yüksek frekanslarda yönelimlerini yapamaz. [28,49,55]. Böylece, C ve G / ω değerleri yüksek frekanslarda ideal duruma yakındır. Özellikle C-V grafiklerinin tükenim bölgesinde düşük frekanslarda gözlemlenen belirgin pik tutarsızlığı arayüzey durumları ve onların yaşam ömürlerine bağlanır. [28,49,55-58].

N_{ss} ve R_s yapılar için önemli parametrelerdir. Çünkü bu parametreler ideal durumdan sapmalara neden olurlar. R_s genellikle yarıiletkendeki düzensiz katkı atomları, omik ve doğrultucu kontak direnci, gümüş pasta ya da iletken kablodan dolayı oluşur. R_s değeri aygıtın C-V ve G/w -V karakteristikleri veya MIS/MPS tipi yapının elektrik dielektrik özelliklerinde hatalı sonuç bulunmasına sebep olabilir. Ancak R_s nin etkileri düşük frekanslarda ($f \leq 10$ kHz) ölçümler yapılarak veya yüksek frekanslar için C ve G/w değerlerine bir düzeltme/ayarlama uygulanarak minimuma indirilebilir. R_s değerini bulabilmek için pek çok yöntemden yararlanılabilir. Ohm Yasası, Norde ve Cheung Fonksiyonları, Kondüktans veya Admittans yöntemleri bunlar arasında sayılabilir. Bunların arasında en doğru ve güvenilir olan Nicollian ve Brews tarafından önerilen sonuncu yöntemdir. [28,55-56]. Bu yöntem diyotun ölçülen aralıkta R_i değerinin de belirlenmesini sağlar. Bu yöntemde göre R_s 'nin gerçek değeri güçlü akümülayon bölgesine karşılık gelir ve gerilimin fonksiyonu olarak hesaplanabilir. [56].

$$R_i = \frac{G_{mi}}{G_{mi}^2 + (\omega C_{mi})^2} \quad (5.17)$$

C_{mi} : Herhangi bir öngerilimde ölçülen C

G_{mi} : Herhangi bir öngerilimde ölçülen G

ω : Açısal frekans ($2\pi f$)

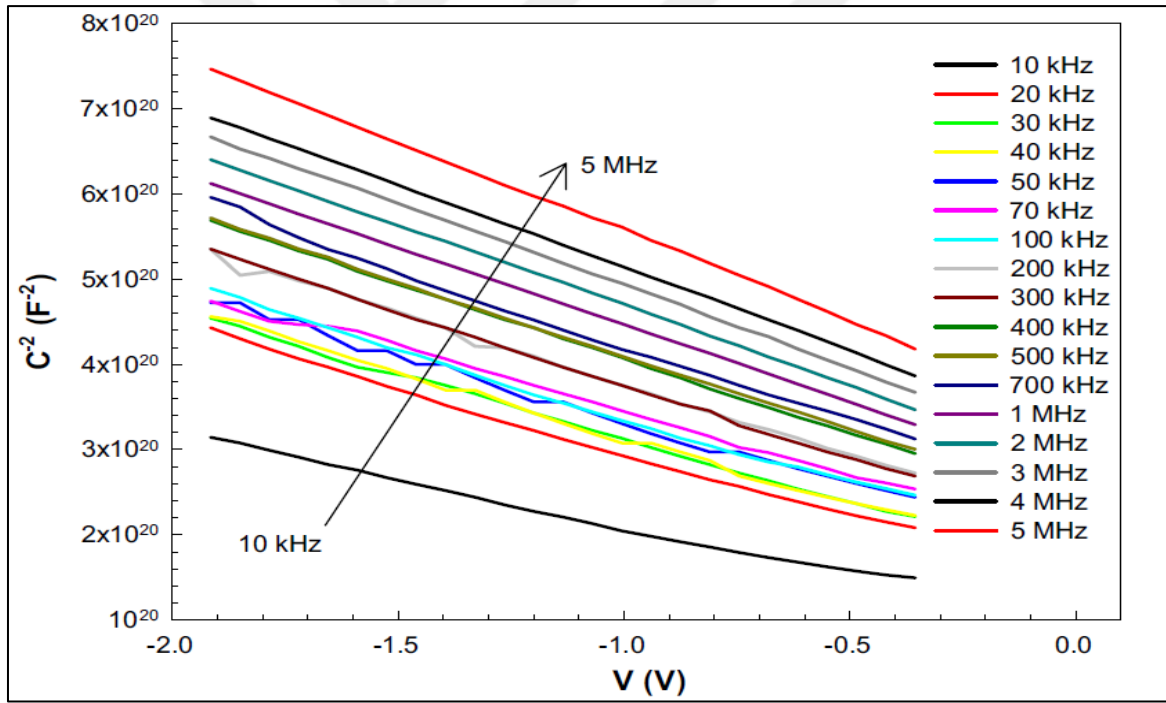
Eşitlik yardımıyla hesaplanan R_i değerlerinin profili şekilde görülmektedir. MgO-PVP/n-Si eklemine 0-1 V arasında N_{ss} özelliğinden dolayı pik görülür ve artan frekansla R_i değeri azalır. Özellikle MPS diyot için inversiyon ve akümülayon bölgelerinde voltaja bağlı direnç (R_i) neredeyse sabittir. Böylece akümülayon bölgesinde yüksek frekanslarda ve yüksek voltajlarda R_s nin gerçek değeri R_i ye karşılık gelir. N_{ss} frekansa bağlı profili Hill-Coleman metodu ile bulunabilir. [57].

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \left[\frac{\left(\frac{G_m}{w} \right)_{max}}{\left(\frac{G_m}{w} \right)_{max}^2 + \left(1 - \frac{C_m}{C_i} \right)^2} \right] \quad (5.18)$$

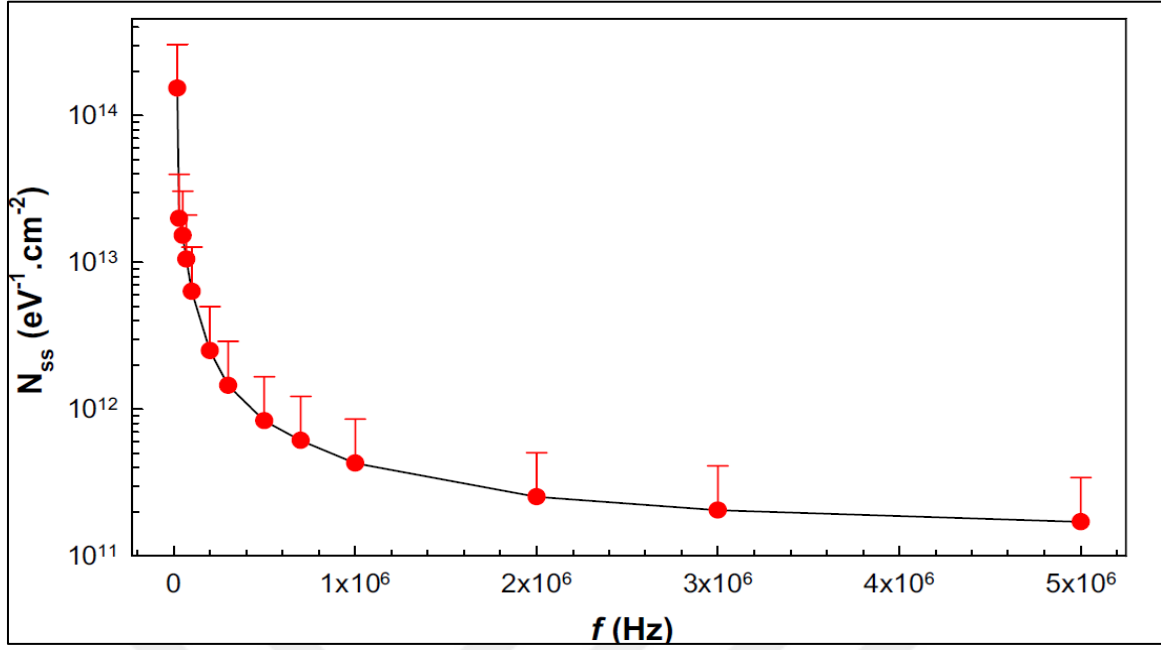
Denklemden C_i ve $(G/w)_{max}$ değerleri arayüzey kapasitansı ve iletkenliğidir. Kuvvetli yığılma bölgesindeki kapasitans ve iletkenlik ölçümlerinden kapasitansın maksimum değeri ve bu değerin karşılığı olan iletkenlik olarak ifade edilebilir. [28].

$$C_i = C_{ma} \left(1 + \left(\frac{G_{ma}}{wC_{ma}} \right)^2 \right) \quad (5.19)$$

Au/(MgOPVP) için N_{ss} frekans dağılımı Eş. 5.18 kullanılarak hesaplanmıştır. Ve eğrisi Şekil 4.14' de gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere N_{ss} değerleri artan frekansla üssel olarak azalır.



Şekil 4.13. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının C^{-2} -V grafiği



Şekil 4.14. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının Nss-f grafiği

Metal yarıiletken yapılarda arayüzey olmasa da temel elektronik parametreler C^{-2} -V grafiğindeki eğim ve kesişmeden hesaplanabilir. Şekil 5.13'den de görülebileceği gibi bu grafikler her frekans için geniş voltaj aralığında doğrusaldır. C ve V arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilir. [56-58].

$$C^{-2} = \frac{2(V_D - \frac{kT}{q} - V)}{q\epsilon_s\epsilon_0 N_D A^2} \quad (5.20)$$

Burada ϵ_s : yarıiletkenin geçirgenliğidir. (Si için $=11.8 \epsilon_0$)

N_D : Verici katkı atomlarıdır. V_0 , N_d , E_F , W_d ve ϕ_B (C-V) değerleri Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için frekansa bağlı elde edilerek Çizelge 5.2'de verilmiştir.

$$V_D = V_0 + \frac{kT}{q} \quad (5.21)$$

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_C}{N_D}\right) \quad (5.22)$$

$$E_M = \left[\frac{2qN_D V_0}{\epsilon_s \epsilon_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.23)$$

$$\Delta\Phi_B = \left[\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.24)$$

$$\Phi_{B(C-V)} = V_D + E_F - \Delta\Phi_B \quad (5.25)$$

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_s\epsilon_0 V_D}{qN_D}} \quad (5.26)$$

Çizelge 4.2. Au/(MgO-PVP)-n tipi Si (MPS) Yapının çeşitli frekanslar için hesaplanan V_D , N_D , E_F , E_m , Φ_B ve W_D değerleri

f (kHz)	V_D (eV)	N_D (cm^{-3})	E_F (eV)	E_m (V/cm)	$\Delta\Phi_B$ (eV)	Φ_B (eV)	W_D (cm)
10	0.19	1.77×10^{15}	0.242	9.42×10^3	0.011	0.42	3.46×10^{-5}
20	0.24	1.29×10^{15}	0.250	9.10×10^3	0.011	0.47	4.61×10^{-5}
30	0.28	1.27×10^{15}	0.250	1.01×10^4	0.011	0.52	5.17×10^{-5}
40	0.29	1.26×10^{15}	0.250	1.00×10^4	0.011	0.53	5.22×10^{-5}
50	0.33	1.25×10^{15}	0.251	1.07×10^4	0.011	0.57	5.63×10^{-5}
70	0.36	1.24×10^{15}	0.251	1.13×10^4	0.012	0.60	5.95×10^{-5}
100	0.36	1.23×10^{15}	0.251	1.13×10^4	0.012	0.60	5.98×10^{-5}
200	0.42	1.18×10^{15}	0.252	1.19×10^4	0.012	0.66	6.58×10^{-5}
300	0.46	1.13×10^{15}	0.253	1.22×10^4	0.012	0.70	7.07×10^{-5}
400	0.47	1.13×10^{15}	0.253	1.24×10^4	0.012	0.71	7.19×10^{-5}
500	0.51	1.12×10^{15}	0.260	1.28×10^4	0.013	0.75	7.51×10^{-5}
700	0.55	1.10×10^{15}	0.261	1.33×10^4	0.013	0.80	7.87×10^{-5}
1000	0.58	1.07×10^{15}	0.261	1.35×10^4	0.013	0.82	8.19×10^{-5}
2000	0.60	1.03×10^{15}	0.263	1.35×10^4	0.013	0.85	8.50×10^{-5}
3000	0.64	1.01×10^{15}	0.256	1.38×10^4	0.013	0.89	8.93×10^{-5}
4000	0.69	9.66×10^{14}	0.257	1.40×10^4	0.013	0.93	9.45×10^{-5}
5000	0.71	9.33×10^{14}	0.265	1.40×10^4	0.013	0.96	9.78×10^{-5}

Şekilde f , N_c iletim bandındaki izinli enerji durum yoğunluğudur. $\Delta\Phi_B$ hayali kuvvet engel düşmesi olarak tanımlanabilir. Çizelge 5.2 'de gösterildiği gibi N_D ve E_m değerleri artan frekansla azalırken W_D ve Φ_B , yüksek frekanslarda polarizasyonun da etkisiyle arayüzey durumlarının azalmasından kaynaklı olarak artar. [28,55-57].

W_D ve Φ_B değerleri artan frekansla artması difüzyon potansiyeli veya kesim noktasındaki artışın bir sonucudur. Yüksek frekanslarda arayüzey durumlarının ve polarizasyonun katkısı çok düşüktür. Bu nedenle C^{-2} - V grafiklerinin kesim noktası düşük frekanslarla kıyaslandığında oldukça yüksektir. Önceki grafiklerden de hatırlanabileceği gibi kapasitans ve iletkenlik değerleri artan frekansla azalır. Düşük ve orta frekanslarda yüksektir. Çünkü

arayüzey durumları ac sinyali kolaylıkla takip edebilir, dipoller alana yönelebilir. Yani düşük-orta frekanslarda yükler polarizasyona katkı sağlar. Bu durum taşıyıcı yüklerin durulma zamanı (τ) ac sinyalin frekansına bağlıdır denilebilir.

Yeterince yüksek frekanslarda tuzaklardaki yüklerin diyot kapasitansına katkı sağlayamamasının nedeni, τ değerinin periyottan küçük olmasıdır ($T=1/f$). Yeterince kalın bir arayüzey tabakasının olması da kesim voltajının büyük olmasına neden olur. Sonuç olarak C'nin değeri frekans, arayüzey tabakası, arayüzey durumları ve onların durulma zamanı, ve dolayısıyla N_D , W_D ve ϕ_B gibi elektriksel parametrelerin C^{-2} -V eğrilerinin değişen frekansın fonksiyonu olarak kesim noktalarına ve eğimine bağlıdır.

4.2. Dielektrik Özellikler

Kompleks dielektrik sabiti, ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$), $\tan\delta$, σ_{ac} , ve kompleks elektrik modülü

($M^* = M' + jM''$) Au/(MgO-PVP) /n-Si (MPS) yapı için geniş bir frekans aralığında (10kHz-5MHz) bulundu.

ϵ^* aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

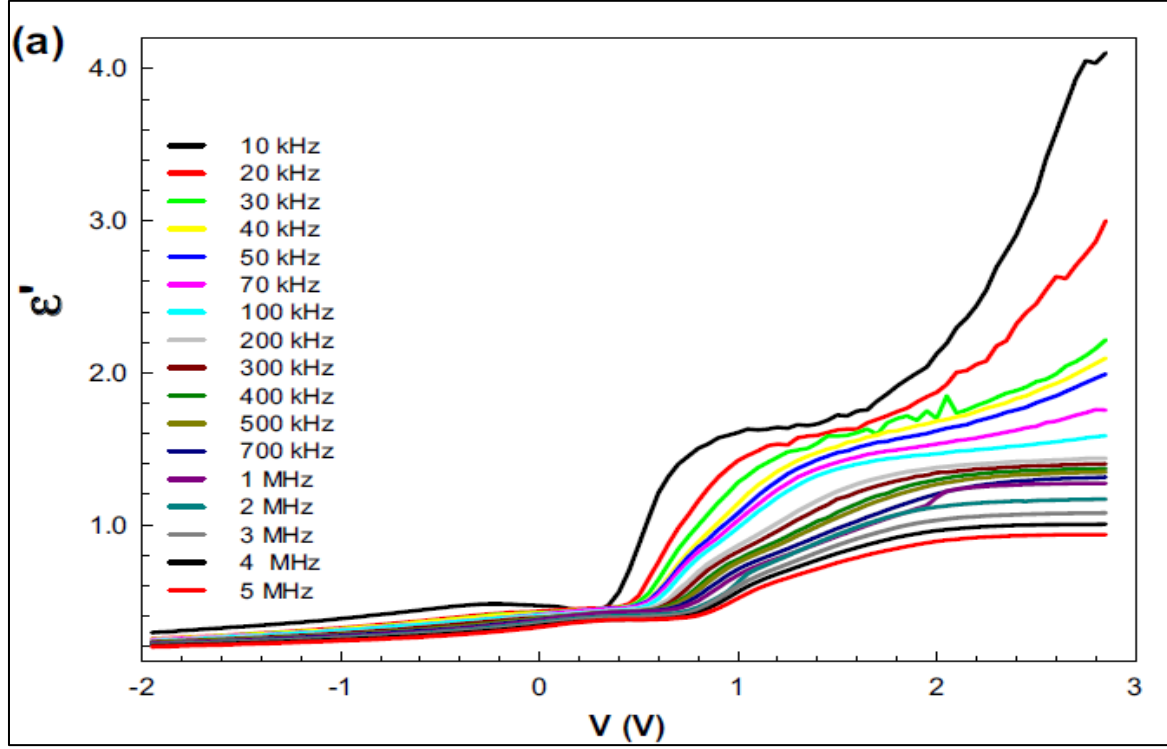
$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' = \frac{Cd_i}{A\epsilon_0} - j\left(\frac{Gd_i}{WA\epsilon_0}\right) \quad (5.27)$$

Denklemden d_i arayüzey tabaka kalınlığıdır. Hem ϵ' hem de ϵ'' , C ve G ölçümleri kullanılarak hesaplanır. Kompleks dielektrik sabitinin imajiner kısmı, yani dielektrik kayıp hem voltaj hem de frekansa karşı davranışı araştırılarak hesaplanmıştır. Dielektrik kayıp değişen dış elektrik alan altında yönelen moleküllerin birbirine sürtünmesi sonucu açığa çıkan enerji başka bir ifadeyle sürtünmeye karşı yapılan iş olarak tanımlanabilir. Molekülün alan yönünü takibi komşu moleküllerle sürtünmelerinden dolayı gecikir. [46].

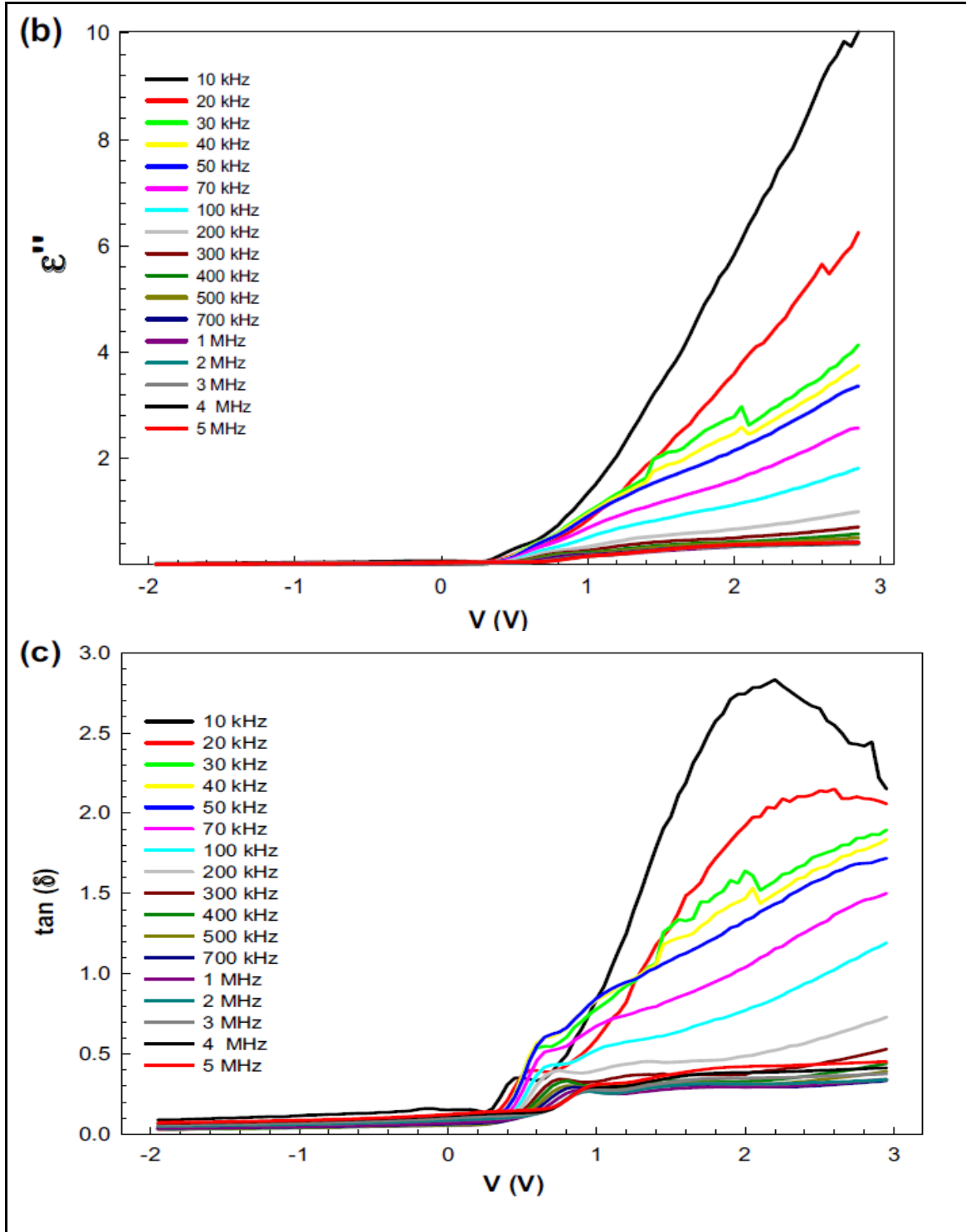
Kayıp açısı $\tan\delta$ 'nın değeri ise ϵ' , ϵ'' kullanılarak hesaplandı.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (5.28)$$

Denklemlerden hesaplanan ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ 'nın değerleri tüm frekanslar için sırasıyla Şekil 4.15'de verilmiştir. Grafiklerde de görüleceği üzere inversiyon bölgesinde neredeyse gerilimden bağımsız ve deplezyon bölgesinden akümülasyon bölgesine kadar artmaya başlar. Düşük ve orta seviye frekanslarda $\tan\delta$ -V grafiklerinde gözlenen geniş pik arayüzey durumları ve durulma süreçlerine atfedilir.



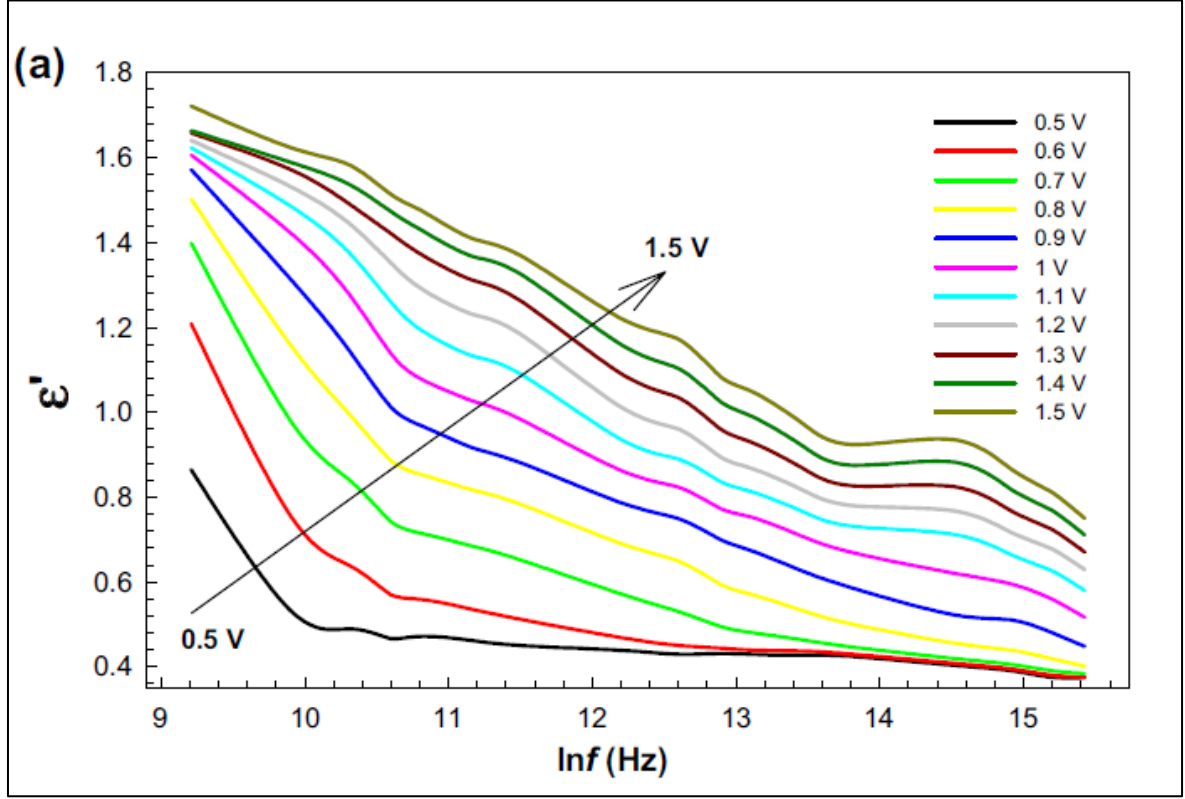
Şekil 4.15. Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' -V, ϵ'' -V, $\tan\delta$ -V grafikleri



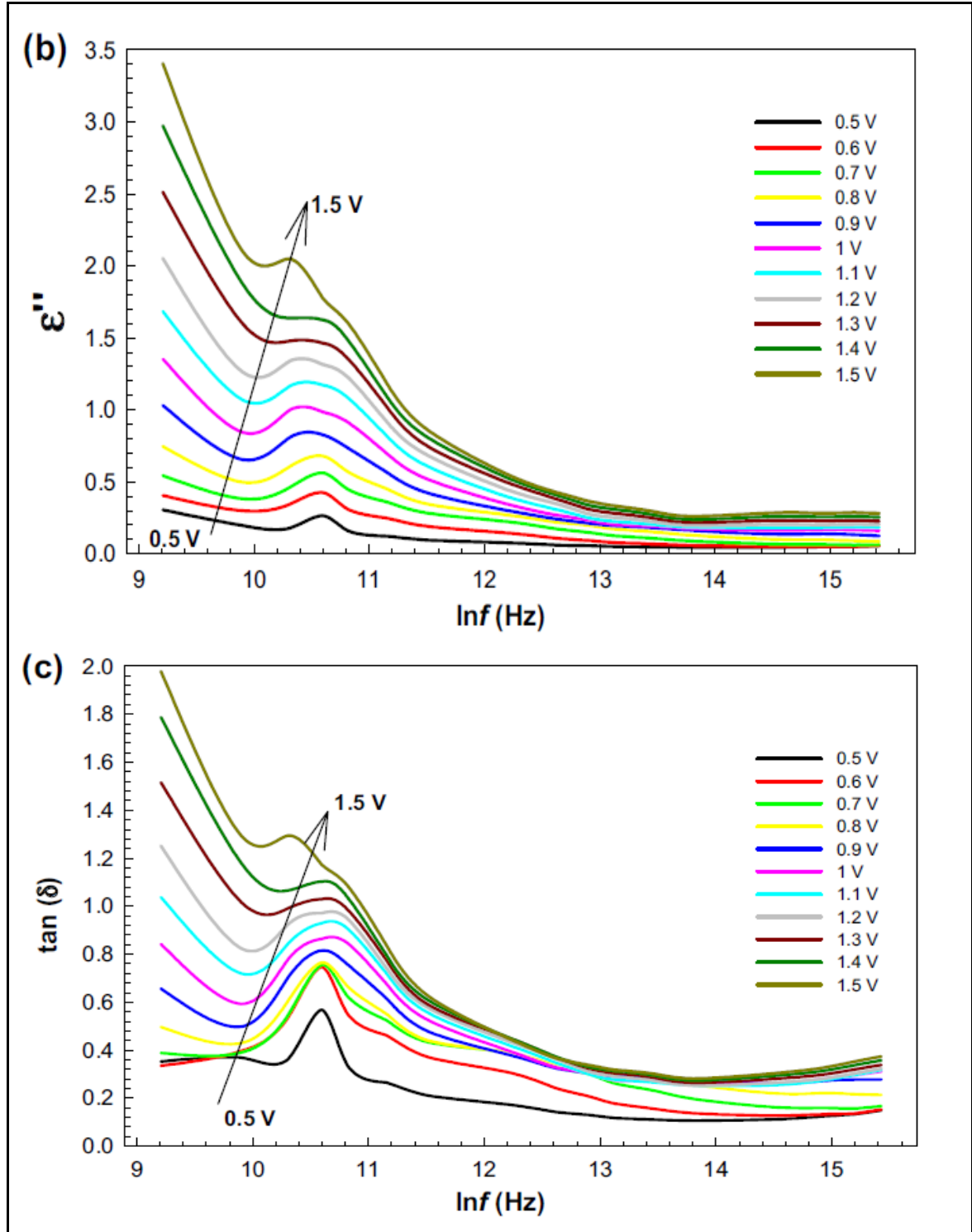
Şekil 4.15. (devam) Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' -V, ϵ'' -V, $\tan \delta$ -V grafikleri

Yapı üzerinde gerilimin etkisini belirlemek amacıyla bu üç parametrenin çeşitli ön gerilimlerde frekansa bağlı grafikleri de çizilmiştir. Bu grafiklerden açıkça görülebileceği gibi polarizasyonun azalmasından dolayı her üç parametre de artan frekansla azalır ve yeterince yüksek frekanslarda neredeyse sabit değer alır. Bu yüksek frekanslarda Nssin katkısı olduğu ve dipol kutuplanmasının çok küçük olduğu anlamına gelir. [47-49]. Başka

bir deyişle elektrik alandaki dipol yönelimlerinin ve arayüzey durumlarının ac sinyalin durulma zamanını takip edemez. Ek olarak dielektrik polimerin içindeki dipoller uygulanan voltaj ya da elektrik alan altında kutuplanma için hazırdır. Yani artan frekans tarafından azalan dielektrik parametreler durulma zamanı ile ilgili sonuçlardır. [63-64].



Şekil 4.16. Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ 'nın frekansa bağlı grafikleri

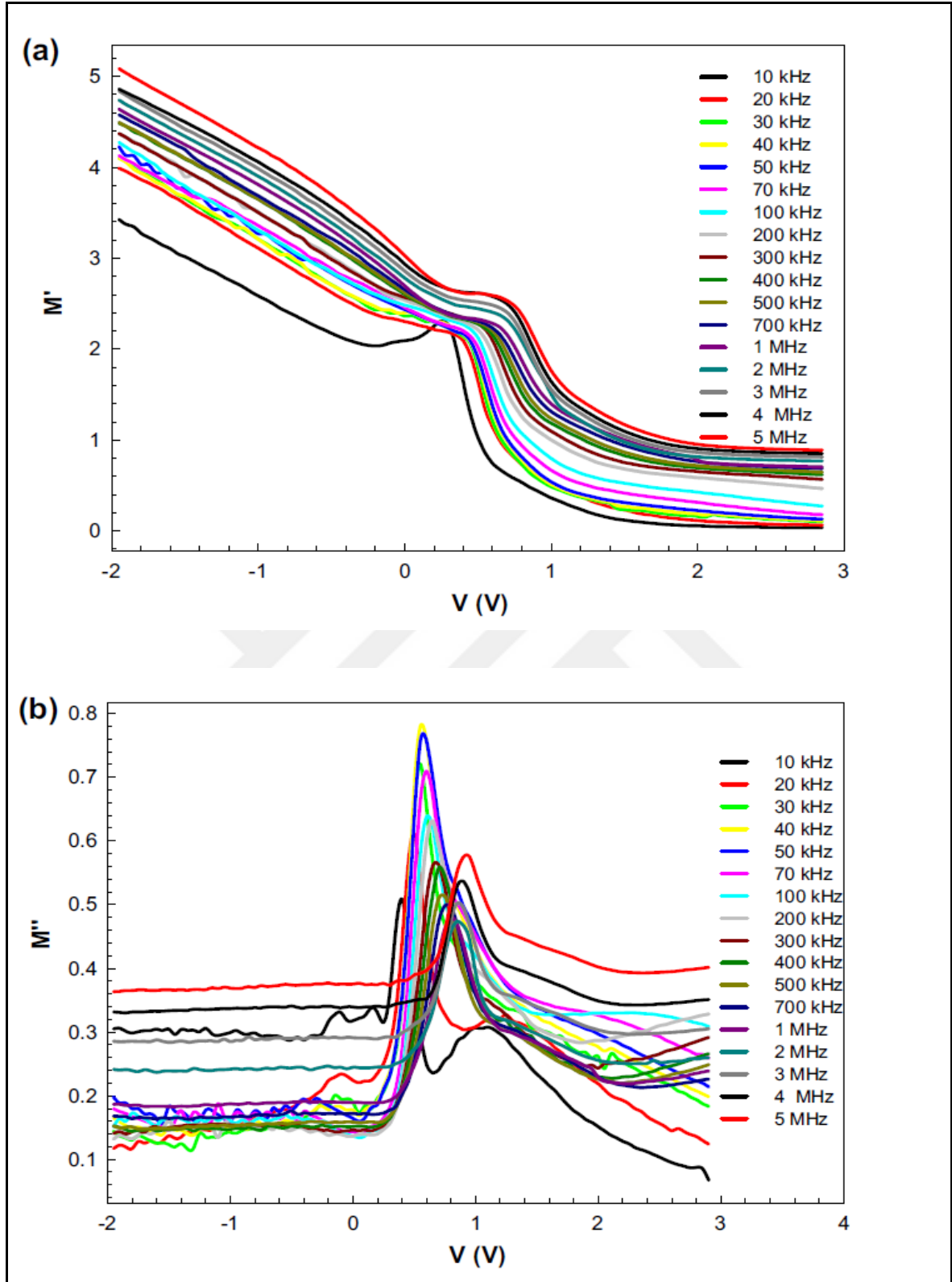


Şekil 4.16. (devam) Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapı için ϵ' , ϵ'' , $\tan \delta$ 'nın frekansa bağlı grafikleri

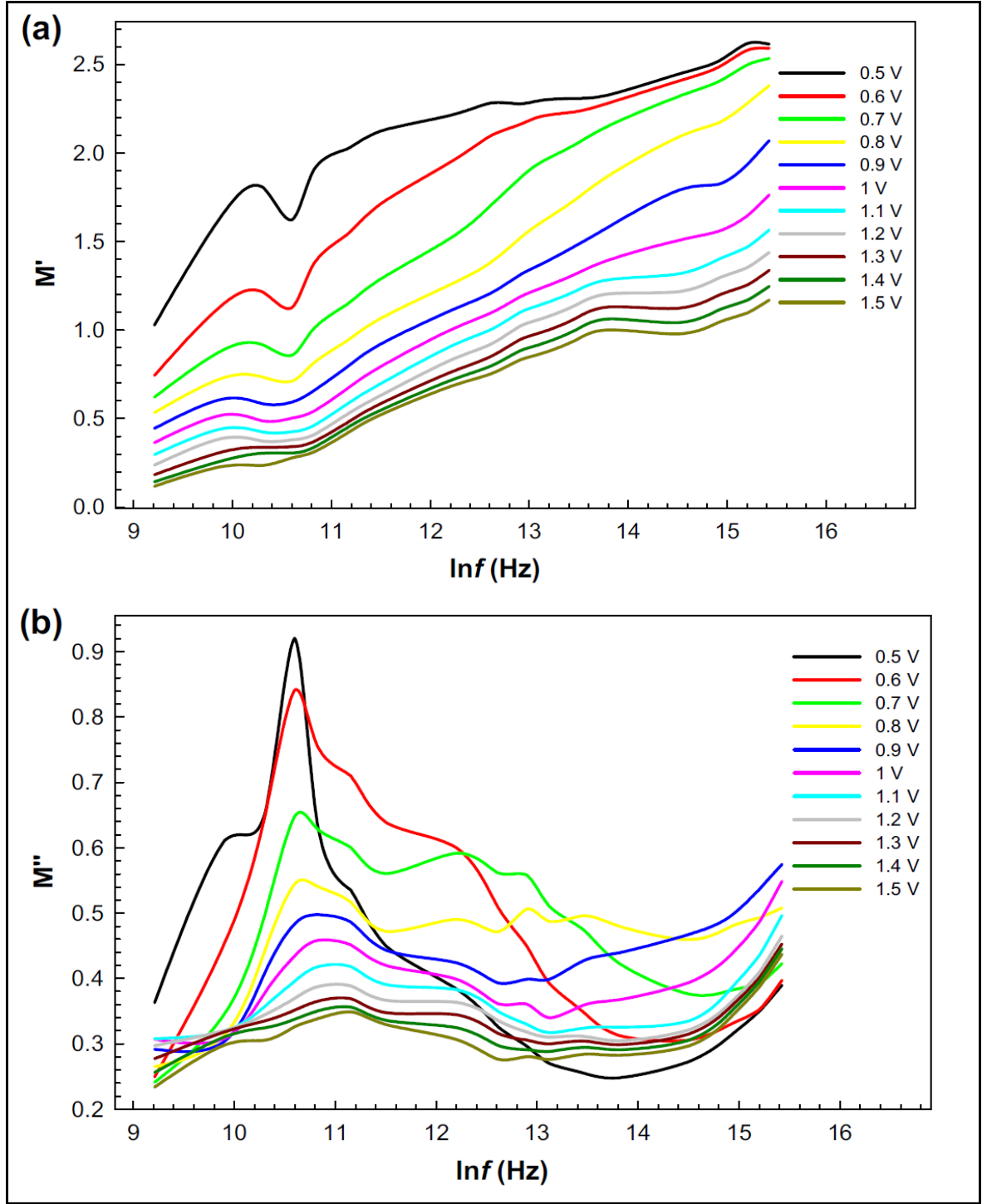
Genel olarak aygıtların dielektrik özellikleri incelenirken elektrik modülüsü ($M^* = M' + jM''$) hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır: [61-63, 65].

$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} = M' + jM'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + \frac{j\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (5.29)$$

M' değeri deplesyon ve inversiyon bölgesinde artan frekansla artarken akümülayon bölgesinde frekans ve voltajdan bağımsızdır. Ancak şekil 4.18 de M'' 'nin inversiyon bölgesinde bir pik noktası görülmektedir ve bu pik artan frekansla pozitif beslem bölgesine doğru kayıyor. Bu durum N_{ss} 'in Au/(MgO-PVP)/n-Si arayüzeyinde özel bir dağılımıdır. Maxwell-Wagner tipi kutuplanma diye adlandırılır. [66-67]. Kısaca, dielektrik özellikler arayüzey tabakası kalınlığı ve homojenliği, kutuplanma süreçleri, arayüzey durumları ve onların yaşam süreleri, frekans, sıcaklık ve dış voltaj/elektrik alan gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu bölgedeki yükler düşük frekanslarda polarizasyon büyüklüğüne de katkıda bulunabilir. [68]. Şekil 4.18'te de görüleceği gibi N_{ss} değerleri özellikle düşük frekanslarda ($f \leq 30 \text{ kHz}$) 3×10^{15} 'den $2 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 'e değişmektedir. Bu Au/(0.07graphene-PVA)/n-Si [69], Au/(Ag₂S-PVA)/n-Si [70], and Au/(F₂O₄-PVP)/n-Si [71] ile yaklaşık bir mertebededir. Ancak ortalama değerlerinden düşüktür. Ek olarak, hesaplanan N_{ss} değerleri aynı zamanda yüksek-düşük frekans, admittans, Hill – Coleman, Card – Rhoderick yöntemleri gibi hesaplama yöntemine de bağlıdır.



Şekil 4.17. Au/(MgOPVP)/n-Si yapı için gerilime bağlı a M' , b M'' eğrileri



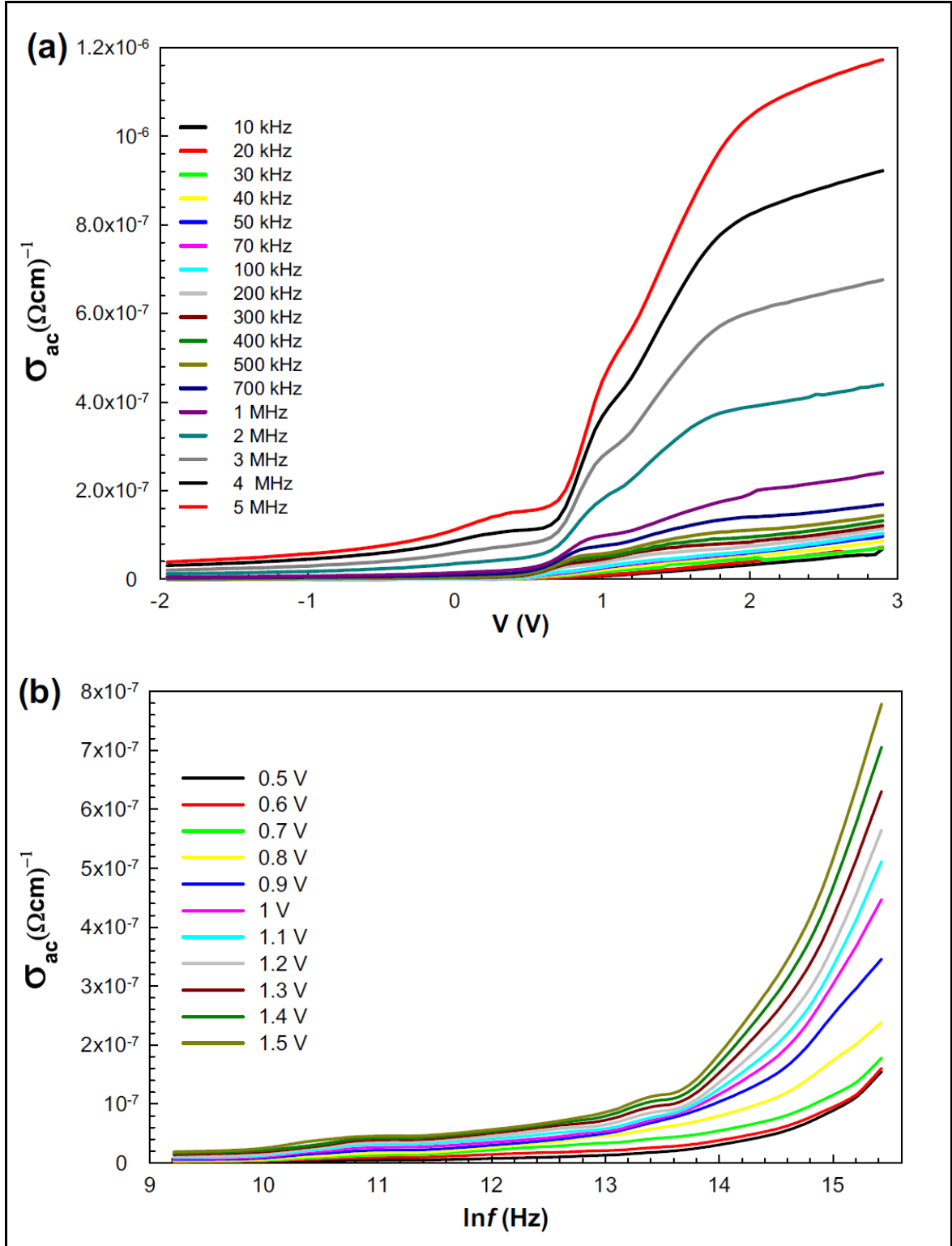
Şekil 4.18. Au/(MgOPVP)/ n-Si yapının frekansa bağlı M' ve M'' eğrileri

M' ve M'' üzerindeki voltaj etkilerini belirlemek için çeşitli öngerilimlerde frekansa bağlı profiller sırasıyla Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere inversiyon ve deplezyon bölgelerinde M' değerleri artan frekansla artmaktadır. Ek olarak her bir frekans için removal elektrot kutuplanması nedeniyle artan voltajla M' azalır. Yüksek frekanslar için M' ve M'' maksimum değerlerine ulaşır. [71]. Ac elektriksel iletkenliği (σ_{ac})

Au/(MgOPVP)/ n-Si yapı için aşağıdaki ifade ile elde edildi ve oda sıcaklığında 5 kHz ile 10 kHz frekans aralığında değerleri Şekil 4.19’da verildi.

$$\sigma_{ac} = \left(\frac{d}{A}\right) w C \tan \delta = \varepsilon'' w \varepsilon_0 \quad (5.30)$$

Şekil 4.19 (a) da σ_{ac} nin artan frekansla artışı yüksek frekanslarda R_s nin azalmasından kaynaklanmaktadır. σ_{ac} inversiyon bölgesinde frekanstan bağımsızdır ve sifıra gider. Şekil 4.19 (b) de özellikle düşük frekanslarda ($f \leq 100 \text{ kHz}$) dc iletkenliğine karşılık gelen değer frekanstan bağımsızdır. Diğer yandan ac iletkenliğin artan frekansla artışı iletim için mobil iyon yoğunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Enerji kaybını ve $\tan \delta$ yı da artıran girdap akımı da σ_{ac} nin artmasına neden olur. σ_{ac} nin bu davranışı R_s nin kademeli olarak azalmasına atfedilir. [72]. Çok yakın zamanda çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda elektrik ve dielektrik parametreler MIS ve MPS yapılarda benzer sonuçlar vererek literatüre girmiştir. [69,73-75]. Tez kapsamında taranan ve yararlanılan diğer çalışmalar da benzer sonuçlar göstermiştir. [75-101].



Şekil 4.19. Au/(MgO-PVP)/n-Si yapıda frekans ve gerilime bağlı σ_{ac} değerleri



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Au/(MgO-PVP)/n-Si (MPS) yapının hem temel elektrik hem de dielektrik parametrelerini geniş bir frekans ve voltaj aralığında inceledik. Amaçlarımızdan birisi hem MS hem de MPS yapı için elektriksel parametrelerin karşılaştırılması böylece aratabakanın avantaj/dezavantajlarını belirlemektir. Bir diğer amacımız temel elektriksel parametreleri standart TE teorisinden, akım gerilim verilerini kullanarak, Norde ve Cheung Fonksiyonlarından yararlanarak elde edip birbirleri ile kıyaslamak olmuştur. Çift logaritmik I-V eğrileri güç yasasına uygun davranış sergilemiştir. ($I \sim V^m$). C^{-2} -V karakteristiklerinden elde edilen Φ_B değeri ileri beslem I-V karakteristiklerinden elde edilenden daha yüksek bulundu. Bu tutarsızlık voltaja bağlılığın bir sonucudur. (MgO-PVP) /n-Si yapının arayüzey durumları ve durulma zamanı da temel elektriksel parametrelerde etkilidir. Bu sonuçlara bakarak MgO PVP ince film ara katmanının ürünün kalitesini ve performansını önemli ölçüde etkilediğini söyleyebiliriz. Ayrıca voltaja bağlı N_{ss} ve R_s değerleri Hill-Coleman ve Nicollian Brews yöntemleri ile 10kHz-5 MHz aralığında bulundu.

C ve G/w değerlerinin N_{ss} ile ilgili dağılımı durulma/yaşam süreleri (τ), R_s , kutuplanma süreçleri ve MgO (PVP) organik ara katmanı ile ilişkilidir. Hem N_{ss} hem de kutuplanma düşük ve orta frekanslarda deplesyon ve inversiyon bölgelerinde daha etkilidir fakat R_s ve arayüzey katmanı özellikle yüksek frekanslarda ve sadece akümüülasyon bölgesinde etkilidir.

V_D , verici katkı atomları (N_D), E_F , W_D , Φ_B ve maksimum elektrik alan; (E_m) her bir frekans için C^{-2} -V grafiğinin ileri beslem lineer bölgenin eğim ve kesme noktasından hesaplandı. Bu parametrelerden, N_D ve E_m artan frekansla azalır. W_D ve Φ_B , N_{ss} 'in azalması ve kutuplanma etkileri nedeniyle artar. Hesaplanan ϵ' , ϵ'' , M' , M'' ve σ_{ac} C ve G/w verilerinden frekans ve voltajın fonksiyonu olarak bulundu. M'' -V grafikleri, 0,5-1 V aralığında pik verdi ve bu pikler artan frekansla akümüülasyon bölgesine doğru kaydılar. Metal ve yarıiletken arayüzeyindeki N_{ss} 'in özel bir dağılımı olan bu durum Maxwell-Wagner tipi polarizasyondur. ϵ' değeri 10 kHz de 5.0 bulundu. Bu değer bu frekanstaki yalıtkan tabakalara kıyasla çok yüksektir. Elde edilen bu verilere bağlı olarak üretimi yapılan yapı, Enerji/yük depolama uygulamalarında çok çeşitli kullanım alanına sahip olabilir. Yüksek dielektrik malzemeler, ultra/süper kapasitör üretiminde çok çeşitli yük

enerji depolama uygulamalarında kullanılır. Geleneksel SiO_2 , SnO_2 yalıtkan tabakalar gibi yüksek sıcaklık ve enerji gerektirmez. Tüm bu sonuçlar (MgO-PVP) ara katmanının yalıtkan tabaka yerine kullanılmasının avantajlı olduğunu göstermektedir. Tüm bunların yanısıra kolay büyütme aşamaları, düşük maliyet, esneklik ve yüksek mekanik gücünden dolayı da başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Sonraki aşamalarda diyotun sıcaklığa, ışığa, radyasyona bağlı elektrik-dielektrik özellikleri de incelenebilir.



KAYNAKLAR

1. Seebeck, T.J. (1822). *Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz* (Abhandl). Berlin, Deut Akad Wiss, 265.
2. Faraday, M. (1833). *Experimental Researches in Electricity*. London: Bernard Quaritch, 433.
3. Streetman B. G. and Banerjee S. K. (2014) *Solid State Electronic Devices*. (Çeviri Editörü: Mustafa Merdan). Palme Yayınları (Eserin orijinali 1991’de yayımlandı), 67-68.
4. Schottky, W. (1938). *Halbleitertheorie der Sperrschicht*. Naturwissenschaften, 26,843.
5. Sharma, B. L. (1984). *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. New York:Plenum Press, 1-3.
6. Rhoderick, E. H., and Williams, R. H. (1988). *Metal Semiconductor Contacts*. Oxford: Oxford Press, 257-264.
7. Sze, S. M., and Kwok, K. Ng. (2007). *Physics of Semiconductor Devices* (3rd edition.). New Jersey, John Wiley & Sons, 362-390.
8. Cowley, A.M. and Sze, S.M. (1965). Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems, *Journal of Applied Physics*, 36 (10), 3212-3221.
9. Sevgili, Ö. (2020). *Au/(Ag-ZnO/PVP)/n-Si (MPS) Schottky Engel Diyotların Hazırlanması ve Elektrik ile Dielektrik Özelliklerinin Frekans ve Voltaja Bağlı İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
10. Alialy, S., Altındal, Ş., Tanrikulu, E. E. and Yıldız, D. E. (2014). Analysis of temperature dependent current-conduction mechanisms in Au/TiO₂/n-4H-SiC (metal/insulator/ semiconductor) type Schottky barrier diodes. *Journal of Applied Physics*, 116, 083709-9.
11. Crowell, C. R. (1977). The physical significance of To anomalies in Schottky barriers, *Solid-State Electronics*, 20(3), 171-175.
12. Pakma, O., Serin, N., Serin, T. and Altındal, Ş.(2008). The double Gaussian distribution of barrier heights in Al/TiO₂/p-Si (metal-insulator-semiconductor) structures at low temperatures. *Journal of Applied Physics*, 104(1), 014501-6.
13. Horvarth, Z. J. (1996). Analysis of I-V measurements on CrSi₂-Si Schottky structures in a wide temperature range -Comment. *Solid-State Electronics*, 39(1), 176-178.
14. Tecimer, H., Türüt, A., Uslu, H., Altındal, Ş. and Uslu, I. (2013). Temperature dependent current-transport mechanism in Au/(Zn-doped) PVA/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs). *Sensors & Actuators A: Physical*, 199(1), 194-201.

15. Bannov, N., Aristov, V., Mitin, V., Schmitsdorf, R. E., Kampen, T. U., Mönch, W. and Schmitsdorf, R. F. (1995). Correlation between barrier height and interface structure of Ag/Si(111) Schottky diodes. *Surface Science*, 324(2), 249-256.
16. Ejderha, K., Yıldırım, N., Abay, B. and Turut, A. (2009). Examination by interfacial layer and inhomogeneous barrier height model of temperature-dependent I-V characteristics in Co/p-InP contacts. *Journal of Alloys and Compounds*, 484(1-2), 870-876.
17. Karataş, Ş., and Altındal, Ş. (2005). Analysis of I-V characteristics on Au/n-type GaAs Schottky structures in wide temperature range. *Materials Science and Engineering: B*, 122, 133-139.
18. Kampen, T. U., Park, S. and Zahn, D.R.T. (2002). Barrier height engineering of Ag/GaAs (100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. *Applied Surface Science*, 190(1), 461-466.
19. Vural, O., Safak Y., Turut, A. and Altındal, Ş. (2012). Temperature dependent negative capacitance behavior of Al/rhodamine-101/n-GaAs Schottky barrier diodes and Rseffects on the C-V and G/ω-V characteristics. *Journal of Alloys and Compounds*, 513, 107-111.
20. Gülnahar, M., Efeoğlu, H. (2009). Double barrier nature of Au/p-GaTe Schottky contact: Linearization of Richardson plot. *Solid-State Electronics*, 53(9), 972-978.
21. Song, Y.P., Van Meirhaeghe, R.L., Laflere, W.H. and Cardon, F., (1986) “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), 633-638.
22. Dimitriadis, C.A., Logothetidis, S. and Alexandrou, I., “Schottky barrier contacts of titanium nitride on n-type silicon”, *Applied Physics. Letters*, 66: 502-504 (1995).
23. Yerişkin Altındal S. (2017). *Arayüzey Tabakalı Metal/Yarıiletken (MS) Yapıların Hazırlanması ve Elektriksel ile Dielektrik Özelliklerinin Geniş Frekans ve Voltaj Aralığında İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
24. Güllü Ö., “H₂ Ön Tavlamalı Au/n-GaAs Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Schottky Metal Kalınlığı ve Sıcaklığa Bağlı Değişiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 24-38 (2008).
25. Wittmer, M., Freeouf, J. L., “Schottky Barriers and the Reactivity of The Interface”, *Europhysics Letters*, 26(2), 135-140 (1994).
26. Kaya, A., Alialy, S., Demirezen, S., Balbaş, M., Yerişkin, S.A., and Aytimur, A. (2016). The investigation of dielectric properties and ac conductivity of Au/GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitors using impedance spectroscopy method. *Ceramics International*, 42(2), 3322-3329.
27. Gümüş, A., Ersöz, G., Yücedağ, İ., Bayrakdar, S., and Altındal, Ş. (2015). Comparative study of the temperature-dependent dielectric properties of Au/PPy/n-Si

- (MPS)-type Schottky barrier diodes, *Journal of the Korean Physical Society*. 67(5), 889–895.
28. Card, H.C. and Rhoderick E.H., (1971) Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics*. D 4(10), 1589-1601.
 29. Nicollian, E.H., Brews, J.R. (1982). *Metal oxide semiconductor (MOS) physics and technology*. New York, 257–264.
 30. Nicollian, E.H., Goetzberger, A. (1967). The Si-SiO₂ Interface – Electrical Properties as Determined by the Metal-Insulator-Silicon Conductance Technique. *The Bell System Technical Journal*, 46, 1055–1133.
 31. Kao, K.C., (2004). *Dielectric Phenomena in Solids*., UK., Elsevier Academic Press, 573.
 32. Bannov, N., Aristov, V., Mitin, V., Schmitsdorf, R. E., Kampen, T. U., Mönch, W. and Schmitsdorf, R. F. (1995). Correlation between barrier height and interface structure of Ag/Si (111) Schottky diodes. *Surface Science*, 324(2), 249-256.
 33. Arbatti, X., Shan B., and Cheng Z.Y. (2007). Ceramic-polymer composites with high dielectric constant, *Adance Material*., 19(3), 1369-1374.
 34. Veli, U. (2020) *Gaz Sensörlerinde Kullanılan Mgo İnce Filmlerin Sentezi: Yapısal ve Elektro-Optik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
 35. Mousa, A., O., Nema, N., A. and Trier, S.H. (2016). “Study of structural and optical properties for MgO films prepared by using chemicalspray pyrolysis technique”, *Materials Science an Indian Journal*, 14(11), 426-434.
 36. Zhang, C., Huang, J., Yang, C., and Ding, G., (2018). “Textured BST Thin Film on Silicon Substrate: Preparation and Its Applications for High Frequency Tunable Devices”, *Coatings and Thin-Film Technologies*, 12, 241-246.
 37. Chang, W., and Sengupta, L., (2002). “MgO-mixed Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ bulk ceramics and thin films for tunable microwave applications”, *Journal of Applied Physics*, 92 (7), 3941- 3946.
 38. Haaf, F., Sanner, A. and Straub, F. (1985). Polymers of N-Vinylpyrrolidone: Synthesis, Characterization and Uses. *Polymer Journal* 17(1), 143-152.
 39. Chin, W.W.L., Heng, P.W.S., Thong, P.S.P., Bhuvaneswari, R., Hirt, W., Kuenzel, S., Soo, K.C. and Olivo, M. (2008). Improved formulation of photosensitizer chlorin e6 polyvinylpyrrolidone for fluorescence diagnostic imaging and photodynamic therapy of human cancer. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 69(3), 1083-1093.
 40. Xu, X., Wang, Q., Choi, H.C., and Kim, Y.H. (2010). Encapsulation of iron nanoparticles with PVP nanofibrous membranes to maintain their catalytic activity. *Journal of Membrane Science*, 348(1-2), 231-237.

41. Yu, D.G., White, K., Yang, J.-H., Wang, X., Qian, W. and Li, Y. (2012). PVP nanofibers prepared using co-axial electrospinning with salt solution as sheath fluid. *Materials Letters*, 67(1), 78-80.
42. Koczkur, K.M., Mourdikoudis, S., Polavarapu, L. and Skrabalak, S.E. (2015). Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis. *Dalton Transactions*, 44(41), 17883–17905.
43. Hollingbery, L. A., and T. R. Hull. (2010). The thermal decomposition of huntite and hydromagnesite a review. *Thermochemical Acta*, 509.(2) 1-11.
44. H.P Klug, L.E. Alexander, (1974). "X-Ray diffraction procedures: for polycrystalline and amorphous materials, (2nd edition), New York, Wiley, 553.
45. Mir, S.A., Ikram M., Sultan K. and Habib Z. (2015) Correlative exploration of structural, optical and electric properties of colossal dielectric Ni doped smorthoferrites. *Advanced Materials Letters*, 6(12), 1081-1087.
46. S. Lowell and J. E. Shields, (1991) *Powder Surface Area and Porosity*, (3rd Edition) New York, Chapman & Hall, 24.
47. Demirezen, S., Altındal Yerişkin S., (2020) A detailed comparative study on electrical and photovoltaic characteristics of Al/p-Si photodiodes with coumarin-doped PVA interfacial layer: the effect of doping concentration, *Polymer Bulletin*, 77(1), 49-71.
48. Tanrikulu, E.E., Demirezen, S., Altındal, Ş. and İ. Uslu, (2017). Analysis of electrical characteristics and conduction mechanisms in the Al/(%7 Zn-doped PVA)/p-Si (MPS) structure at room temperature *Journal of Materials Science Materials in Electronics*. 28 (12), 8844-8856.
49. Çetinkaya, H.G., Altındal Ş., Orak, I. and Uslu I., Electrical characteristics of Au/n-Si (MS) Schottky Diodes (SDs) with and without different rates (graphene+ Ca1.9Pr0.1Co4Ox-doped poly (vinyl alcohol)) interfacial layer., *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(11), 7905-7911.
50. Reddy, M.S.P., Sreenu, K., Reddy, V.R. and Park, C., (2017). Modified electrical properties and transport mechanism of Ti/p-InP Schottky structure with a polyvinylpyrrolidone (PVP) polymer interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(6), 4847-4855.
51. Norde, H., (1979). A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50(7), 5052-5053.
52. Reddy, R., Manjunath, V., Janardhanam, V., Kil, Y. H. and Choi, C. J., (2014). Electrical properties and current transport mechanisms of the Au/n-GaN Schottky structure with solution- processed high-k BaTiO₃ interlayer. *Journal of Electronic Materials*, 43(9), 3499–3507.
53. Schroeder H., (2015) Poole-Frenkel-effect as dominating current mechanism in thin oxide films-an illusion? *Journal of Applied Physics*. 117(21), 215103.

54. Simmons J.G., (1967) Poole-Frenkel Effect and Schottky Effect in Metal-Insulator-Metal Systems *Physical Review Journals Archive* 155(3), 657-660.
55. Tatatroğlu A., Al-Ghamdi A. A., El-Tantawy F., Farooq W. A. and Yakuphanoglu F. (2016) Analysis of interface states of FeO-Al₂O₃ spinel composite film/p-Si diode by conductance technique. *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, 122(3) 220.
56. Nicollian, E.H., Goetzberger, A. (1965) MOS Conductance Technique for Measuring Surface State Parameters. *Applied Physics Letters*, 7(8), 216-219.
57. Hill, W.A., Coleman, C.C., “A single-frequency approximation for interface-state density determination”, *Solid State Electronics*, 23(9): 987-993 (1980).
58. Yücedağ, İ., Altındal, Ş. and Tataroğlu, A. (2007). On the profile of frequency dependent series resistance and dielectric constant in MIS structure. *Microelectronic Engineering*, 84(1), 180–186.
59. Mehdizadeh, M., (2010), *Microwave/RF Applicators Probes Material Heating, Sensing, Plasma Generation*, (1st Edition), Amsterdam, Elsevier, 35.
60. Badali, Y., Altındal, Ş. and Uslu, İ. (2018) Dielectric properties, electrical modulus and current transport mechanisms of Au/ZnO/n-Si structures. *Progress in Natural Science-Materials International*. 28(3) 325-331.
61. Demirezen, S., (2013) Frequency-and voltage-dependent dielectric properties and electrical conductivity of Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature, *Applied Physics A* 112 (4) 827-833.
62. Çetinkaya, H.G., Yıldırım, M., Durmuş, P. and Altındal, Ş., (2017) Diode-to-diode variation in dielectric parameters of identically prepared metal-ferroelectric-semiconductor structure. *Journal of Alloys Compounds*. 728, 896-901.
63. Pissis, P., Kyritsis, A. (1997). Electrical conductivity studies in hydrogels, *Solid State Ionics*, 97(1-4), 105-113.
64. Popescu, M., Bunget, I. (1984). *Physics of Solid Dielectrics*. Amsterdam: Elsevier, 18.
65. Kyritsis, A., Pissis, P. and Grammatikakis, J., (1995) Dielectric relaxation spectroscopy in poly(hydroxyethyl acrylates)/water hydrogels, *Journal of Polymer Science B*. 33, 1737 -1750.
66. Orak, I., Kocyigit, A. and Altındal S., (2017) Electrical and dielectric characterization of Au/ZnO/n Si device depending frequency and voltage. *Chinese Physics B*, 26 (2), 0281021-0281021-6.
67. Lapa, H.E., Kökce, A., Özdemir, A.F., Uslu, İ. and Altındal, Ş. (2018). A comparative study on dielectric behaviours of Au/(Zn-doped PVA)/n-4H-SiC (MPS) structures with different interlayer thicknesses using impedance spectroscopy methods. *Bulletin of Materials Science*, 41(3)82.

68. Ho, P.S., Yang, E.S, Evans, H.L. and Wu, X. (1986). Electronic states at silicide-silicon interfaces, *Physics Review Letters*, 56(1), 177-183.
69. Altındal Yerişkin, S., (2019) The investigation of effects of (Fe₂O₄–PVP) organic-layer, surface states, and series resistance on the electrical characteristics and the sources of them. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30, 17032-17039.
70. Badali, Y., Azizian-Kalandaragh, Y., Akhlaghi, E.A. and Altındal, Ş., (2020) Ultrasound-Assisted Method for Preparation of Ag₂S Nanostructures: Fabrication of Au/Ag₂S-PVA/n-Si Schottky Barrier Diode and Exploring Their Electrical Properties. *Journal of Electronic Materials*. 49(1) 444-453.
71. Yerişkin, S.A., Balbaşı, M. and Orak, İ. (2017) The effects of (graphene doped-PVA) interlayer on the determinative electrical parameters of the Au/n-Si (MS) structures at room temperature. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics.*, 28 (18) , 14040 -14048.
72. Taşçıoğlu, İ., Özmen, T., Şağban, H.M., Yağlıoğlu E. and Altındal, Ş., (2017) Frequency Dependent Electrical and Dielectric Properties of Au/P3HT: PCBM:F4-TCNQ/n-Si Schottky Barrier Diode. *Journal of Electronic Materials*. 46(4), 2379-2386.
73. Buyukbas-Uluşan, A., Yerişkin, S.A., Tataroğlu, A., Balbaşı, M. and Kalandaragh, Y.A. (2018) Electrical and impedance properties of MPS structure based on (Cu₂O–CuO–PVA) interfacial layer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 29(10), 8234-8243.
74. Yerişkin, S.A., Demir, G.E. and Yücedag, İ., (2019) On the Frequency-Voltage Dependence Profile of Complex Dielectric, Complex Electric Modulus and Electrical Conductivity in Al/ZnO/p-GaAs Type Structure at Room Temperature. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*. 14(8), 1126-1132.
75. Demirezen, S., Kaya, A., Yerişkin, S.A., Balbaşı, M. and Uslu, I. (2016). Frequency and voltage dependent profile of dielectric properties, electric modulus and ac electrical conductivity in the PrBaCoO nanofiber capacitors. *Results in Physics*, 6, 180-185.
76. Huang, L.-M., Wen, T.-C. and Gopalan, A (2005) Electronic and junction properties of poly(2,5-dimethoxyaniline) –polyethylene oxide blend/metal Schottky diodes. *Thin Solid Films*, 473(2), 300–307.
77. . Chen, S.-A., Fang, Y. and Lee, H.-T (1993) Polyacrylic acid-doped polyaniline as p-type semiconductor in Schottky barrier electronic device. *Synthetic Metals*, 57(1), 4082- 4086.
78. Al-Ghamdi, A.A., Dere, A. Tataroğlu, A., B. Arif, Yakuphanoglu, F., El-Tantawy, F. and Farooq, W.A., (2015) Composite metal oxide semiconductor based photodiodes for solar panel tracking applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 650, 692-699.

79. Tataroğlu, A., Al-Sehemi, A.G., İlhan, M., Al-Ghamdi, A.A. and Yakuphanoglu, F. (2018) Optical, Electrical and Photoresponse Properties of Si-based Diodes with NiO-doped TiO₂ Film Prepared by Sol-gel Method. *Silicon*, 10(3) 913-920.
80. Amorim, C.A., Bernardo, E.P., Leite, E.R. and Chiquito, A.J. (2018) Effect of inhomogeneous Schottky barrier height of SnO₂ nanowires device. *Semiconductor Science Technology*, 33, 055003.
81. Reddy, C.V.S., Han, X., Zhu, Q.-Y, Mai, L.-Q. and Chen, W. (2006) Dielectric spectroscopy studies on (PVP + PVA) polyblend film. *Microelectronic Engineering* 83(2) 281-285.
82. Rajeswari, N., Selvasekarapandian, S., Karthikeyan, S., Prabu, M., Hirankumar, G., Nithya, H. and Sanjeeviraja, C. (2011) Conductivity and dielectric properties of polyvinyl alcohol–polyvinylpyrrolidone poly blend film using non-aqueous medium Journal of Non-Crystalline Solids, 357(22-23), 3751-3756.
83. De Silva, R.T., Mantilaka, M.M.M.G.P.G., Goh, K.L., Ratnayake, S.P., Amaratunga, G.A.J. and de Silva, K.M.N. (2017) Magnesium Oxide Nanoparticles Reinforced Electrospun Alginate-Based Nanofibrous Scaffolds with Improved Physical Properties. *International Journal of Biomaterials*, 1391298(1),1-9.
84. Halder, R., Bandyopadhyay, S. (2017) Synthesis and optical properties of anion deficient nano MgO. *Journal of Alloys and Compounds*. 693, 534-542.
85. Chen, L., Bai, P. and Li, W. (2016) Preparation of a novel magnesium oxide nanofilm of honeycomb-like structure and investigation of its properties. *Chemical Engineering Journal*, 303, 588-595.
86. Nassar, M.Y., Mohamed, T.Y., Ahmed, I.S. and Samir, I. (2017) MgO nanostructure via a sol-gel combustion synthesis method using different fuels: an efficient nano-adsorbent for the removal of some anionic textile dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 730-740.
87. Mohammed, G., El Sayed, A.M. and Morsi, W.M. (2018) Spectroscopic, thermal, and electrical properties of MgO/ polyvinyl pyrrolidone/ polyvinyl alcohol nanocomposites. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 115, 238-247.
88. Mishakov, I.V., Bedilo, A.F., Richards, R.M., Chesnokov, V.V., Volodin, A.M., Zaikovskii, V.I., Buyanov, R.A., Klabunde, K.J. and Catal, J. (2002) Nanocrystalline MgO as a Dehydrohalogenation Catalyst. *Journal of Catalysis*, 206, 40- 48.
89. Fakhri-Mirzanagh, S., Ahadzadeh-Namin, K., Givi, G.P., Farazin, J. and Azizian-Kalandaragh, Y. (2020) The effect of capping agent on the structural, optical properties and photocatalytic activity of MgO nanostructures. *Physica B: Condensed Matter*, 583, 412064.
90. R. Somashekar and Thejas Urs G M., (2018), *Emergent Research on Polymeric and Composite Materials* Hershey, IGI Global, (1st edition), 209.
91. Alavi, M.A., Morsali, A., (2010) Syntheses and characterization of Mg (OH)₂ and MgO nanostructures by ultrasonic method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 441-446.

92. Klug, H., Alexander, L.E. (1974) *X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials*, (2nd edition). New York, Wiley, 354.
93. Zahran, H.Y., Shneouda, S.S., Yahia, I.S. and El-Tantawy, F., (2018) Facile and rapid synthesis of nanoplates $\text{Mg}(\text{OH})_2$ and MgO via Microwave technique from metal source: structural, optical and dielectric properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 86(1) 104-111.
94. Shenouda, S.S., Zahran, H.Y. and Yahia, I.S., (2019) Facile synthesis and characterization of Co_3O_4 nanoplates coated with small nanorods. *Materials Research Express*, 6(10), 105042.
95. Eroğlu A., Demirezen S., Azizian-Kalandaragh Y. and Altındal, Ş. (2020), A comparative study on the electrical properties and conduction mechanisms of Au/n-Si Schottky diodes with/without an organic interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(17), 14466–14477.
96. Demirezen S., Eroğlu A., Azizian-Kalandaragh Y. and Altındal Ş. (2020), Electric and dielectric parameters in Au/n-Si (MS) capacitors with metal oxide-polymer interlayer as function of frequency and voltage interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 15589–15598.
97. Sevgili, Ö., Yıldırım, M., Azizian-Kalandaragh, Y. and Altındal, Ş. (2020). A comparison study regarding Al/p-Si and Al/(carbon nanofiber–PVP)/p-Si diodes: current/impedance–voltage ($I/Z-V$) characteristics. *Applied Physics A Materials Science & Processing*, 126 (8), 634.
98. Sevgili, Ö., Azizian-Kalandaragh, Y. and Altındal, Ş. (2020). Frequency and voltage dependence of electrical and dielectric properties in metal-interfacial layer-semiconductor (MIS) type structures. *Physica B: Condensed Matter*, 587, 412122.
99. Taşçıoğlu, İ., Sevgili, Ö., Azizian-Kalandaragh, Y. and Altındal, Ş., (2020), Frequency-Dependent Admittance Analysis of Au/n-Si Structure with CoSO_4 -PVP Interfacial Layer. *Journal of Electronic Materials*, 49(6), 3720-3727.
100. Sevgili, Ö., Canlı, S., Akman, F., Orak, İ., Karabulut, A and Yıldırım, N. (2020). Characterization of aluminum 8-hydroxyquinoline microbelts and microdots, and photodiode applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 136, 109128.





GAZİ GELECEKTİR..