



**Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) YAPILARIN HAZIRLANMASI VE TEMEL
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN IŞIK ALTINDA İNCELENMESİ**

Umut AYDEMİR

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2014

Umut AYDEMİR tarafından hazırlanan “Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) YAPILARIN HAZIRLANMASI VE TEMEL ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN IŞIK ALTINDA İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

.....

Danışman: Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Necati YALÇIN

Fen Bilgisi Öğretmenliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. M. Mahir BÜLBÜL

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Adem TATAROĞLU

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Habibe USLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 11/12/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Umut AYDEMİR

11.12.2014

Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) YAPILARIN HAZIRLANMASI VE TEMEL ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN IŞIK ALTINDA İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Umut AYDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2014

ÖZET

Bu çalışmada, geleneksel Au/n-Si diyotlar, n-Si alttaş üzerine elektrodünderme metoduyla Zn katkılı PVA (PVA:Zn) arayüzey tabakası kaplanarak modifiye edildi. PVA:Zn tabakasının yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinmek için, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri farklı yakınlaştırmalarda incelendi. PVA:Zn arayüzey tabakasına sahip Au/n-Si diyodun doğru ve ters ön-gerilim akım-voltaj (I - V), kapasitans-voltaj (C - V) ve kondüktans-voltaj (G/ω - V) karakteristikleri oda sıcaklığında incelendi ve deneysel sonuçlar geleneksel olanla kıyaslandı. Deneysel I - V sonuçları gösterdi ki modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si diyot çok iyi doğrultma davranışına sahiptir. İdealite faötürü (n), seri direnç (R_s), şönt direnci (R_{sh}) ve bariyer yüksekliği (Φ_B) gibi temel elektriksel parametreler düz ve ters ön gerilim I - V karakteristiklerinden elde edildi. Diyotların R_s değerleri Cheung fonksiyonları, Ohm yasası ve Norde metodları ile hesaplandı. Ayrıca, arayüzey durumlarının enerji dağılımı (N_{ss}) voltaja bağlı efektif bariyer yüksekliği ve R_s göz önüne alınarak doğru beslem I - V ölçümlerinden elde edildi. N_{ss} değerlerinin yasak enerji aralığının ortasından iletim bandının altına doğru eksponansiyel olarak arttığı gözlemlendi. Buna ilaveten, modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si diyotun admittans, (C - V) ve (G/ω - V) karakteristikleri hem karanlık hemde farklı aydınlatma şiddetlerinde incelendi. Deneysel C - V eğrileri metal/yarıiletken (M/S) arayüzeyinde arayüzey durumlarının veya elektron-hol çiftlerinin aydınlatma ile tetiklenmesi ile pik verdiği görüldü. Aygıtın katkılama yoğunluğu (N_D), tüketim tabakasının kalınlığı (W_D) ve bariyer yüksekliği ($\Phi_B(C-V)$) gibi ana elektriksel parametreleri C^{-2} - V eğrileri çizilerek belirlendi. Bunun yanında farklı aydınlatma şiddetleri için (C - V) ve (G/ω - V) dataları kullanılarak voltaja bağlı R_s değerleri elde edildi. Tüm bu bulgular Au/PVA:Zn/n-Si diyotun I - V , C - V ve G/ω - V karakteristiklerinin aydınlatma ile oldukça etkilendiğini doğruladı. Modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si diyotların 250 W gibi yüksek aydınlatma şiddetlerinde bile bir fotodiyot olarak kullanılabilceği gözlemlendi.

Bilim Kodu : 202.1.47

Anahtar Kelimeler : MPS yapı; I - V ; C - V ; G/ω - V ; Arayüzey durumları;
Seri direnç; Işık altında ölçümler

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

THE PREPERATION OF Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) STRUCTURES AND
INVESTIGATION OF MAIN ELECTRICAL CHARACTERISTICS UNDER
ILLUMINATION

(PhD. Thesis)

Umut AYDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2014

ABSTRACT

In this study, conventional Au/n-Si diodes were modified with Zn doped poly(vinyl alcohol) (PVA:Zn) interfacial layer which coated by electrospinning technique on n-Si substrate. In order to obtain information about the surface morphology of PVA:Zn layer, scanning electron microscope (SEM) images have been investigated for various magnifications. The current voltage (I - V), capacitance voltage (C - V) and conductance-voltage (G/ω - V) measurements of Au/n-Si diodes with PVA:Zn interfacial layer have been carried out at room temperature and experimental results compared with conventional one. The experimental I - V results show that the modified Au/PVA:Zn/n-Si diode has a very good rectifying behavior. The main electrical parameters such as ideality factor (n), series resistance (R_s), shunt resistance (R_{sh}) and barrier height (Φ_B) were determined from forward and reverse bias I - V characteristics. The R_s value of diodes was calculated from Cheung's functions, Ohm's law and Norde's method. Also, the energy distribution of interface states (N_{ss}) was obtained from forward bias I - V measurements by taking bias dependence of the effective barrier height (Φ_e) and R_s into account. There is an exponential growth of N_{ss} from the midgap towards to bottom of conduction band. In addition, the admittance, (C - V) and (G/ω - V), characteristics of modified Au/PVA:Zn/n-Si diodes were investigated both dark and under various illumination intensities. Experimental results demonstrate that the C - V plots give a peak due to the illumination induced interface states or electron-hole pairs at metal/semiconductor (M/S) interface. The C^2 - V plots were also drawn to determine main electrical parameters such as doping concentration (N_D), depletion layer width (W_D) and barrier height ($\Phi_B(C-V)$) of device. Besides, the voltage dependence R_s values were obtained from C - V and G/ω - V data by using Nicollian and Brews method for various illumination intensities. All these observations confirm that I - V , C - V and G/ω - V characteristics of Au/PVA:Zn/n-Si were strongly affected by illumination. Modified Au/PVA:Zn/n-Si diodes can be used as a photodiode as much as 250 W illumination levels.

Science Code : 202.1.47

Key Words : MPS structure; I - V ; C - V ; G/ω - V ; Interface states;
Series resistance; Under Illumination

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde, deneylerimde ve akademik çalışmalarında büyük katkısı olan saygıdeğer tez danışmanım ve hocam Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a,

Polimerlerin hazırlanmısında ve elektrospindleme ile kaplanmasında yardım ve desteklerinden dolayı değerli Prof. Dr. İbrahim Uslu'ya

Laboratuvar altyapısını oluşturan ve araştırmalarımın imkan tanıyan FOTONİK Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü sayın Prof. Dr. Süleyman Özçelik'e

Bilgi ve deney tecrübelerini her zaman paylaşılarak laboratuvar çalışmalarımın çok şey öğrendiğim Prof. Dr. Tofiq Memmedli'ye

Yayınlarımda ve çalışmalarımın desteğini ve emeğini esirgemeyen tüm değerli arkadaşlarıma,

Bütün eğitim-öğretim ve iş hayatım boyunca maddi-manevi desteklerini her zaman hissettiren başta annem olmak üzere sevgili aileme sonsuz minnet ve teşekkürü kendime bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİ	5
2.1. Metal Yarıiletken (MS) Kontaklar	5
2.2. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Schottky Mott Teorisi.....	5
2.3. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları	13
2.3.1. Termoiyonik emisyon (TE) teorisi	14
2.3.3. Tünelleme (Alan emisyonu ve Termoiyonik-alan emisyonu)	18
2.3.4. Deplasyon bölgesi jenerasyon-rekombinasyonu	20
2.3.5. T_0 etkili akım iletimi	21
2.4. Schottky engel diyotların kapasitansı.....	22
2.5. Schottky diyotların ideal durumdan sapma nedenleri.....	23
2.5.1. Görüntü-kuvvet (Schottky) etkisi	23
2.5.2. Seri direnç etkisi	25
2.5.3. Tünelleme etkisi	26
2.5.4. Kenar etkileri	26
2.5.5. Yüzey kusurları	26
2.6. Metal-Yalıtkan/Organik Arayüzey Tabaka-Yarıiletken Schottky Engel	
Diyotların Yapısı	27
2.7. İdeal MIS yapı.....	28
2.7.1. Yığılım	31
2.7.2. Tükenim	32
2.7.3. Tersinim	33
2.8. Gerçek MIS Yapı	33
2.9. Bir Yarıiletkende Fotonun Soğurulması	35
3. DENEYSEL YÖNTEM	37
3.1. Organik Arayüzey Tabakasının Kaplanması	37

	Sayfa
3.2. Elektro-Döndürme Yöntemi ile PVA Kaplanması	38
3.3. Au/PVA:Zn/n-Si MPS Yapının Hazırlanması.....	40
3.4. Deneysel Ölçüm Sistemi	42
3.4.1. Akım-voltaj ölçüm sistemi	43
3.4.2. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçüm sistemi	43
3.4.3. Janis VPF-475 kriyostat.....	43
3.4.4. Işık kaynağı.....	44
4. TARTIŞMALAR	45
4.1. Giriş	45
4.2. Au/n-Si Diyotların PVA:Zn Arayüzey Tabakası ile Modifiye Edilmesi	45
4.2.1. Yüzey morfolojisi analizleri	46
4.2.2. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların akım-voltaj özelliklerinin modifikasyonu	48
4.2.3. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların C-V ve G/ω -V özelliklerinin modifikasyonu	61
4.3. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotun Işık Altında Elektriksel Sonuçları.....	66
4.3.1. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun ışık altında I-V sonuçları.....	66
4.3.2. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun ışık altında C-V sonuçları	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların I-V eğrilerinden elde edilen temel elektriksel parametreler	57
Çizelge 4.2. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların C^{-2} -V eğrilerinden hesaplanmış bazı temel diyot parametreleri	65
Çizelge 4.3. Farklı aydınlatma şiddetinde Au/PVA:Zn/n-Si diyotun açık devre voltajı ve kısa devre akımı	68
Çizelge 4.4. Farklı aydınlatma şiddetinde Au/PVA:Zn/n-Si diyotun hesaplanan bazı temel parametreleri	71
Çizelge 4.5. Farklı aydınlatma şiddetinde Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz'de C^{-2} -V eğrilerinden hesaplanan temel elektriksel parametreler	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal–yarıiletken eklem $\phi_m > \phi_s$ durumundaki enerji–bant diyagramları a)Eklem oluşmadan önceki metal ve yarı iletkenin enerji–bant diyagramı.b) Eklem oluşuktan sonraki termal denge durumu [10]	6
Şekil 2.2. Doğrultucu metal n – tipi yarıiletken eklem termal dengedeki enerji – bant diyagramı [2]	8
Şekil 2.3. Doğrultucu metal n – tipi yarıiletken eklem doğru ön-gerilimdeki enerji – bant diyagramı [2]	9
Şekil 2.4. Doğrultucu metal/n–tipi yarıiletken eklem ters ön-gerilimdeki enerji bant diyagramı [2]	10
Şekil 2.5. Metal/n-tipi yarıiletken eklem $\phi_m < \phi_s$ durumundaki enerji–bant diyagramları; a) eklem oluşmadan önceki metal ve yarıiletkenin enerji – bant diyagramı, b) eklem oluşuktan sonraki termal denge durumu, c) yarıiletkene negatif gerilim uygulandığında ve d) yarıiletkene pozitif gerilim uygulandığında oluşan enerji–bant diyagramları [2]	12
Şekil 2.6. Metal/n-tipi Si yarıiletkende doğru beslem altında temel akım iletim mekanizmaları; (a)potansiyel engelin tepesi üzerinden, metalin içerisine doğru elektronların iletimi (termoiyonik emisyon), (b)elektronların engel içinden doğrudan kuantum-mekaniksel tünellemeleri (engel içinde tünelleme), (c)uzay yük bölgesinde yeniden birleşme, (d) metalden yarıiletkene deşik enjeksiyonu	13
Şekil 2.7. a) FE ve b) TFE mekanizmalarının oluşumu [2,5,7].....	19
Şekil 2.8. Farklı akım iletim mekanizmalarını gösteren $nkT/q-kT/q$ grafiği	22
Şekil 2.9. Bir metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotun ters ön gerilim altındaki enerji-bant diyagramı.....	23
Şekil 2.10. Sabit bir elektrik alanda imaj kuvvetinden dolayı potansiyel engelindeki bükülme	25
Şekil 2.11. Metal/yarıiletken kontakta seri direncin etkisi	26
Şekil 2.12. Homojen engel yüksekliğine sahip olmayan bir Schottky kontakın V gerilimi altındaki iki boyutlu bant diyagramı	27
Şekil 2.13. Bir MIS veya MPS yapının şematik gösterimi	28
Şekil 2.14. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı (n-tipi yarıiletken)...	29

Şekil	Sayfa
Şekil 2.15. MIS kapasitansının eşdeğer devresi	30
Şekil 2.16. $V \neq 0$ durumunda n tipi yarıiletken için ideal MIS yapının enerji-bant şeması. (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim	32
Şekil 2.17. İdeal olmayan MIS yapıda arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması	34
Şekil 2.18. Yarıiletken tarafından bir fotonun optik soğrulması	35
Şekil 3.1. Vinil alkolün kimyasal yapısı	37
Şekil 3.2. Polivinil alkolün kimyasal yapısı.....	38
Şekil 3.3. Elektro-döndürme düzeneği ve mekanizması	39
Şekil 3.4. Zn-katkılı PVA' nın kimyasal yapısı.....	40
Şekil 3.5. Au/PVA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi	41
Şekil 3.6. n-Si yüzeyinin a) doğrudan Au ile kontak edilmesi b) PVA:Zn ile modifiye edilerek Au ile kontak edilmesi	42
Şekil 3.7. Deneysel Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü	43
Şekil 4.1. PVA:Zn polimerin n-Si üzerinde elektro-döndürme ile kaplandıktan sonra a) x1500, b) x2500 ve c) x5000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü	47
Şekil 4.2. Oda sıcaklığında Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotların $\ln I-V$ eğrileri	50
Şekil 4.3. Oda sıcaklığında Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotların (a) doğru belsem, b) ters belsem $\ln I - V$ eğrileri	52
Şekil 4.4. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun idealite $\ln I - \ln V$ eğrileri	54
Şekil 4.5. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun voltaja bağlı seri ve şönt direnci	55
Şekil 4.6. Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan R_s değerleri (a) Au/PVA:Zn/n-Si (b) Au/n-Si	56
Şekil 4.7. Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için Norde fonksiyonları	59
Şekil 4.8. PVA:Zn arayüzey tabakasının N_{ss} enerji dağılım profilinine etkisi	61
Şekil 4.9. Oda sıcaklığında Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz'de C-V eğrileri	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Oda sıcaklığında Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz'de G/ω -V eğrileri	63
Şekil 4.11. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların C^{-2} -V eğrileri	65
Şekil 4.12. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların karanlık ve farklı aydınlatma şiddetinde $\ln I$ -V eğrileri (İç Şekil: Diyotun elektronik devre şeması)	67
Şekil 4.13. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların aydınlatma şiddetlerine bağlı I-V eğrileri	68
Şekil 4.14. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların maksimum güçte verim eğrisi	69
Şekil 4.15. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların bariyer yüksekliği ve idealite faktörünün aydınlatma şiddetine bağlı eğrileri	70
Şekil 4.16. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların ışık altında a)ters b)doğru beslem R_i -V eğrileri	72
Şekil 4.17. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların farklı voltajlarda ve aydınlatma şiddetinde R_s eğrileri	73
Şekil 4.18. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların farklı voltajlarda ve aydınlatma şiddetinde R_{sh} eğrileri	73
Şekil 4.19. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların şönt ve seri direncin aydınlatma şiddetine bağlı eğrileri	74
Şekil 4.20. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların aydınlatma şiddetine bağlı N_{ss} eğrileri	75
Şekil 4.21. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun farklı aydınlatma şiddetlerinde C-V eğrileri	77
Şekil 4.22. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun farklı aydınlatma şiddetlerinde G/w -V eğrileri...	78
Şekil 4.23. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun aydınlatma şiddeti altında R_i -V eğrileri	79
Şekil 4.24. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun a) aydınlatma şiddeti b) voltaja bağlı arayüzey durumlarının dağılımı	81
Şekil 4.25. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun aydınlatma şiddeti altında ve 1 MHz frekansta C^{-2} -V eğrileri	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan
$\text{\AA}$	Angstrom
Au	Altın
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Etkin Richardson sabiti
C	Kapasitans
C_0	Boş kondansatörün kapasitansı
C_i	Arayüzey tabakasının kapasitansı
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C_m	Ölçülen kapasitans değeri
d_i	Arayüzey tabakasının kalınlığı
E_a	Aktivasyon enerjisi
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_{Fn}	n- tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_i	Arayüzey tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
Hz	Frekans birimi (Hertz)
k	Boltzmann sabiti
m_e^*	Elektronun etkin kütlesi
m_0	Serbest elektron kütlesi
N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu

Simgeler**Açıklama**

N_A	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
N_C	İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_V	Değerlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	Uzay yükü
q	Elektrik yükü
R_s	Seri direnç
R_i	Diyotun iç direnci
R_{sh}	Şönt direnci
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık (Kelvin cinsinden)
V	Gerilim/Voltaj
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru beslem
V_R	Ters beslem
V_y	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
V_{yi}	Yarıiletken üzerine düşen gerilim
V_G	Metal plakaya uygulanan gerilim
V_o	Oksijen boşluğu
W_D	Tüketim tabakasının kalınlığı
Y	Admittans
Z	Empedans
Φ_B	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bo}	Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_e	Etkin engel yüksekliği
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	Ohm
σ	Öz iletkenlik

Simgeler**Açıklama** ρ

Öz direnç

 χ_s

Elektron yakınlığı

 Ψ_s

Yüzey potansiyeli

Kısaltmalar**Açıklama****a.c.**

Alternatif akım

d.c.

Doğru akım

I-V

Akım-voltaj

C-V

Kapasitans-voltaj

G/ ω -V

İletkenlik-voltaj

MS

Metal/yarıiletken

MIS

Metal/yalıtkan/yarıiletken

MOS

Metal/oksit/yarıiletken

MPS

Metal/polimer/yarıiletken

PVA

Polivinil alkol

PVA:Zn

Zn katkılı Polivinil alkol

1. GİRİŞ

Genellikle Schottky engel diyotlar (SBD) olarak adlandırılan metal-yarıiletken (MS) kontaklar elektronik endüstrisinde en çok kullanılan doğrultucu kontaklardandır. Schottky kontaklar Schottky engel yüksekliğini ve yarıiletken aygıtın elektriksel özelliğini kontrol etmede önemli rol oynar. Schottky engel yüksekliği metal/yarıiletken (M/S) yüzeylerde termal davranışa oldukça duyarlıdır. Metal ile yarıiletken kontak edildiğinde oluşan engel yüksekliği metal/yarıiletken arayüzeyindeki yüklerin ayrılmasından doğar. MS kontakların doğrultma davranışını anlamaya yönelik ilk adım Schottky ve arkadaşları tarafından gerçekleştirildi [1]. Schottky ve Mott daha sonra engel oluşma mekanizmasını açıkladı ve engel yüksekliğini hesaplama ve engel şekli için modeller önerdi [1-6]. Onların modeline göre, engel metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları (Φ_m ve Φ_s) arasındaki farktan doğar. Bunların yanı sıra Cowley ve Sze [7], Schottky diyotlarda kullanılan arayüzey tabakası üzerine ilk çalışmaları gerçekleştirdiler. Ayrıca farklı metaller kullanılarak metal/yarıiletken (M/S) arayüzeyindeki Schottky engelin oluşumunu analize ettiler. Metalden yarıiletkeneye doğru görülen engel yüksekliği oluşumunun temel olarak Φ_m ve Φ_s 'e, arayüzey tabakanın varlığına ve kalınlığına, yüzey hazırlama koşullarına, yarıiletkenin katkı konsantrasyonuna, arayüzeydeki tuzak yoğunluğuna, numune sıcaklığına ve uygulanan ön gerilime bağlı olduğunu öne sürdüler [8-10].

Schottky engel diyotlar güneş pilleri, fotodedektörler, alan etkili transistörler, mikrodalga diyotlar gibi birçok yarıiletken elektronik aygıtların temelini oluşturmaktadır. Metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey yalıtkan veya organik (polimer) tabaka MS diyodu metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) veya metal-polimer-yarıiletken (MPS) yapıya dönüştürür. MIS veya MPS tipinde SBD'lar yarıiletken yüzeylerin çalışılmasında özellikle tercih edilen aygıtlardır. Bütün yarıiletken aygıtların güvenilirliği ve kararlılığında ortaya çıkan problemlerin çoğu yüzey koşulları ile yakından alakalı olduğu için, MIS kapasitörler kullanılarak yüzey fizikini anlamak aygıt uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Daha sonra karakteristik özellikleri Frankl ve Linder tarafından incelendi [2-8]. İlk başarılı MIS yapısı 1960'larda Ligenza ve Spitzer tarafından Si yüzeyine termal olarak SiO_2 büyütülmesiyle oluşturuldu. Yine SiO_2 -Si üzerinde başka bir çalışma Terman, Lehovec ve Slobodskoy tarafından yapıldı [11].

Literatürde MS veya MIS yapıların yapısal ve elektriksel özellikleri ile ilgili çok geniş çalışmalar mevcuttur. Bu tip Schottky engel diyotların teknolojik öneminden dolayı akım iletim mekanizmalarını incelemek büyük ilgi uyandırmaktadır. Baskın iletim mekanizması yüzey hazırlama süreci, arayüzey tabakanın oluşumu, M/S arayüzeyinde engel yüksekliği, yarıiletkenin katkı konsantrasyonu, arayüzey durumlarının enerji yoğunluğu dağılımı gibi birçok parametreye bağlıdır [5-11]. Kullanılan arayüzey tabakanın aygıt performansı, kararlılığı ve güvenilirliği açısından çok önem taşıdığı bilinmektedir. Yapısal kusurlardan ve safsızlıklardan doğan arayüzey yük durumları arayüzey yakınlarında yarıiletkenin enerji bant yapısını değiştirebilir. SiO₂, MIS yapılarda yaygın olarak kullanılan yalıtkan tabakalardan olmasına rağmen, yarıiletken yüzeyini tam olarak pasivize edip sızıntı akımını azaltamamaktadır. İnorganik ince filmleri büyütebilmek için radyo frekans (RF) püskürtme, moleküler demet epitaksi, kimyasal buhar biriktirme vb. birçok metot olmasına rağmen bu metotlar pahalı olmasının yanı sıra gelişmiş laboratuvar koşulları gerektirmektedir. Bunun için geleneksel yollarla büyütülmüş SiO₂, Si₃N₄, TiO₂ gibi yalıtkan tabakaların yerine son zamanlarda kolay ve ucuz yolla üretilebilen, organik ince filmler kullanılmaktadır [12-20]. Bunun yanı sıra, inorganik materyallere göre daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirilmesi, sızıntı akımını azaltması, yüksek elektriksel iletkenlik sağlaması, sıcaklığa karşı kararlı ve dayanıklı olması organik ince filmleri bir başka isimle polimerleri metal-yarıiletken kontak imalinde tercih edilen materyaller haline getirmiştir.

Son zamanlarda Metal/yarıiletken (M/S) arayüzeyine yerleştirilen rhodamine-101 [21], poly(aniline) [22], tetraamide-I [23], phenolsulfonphthalein [24], chitin [25], β -carotene [26], safranin T [27], polypyrrole [28], polyvinyl alcohol (PVA) [29] gibi polimerler yarıiletken ile metali birbirinden izole eder ve onlar arasında herhangi bir yüzey reaksiyonu olmasını engeller. Bunların arasında PVA mükemmel kimyasal ve fiziksel özellikleri ile endüstriyel uygulamalarda oldukça dikkat çekmektedir. Normalde PVA zayıf bir iletken olmasına rağmen metallerle özellikle geçiş elementleriyle katkılандığında, onların polimerik sistemde birleşmesi sonucu iletkenlik özelliğini büyük ölçüde arttırdığı gözlenmiştir [30,31]. Elektriksel iletkenliğin yanı sıra katkılama süreci kimyasal yapıyı, kristalliliği de etkilemektedir [29-32]. Düşük katkılama az sayıda yük taşıyıcılarıyla beraber yapıda geniş bir tüketim tabakasına yol açar. Diğer taraftan polimerde yüksek katkılama engelden tünelleme olasılığının yüksek olduğu ince bir engel meydana getirebilir. Campbell ve arkadaşları [33], kontrollü dipol tabaka ortaya çıkarmak için

yarıiletken/organik arayüzeyinde organik ince film kullandılar ve etkin Schottky engel yüksekliğini değiştirdiler. Çalışmalarında organik ince tabakanın inorganik yarıiletken üzerine büyütülmesi ile etkin Schottky engel yüksekliğinin azaltılıp veya artırılabilceğini rapor ettiler. Diğer taraftan, M/S arayüzeyinde ince bir organik tabakanın varlığı sızıntı akımı ve arayüzey durumlarını azaltmak, aygıt performansını artırmak açısından tercih ediliş sebebi olmaktadır [21-32].

Termoiyonik Emisyon (TE) teori Schottky Engel diyot parametrelerini (SBD) elde etmede kullanılmasına rağmen, düşük sıcaklık veya yüksek aydınlatma şiddetinde teoriden sapan bazı anormallikler gözlenir. Seri direnç ve arayüzey durumları da diyotların doğru ön-gerilim I - V karakteristiklerini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin SBD'ların elektriksel karakteristiklerine etkisi hala geniş olarak araştırılmaktadır [33-35]. Bu tür çalışmalarda yapının seri direncinin doğru ön gerilim I - V karakteristiklerinde yüksek voltajlarda lineerlikten sapmaya yol açtığı gösterilmiştir. Diğer taraftan Card ve Rhoderic [36] M/S arayüzeyinde lokalize olmuş arayüzey durum yoğunluğunu (N_{ss}) hesapladılar ve N_{ss} 'in MIS diyodun idealite faktörü üzerine etkisini değerlendirdiler. Bununla beraber bazı araştırmacılar I - V karakteristiklerinden idealite faktörü ve etkin engel yüksekliğinin voltaja bağımlılığını göz önüne alarak N_{ss} 'in enerji yoğunluğu dağılım profillerini elde ettiler [37-43].

Schottky engel diyotların kapasitansı giderek artan bir ilgi uyandıran araştırma konusu olmaktadır. Ho ve meslektaşları [44] Pd-Si Schottky kontakların kapasitansını çalışmışlar ve doğru ön-gerilim kapasitans-voltaj (C - V) eğrilerinde anormal bir pik gözlemişlerdir. Onlar bu piki arayüzey durumlarına atfetmişlerdir. Diğer taraftan Werner ve meslektaşları [45] ohmik ve ohmik (nonohmic) olmayan arka kontaklı Schottky engel aygıtların sistematik bir araştırmasını yaptı. Ohmik olmayan arka kontaklı aygıtların C - V eğrisinde maksimum bir kapasitans sergilendiğini, ohmik arka kontaklı aygıtlarda hiçbir pik gözlenemediğini rapor etti. Arka kontakta ohmik olmama (nonohmicity) durumu büyük bir seri dirençle sonuçlanacağı için, seri direnç ile C - V eğrisindeki anormal pik arasında bir bağ kurulabilir. Chattopadhyay ve Raychaudhuri [46] seri direnç etkisinin C - V karakteristiklerinde maksimuma (pik) sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Kapasitansın pik değeri ve konumu arayüzey durumlarına, katkılama konsantrasyonuna, arayüzey tabakanın kalınlığına bağlıdır [47-51].

Schottky diyotların önemli elektriksel parametrelerini (safsızlık konsantrasyonu, engel yüksekliği, Fermi enerji seviyesi, seri direnç, tüketim tabakasının kalınlığı, difüzyon potansiyeli gibi) elde etmek için kapasitans-voltaj ($C-V$) ve iletkenlik-voltaj ($G/\omega-V$) ölçümleri en popüler ölçüm teknikleridir. Işık şiddeti, sıcaklık, frekans gibi faktörler $C-V$ ve $G/\omega-V$ karakteristiklerini etkiler. Deneysel olarak $I-V$ ve $C-V$ ölçümlerinde hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür [47,52]. Homojen olmayan Schottky engel yüksekliği için $C-V$ ölçüm tekniği ortalama Schottky engel yüksekliğinin uygun bir değerini verir. Arayüzey durumlarının yanı sıra MIS yapılarda elektriksel özellikleri etkileyen ve diyotun idealden sapmasına yol açan en önemli parametrelerden biri de seri dirençtir. Seri direnci belirlemek için en önemli ve güvenilir metotlardan biri Nicolian ve Brews [11] tarafından geliştirilen admitans metodudur. Son yıllarda, MS veya MIS tipi Schottky diyotların elektriksel özellikleri arayüzey durumları, seri direnç ve arayüzey tabaka etkisi göz önüne alınarak incelenmiştir [12-42].

Bu çalışmada, Zn katkılı polivinil alkol (PVA) arayüzey tabaka n-tipi Si yarıiletkeninin üzerine elektrodöndürme tekniği kullanılarak büyütüldü. Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) Schottky engel diyotun $I-V$, $C-V$, $G/\omega-V$ ölçümleri 1 MHz'de karanlık ve oda sıcaklığında farklı ışık şiddetlerine maruz bırakılarak gerçekleştirildi. Bununla birlikte yapının temel elektriksel parametreleri $I-V$, $C-V$, $G/\omega-V$ ölçümlerinden elde edilerek, metal ile yarıiletken arasında büyütülen PVA tabakanın, seri direncin ve arayüzey durumlarının bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi değerlendirildi [29,31].

2. TEORİ

2.1. Metal Yarıiletken (MS) Kontaklar

En basit aygıt olarak Schottky diyotların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi için farklı yarıiletkenler ve farklı metaller uygun deney ortamında kontak edilir. Schottky diyotların tarihçesi çok eskiye dayanmasına rağmen halen günümüzde popülerliğini ve önemini korumaktadır. Son zamanlarda yarıiletken kristal ile kontak yapılacak metal arasına farklı polimer malzemeler büyütülerek olabildiğince aygıt performansının artırılması amaçlanmaktadır. Oluşturulan kontağın ideal olması için, yarıiletken kristal yüzeyinin çok iyi temizlenmesi ve yüzeyin pasifize edilmesi gereklidir [2-5,11-25].

Bir metal ile yarıiletken kontak edildiklerinde, oluşan kontak türünün omik veya doğrultucu olmasını seçilen metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları belirler. Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s de yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere, metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_s > \Phi_m$ durumunda ise omik kontak oluşur. Metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda omik kontak ve $\Phi_s > \Phi_m$ durumunda da doğrultucu kontak oluşur. Genel olarak deney aşamasında omik kontaklar yapıldıktan sonra belirli bir süre tavlanmaktadır [2].

2.2. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Schottky Mott Teorisi

Schottky-Mott teorisine göre engel oluşum süreci Şekil 2.1'de gösterilmektedir [2-9]. Engel oluşum süreci, her bölgesi eşit katkılanmış n-tipi yarıiletken üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.1.a birbirine değmemiş yarıiletken ve metali göstermektedir. Katının dışında durgun olan bir elektronun enerjisini temsil eden vakum seviyesi, referans seviyesi olarak alınmıştır. Metalin iş fonksiyonu (ϕ_m), yarıiletkenin iş fonksiyonundan (ϕ_s) daha büyük olacak şekilde seçilmiştir. Bir maddenin iş fonksiyonu, bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine getirmek için gerekli enerjidir. Yarıiletkenin elektron ilgisi (χ_s), iletkenlik bant kenarı (E_c) ve uzay bandı arasındaki enerji farkıdır. n-tipi yarıiletken ile metal eklem yapıldığında, metaldeki elektronların enerjisinden daha büyük enerjiye sahip yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, Fermi seviyeleri eşitleninceye kadar metale akarlar. Elektronların yarıiletkenden metale akmasıyla, yarıiletken sınırının yanındaki

Şekil 2.1'deki enerji–bant diyagramında, yarıiletkenin bant aralığı E_g , ϕ_m ve χ_s değerlerinin yarıiletken ve metal arasında eklem yapıldıktan sonra değişmez olduğu kabul edilir. Metal ve yarıiletkendeki Fermi seviyelerini eşitleyerek ve E_c , E_v ve nötr yarıiletkendeki uzay seviyesini gösteren E_F yerleştirilerek bu diyagram çizilebilir. Değerlik bant kıyısı E_v 'nin, iletkenlik bant kıyısı E_c ile paralel hareket etmesi ile yarı iletkenin yasak bant aralığının değişmediği görülür. Aynı zamanda geçiş bölgesinde yarı iletkenindeki uzay seviyesi aşamalı olarak metaldeki uzay seviyesine sürekliliği korumak için yaklaşır. E_c 'nin değişimine benzer değişikliği uzay seviyesi de gösterir. Bunun nedeni, yarıiletkenin elektron ilgisinin eklem oluştuktan sonra da değişmemesidir. Bu süreç oldukça geneldir ve eklemdaki yarıiletken ve metalin enerji–bant diyagramını çizmek için kullanılabilir. Bantların eğilme miktarı iki vakum seviyesi arasındaki farka eşittir. Bu fark aynı zamanda metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktır [2-10].

$$qV_i = \phi_m - \phi_s \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1' de; V_i eklem potansiyel farkı veya eklem yapı potansiyeli olarak bilinir. qV_i yarı iletken metalden geçen elektronların geçmesi gereken potansiyel engeldir. Buna karşın metal tarafından engel farklı gözükmemektedir ve;

$$\phi_b = \phi_m - \phi_s \quad (2.2)$$

ϕ_s ise,

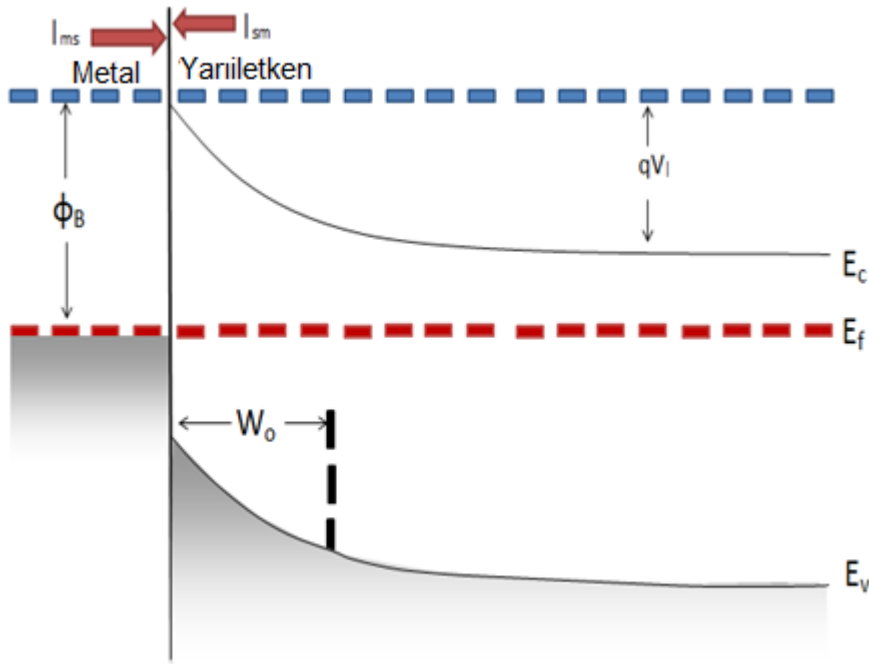
$$\phi_s = \chi_s + \phi_n \quad (2.3)$$

olduğundan, ϕ_b için,

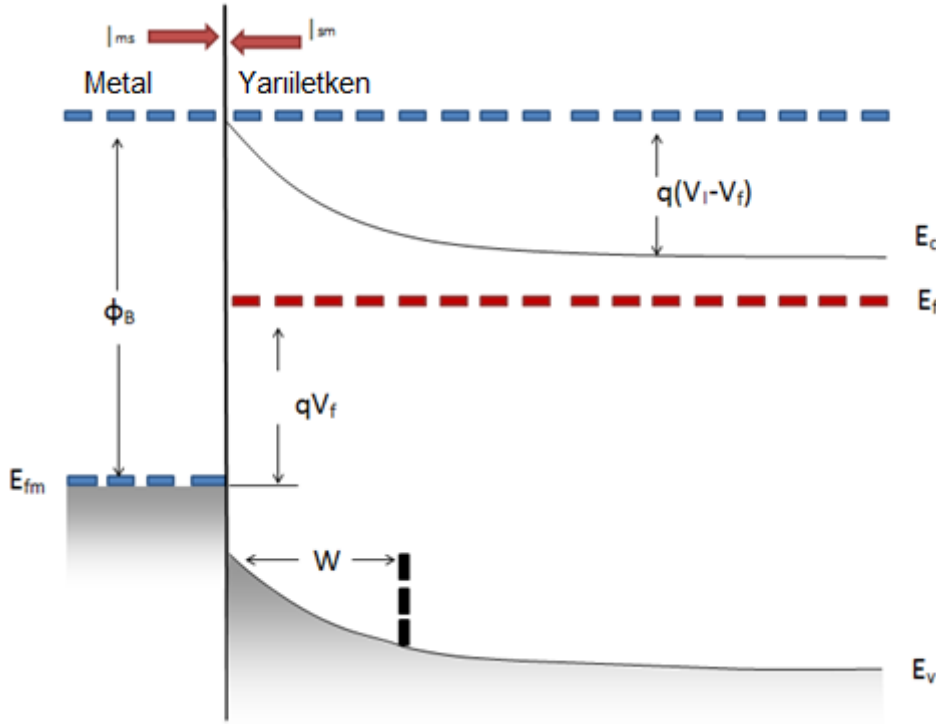
$$\phi_b = qV_i + \phi_n \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilir. Son eşitlikte $\phi_n (=E_c - E_F)$, Fermi seviyesinin yasak bandın ne kadar içerisinde olduğunu ve q elektron yükünü ifade etmektedir [2,10]. Eşitlik 2.2 Schottky tarafından ifade edilmiştir ve bu eşitlik Schottky yaklaşımı olarak bilinmektedir. Birçok durumda ϕ_b potansiyeli kT/q değerinden büyüktür ve p–n eklemlerdeki gibi,

yarıiletkendeki uzay-yük bölgesi tükenim bölgesi durumuna gelir. Böylece Şekil 2.1.b'nin bir doğrultucu eklem olduğu daha kolay anlaşılır. T sıcaklığındaki termal dengede, iletkenlik bant elektronlarının küçük bir kesri engeli aşabilecek yeterli enerjiye sahiptirler. Bu elektronlar metale akar ve metalden yarı iletkene akan I_{ms} akımına neden olurlar. Bu akım, metalden yarı iletkene geçen elektronların oluşturduğu eşit ve zıt yönlü I_{sm} akımıyla dengelidir (Şekil 2.2).

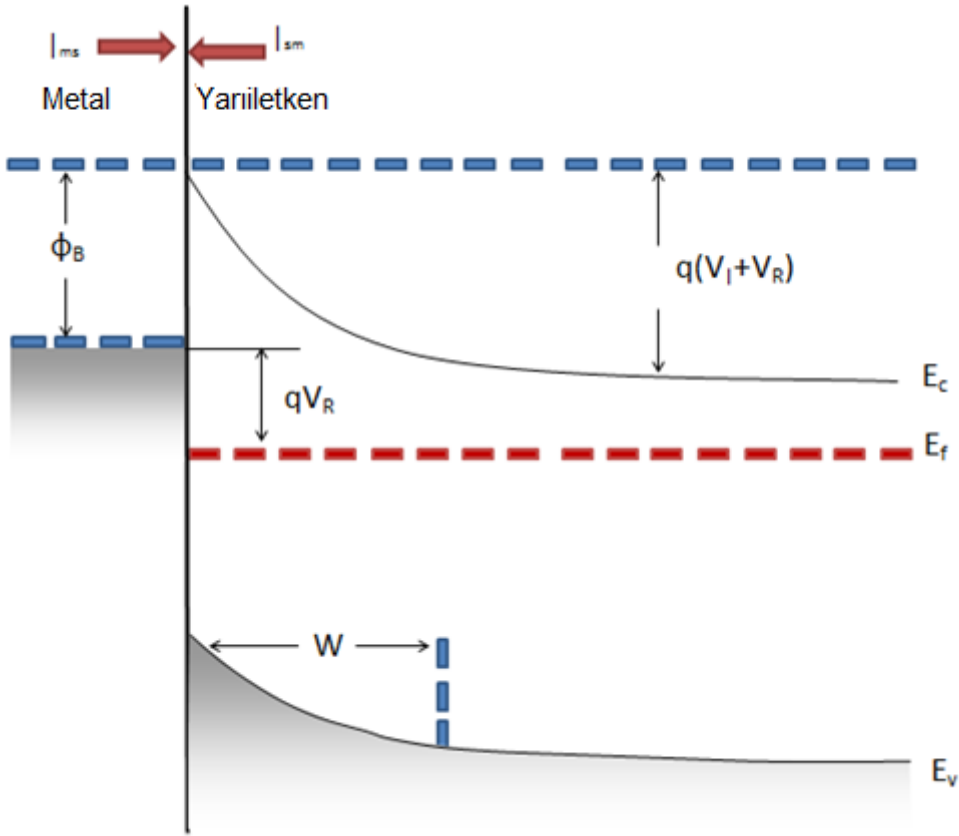


Şekil 2.2. Doğrultucu metal n – tipi yarıiletken eklemnin termal dengedeki enerji – bant diyagramı [2].



Şekil 2.3. Doğrultucu metal n – tipi yarıiletken eklemi doğru ön-gerilimdeki enerji – bant diyagramı [2].

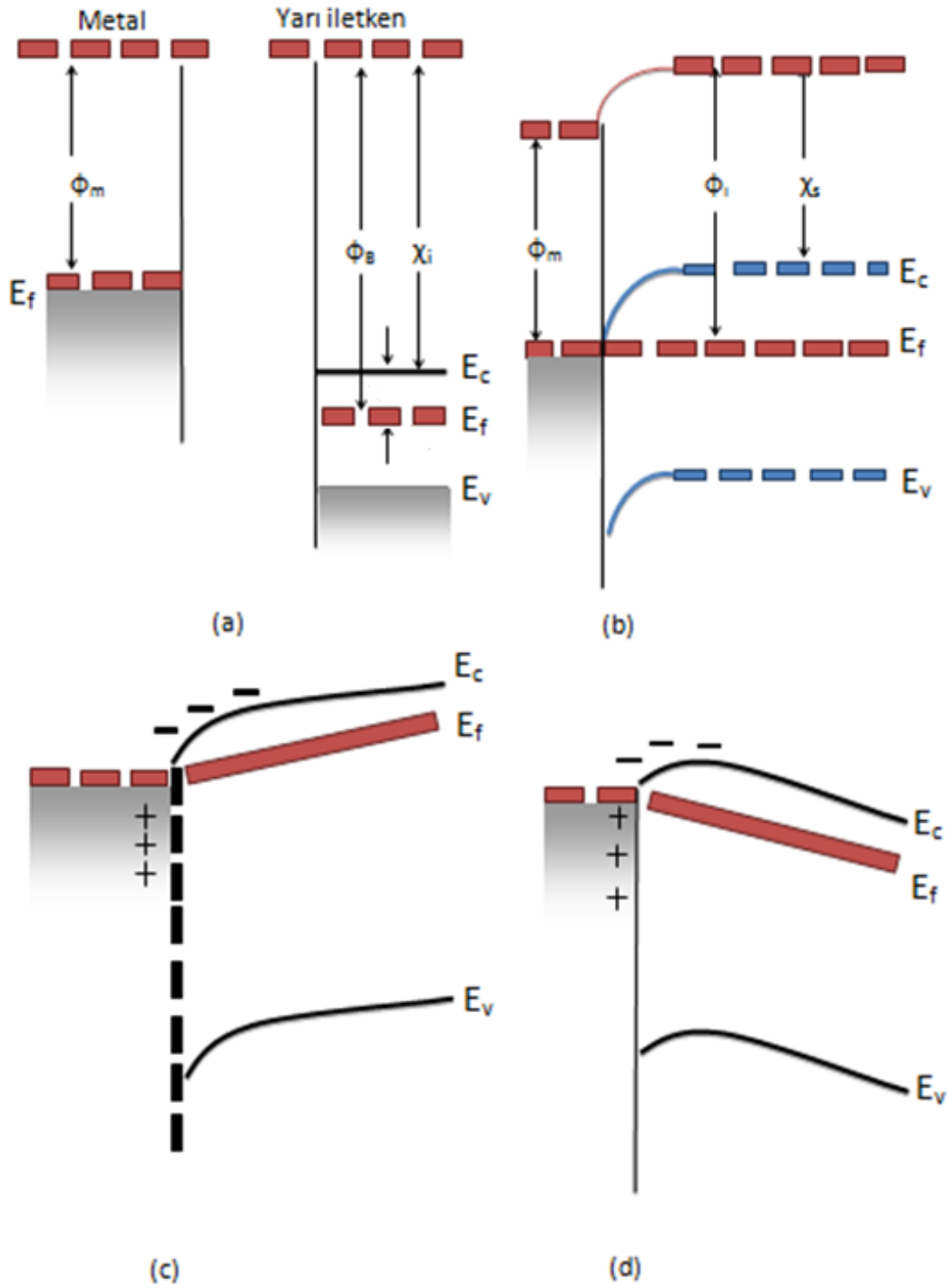
Yarıiletkene, metale göre negatif $V=V_f$ gerilimi uygulanırsa, tükenim tabakası genişliği azalır, Şekil 2.3' te görüldüğü gibi, bu bölge boyunca gerilim V_i ' den V_i-V_f ' ye düşer. Yarıiletken tarafındaki elektronlar böylece daha küçük bir engelle karşılaşılır ve bunun sonucunda yarıiletkenden metale elektron akışı, termal denge durumundaki değerinden daha büyüktür ve I_{sm} termal denge değerinden daha büyük bir değere ulaşır. Metalden yarıiletkene elektron akışında ise, denge değerine göre bir değişiklik olmaz. I_{ms} akımı, termal denge değerine göre değişmez kalır. Değişiklik olmamasının nedeni, metal boyunca gerilim düşmesinin oluşmamasından ve engel yüksekliği ϕ_b ' nin, uygulanan bu gerilimden etkilenmeyerek, aynı kalmasındandır. Böylece yarıiletkene uygulanan negatif gerilim, metalden yarıiletkene net bir akım oluşturmaktadır. Bu durumda eklem doğru yönde gerilimlenmiştir. Aynı zamanda doğru yöndeki akım, uygulanan V_F gerilimiyle üstel olarak artmaktadır.



Şekil 2.4. Doğrultucu metal/n-tipi yarıiletken eklemi ters ön-gerilimdeki enerji bant diyagramı [2]

Ters yönde gerilimlenmiş eklemi enerji-bant diyagramı Şekil 2.4’ te görülmektedir. Burada yarıiletkene, metale göre pozitif $V=V_R$ gerilimi uygulanmıştır ve tükenim tabakası boyunca potansiyel düşmesi, V_i+V_R kadar artmaktadır. Yarıiletkenden metale elektron akışı, termal denge durumundaki değerinden daha azdır. Metalden yarı iletken elektron akışında ise bir değişme olmaz. Böylece I_{sm} akımı, hemen hemen değişmez kalmasına rağmen, I_{ms} akımı termal denge değerinden daha küçüktür. Bunun sonucunda küçük bir ters akım oluşur. Sonuç olarak metal–yarıiletken doğrultucu eklem özelliği gözlenir [2,5,10]. Yukarıdaki sonuçlar, iş fonksiyonu metalinkinden küçük n–tipi yarıiletken için geçerlidir ($\phi_m > \phi_s$). İş fonksiyonu metalinkinden büyük olan n–tipi yarıiletkenin ($\phi_m < \phi_s$) enerji-bant diyagramı Şekil 2.5’ te gösterilmiştir. Şekil 2.5.a, eklem oluşmadan önceki metal ve yarıiletken enerji-bant diyagramlarını göstermektedir. Eklem oluşuktan sonra, termal dengeye ulaşıncaya kadar, elektronlar metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına akarlar ve metalde pozitif yükler bırakırlar. Yarıiletkene geçen elektronlar yarıiletkenin metal kenarında birikirler. Denge sağlandığında yarıiletkendeki Fermi seviyesi Şekil 2.5.b’de görüldüğü gibi, $\phi_s - \phi_m$ değeri kadar yukarı yönelir. Metaldeki elektron

konsantrasyonu çok büyük olduğundan, metaldeki pozitif yükler metal–yarıiletken ara yüzeyinde 0.5 Å kalınlığında yüzey yükü oluştururlar. Yarıiletkende tükenim bölgesi oluşmadığı çok açıktır ve yarı iletkenenden metale veya tam tersi metalden yarıiletkene akan elektronlar için herhangi bir potansiyel engel bulunmamaktadır. Elektron konsantrasyonu ara yüzey kenarında artmakta ve sistemin en büyük öz direnci yarıiletkenin yapısından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.5.c ve Şekil 2.5.d’de görüldüğü gibi, herhangi bir yönde uygulanacak gerilim, eklem boyunca akıma neden olur. Akım, eklem direnci ile belirlenir ve uygulanan gerilimin yönünden bağımsızdır. Doğrultucu özellik göstermeyen bu tip eklemeler omik kontak olarak adlandırılır.



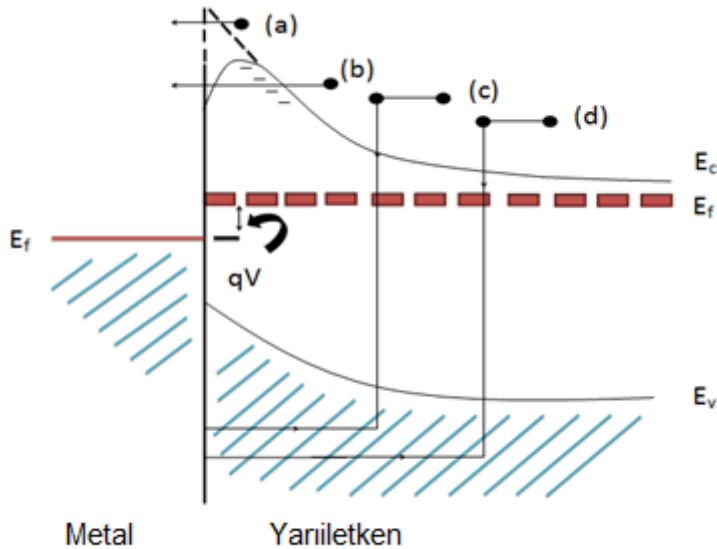
Şekil 2.5. Metal/n-tipi yarıiletken eklemi $\phi_m < \phi_s$ durumundaki enerji-bant diyagramları; a) eklem oluşmadan önceki metal ve yarıiletkenin enerji-bant diyagramları, b) eklem oluşuktan sonraki termal denge durumu, c) yarıiletkene negatif gerilim uygulandığında ve d) yarıiletkene pozitif gerilim uygulandığında oluşan enerji-bant diyagramları [2].

2.3. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

Termal denge durumunda bir metal-yarıiletken kontağa gerilim uygulandığında yük taşıyıcıları metal ile yarıiletken arasındaki engeli aşmak suretiyle;

- akım oluşturabilir
- tünelleme yapabilir
- yeniden birleşerek

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi farklı akım-iletim mekanizmaları oluşturabilir [2-11]. Metal-yarıiletken kontaklarda oluşan bu mekanizmalar üzerinde arayüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi vb. faktörlerin etkisini belirlemek sonuçların doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Metal-yarıiletken arayüzeyinde gerçekleşen akım iletiminden söz ederken sadece bir mekanizmadan bahsetmek doğru olmaz o nedenle diğer mekanizmaların akıma katkısının (ihmal edilebilir boyutlarda) yanı sıra baskın olan bir mekanizmadan bahsetmek bizi daha doğru sonuçlara götürür.



Şekil 2.6. Metal/n-tipi Si yarıiletkende doğru beslem altında temel akım iletim mekanizmaları; (a)potansiyel engelin tepesi üzerinden, metalin içersine doğru elektronların iletimi (termoiyonik emisyon), (b)elektronların engel içinden doğrudan kuantum-mekaniksel tünellemeleri (engel içinde tünelleme), (c)uzay yük bölgesinde yeniden birleşme, (d) metalden yarıiletkenedeşik enjeksiyonu

Schottky diyotlarda en muhtemel mekanizma, yeterli termal enerjiyi kazanan yük taşıyıcısının potansiyel engeli üzerinden atlaması yani termoiyonik emisyon (TE) mekanizmasıdır. Bu mekanizma, Schottky engel yüksekliğini elde etmekte yaygın olarak kullanılan standart bir modeldir. Diğer mekanizmalar, alan emisyonu (FE) ve termoiyonik alan emisyonunu (TFE) içine alan engel boyunca tünelleme, difüzyon teorisi, deplasyon bölgesinde rekombinasyon ve jenarasyon mekanizmalarıdır [2].

2.3.1. Termoiyonik emisyon (TE) teorisi

Metal-yarıiletken kontaklarda termoiyonik emisyon teorisi, taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini (Φ_b) aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise boşluklar akımı sağlar. Termoiyonik emisyon teorisi oluşturulurken, Maxwell-Boltzmann yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelinin, kT enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmalarının çok küçük olduğu kabul edilmektedir.

Metal-yarıiletken kontaklardaki akım mekanizmaları ilk olarak Bethe tarafından ve daha ayrıntılı olarak da Cowley ve Sze tarafından ortaya atılmıştır [7]. Bethe'nin MS kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu TE'nin varsayımları aşağıdaki şekildedir [2,7,10];

- Potansiyel engelinin yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.
- Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

$J_{s \rightarrow m}$ akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu nedenle,

$$J_{sm} = \int_{E_F + q\Phi_B}^{\infty} q \mathcal{G}_x dn \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerji, v_x taşınma yönündeki hızdır.

Kontak yüzeyine dik doğrultuda elektronların x yönündeki hız bileşeni v_x ile gösterilirse, yarıiletken yapıda hızları v_x ile $v_x + \Delta v_x$ arasında olan elektronların yoğunluk ifadesi;

$$dn_x = N_d \left(\frac{m_e^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{m_e^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \quad (2.6)$$

eşitliği ile verilir. Burada N_d yarıiletkene katkılanan verici atomların yoğunluğu, m_e^* elektronun etkin kütlesi, k Boltzman sabiti ve T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. Yarıiletkene bir dış gerilim uygulandığında elektronlar için yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu, hızları $(m_e^* v_x^2)/2 > eV_D$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımı;

$$\begin{aligned} J_{sm} &= \int_{v_{0x}}^{\infty} q v_x dn_x = \int_{v_{0x}}^{\infty} q N_d \left(\frac{m_e^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} v_x \exp \left(- \frac{m_e^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \\ &= q N_d \left(\frac{kT}{2\pi m_e^*} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{m_e^* v_x^2}{2kT} \right) = q N_d \left(\frac{kT}{2\pi m_e^*} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{qV_D}{kT} \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

şeklinde olacaktır. Metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre görülen potansiyel engel yüksekliği;

$$q\Phi_{Bn} = qV_D + E_F \quad (2.8)$$

dir. Elektronlar için etkin Richardson sabiti A^* ,

$$A^* = \frac{4\pi q m_e^* k^2}{h^3} \quad (2.9)$$

eşitliği ile verilir. Yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi için

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.10)$$

eşitliği elde edilir. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemde iken engel yüksekliği azalacağından akım yoğunluğu değeri $\exp(eV/kT)$ çarpanıyla orantılı olarak artacaktır. Bu yüzden yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu J_{sm}

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.11)$$

ifadesine dönüşür. Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene doğru akım yoğunlukları eşittir ve toplam akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.12)$$

olur. Burada, köşeli parantez önündeki tüm ifade sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğu ifadesidir. Yani doyma akım yoğunluğu yada diğer adıyla ters doyum akım yoğunluğu ifadesi,

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.13)$$

ile verilir [2,5,7,10]. Schottky etkisi uygulanan gerilim vedeşikler ile elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşmeden dolayı engel yüksekliğinde $q(\Delta\Phi_{Bn})$ kadar bir alçalma olur. Bu engel alçalması ise,

$$q(\Delta\Phi_{Bn}) = \alpha_o (V_D + V)^{1/4} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılır. Dolayısıyla akım yoğunluğu ifadesinde $e\Phi_{Bn}$ 'nin yerine $(\Phi_{Bn} - \Delta\Phi_{Bn})$ yazılırsa;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\alpha_o (V_D + V)^{1/4}\right) \quad (2.15)$$

eşitliği elde edilir. Görüldüğü gibi doyma akım yoğunluğu gerilime bağlıdır. Burada Φ_{Bn} sıfır beslemde ve Schottky etkisi olmadığı durumdaki engel yüksekliği ve α_0 sabiti ise;

$$\alpha_0 = \left\{ \frac{q^4 N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2} \right\}^{1/4} \quad (2.16)$$

olup buradaki ϵ_s ve ϵ_0 sırasıyla yarıiletkenin ve boşluğun dielektrik sabitleridir.

2.3.2. Difüzyon teorisi

Aralarında yoğunluk gradiyenti bulunan bölgeler arasında, yoğunluğun çok olduğu bölgeden az olduğu bölgeye doğru olan yük geçişlerine difüzyon denir. Schottky tarafından verilen teori aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır [2]:

- Potansiyel engel yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- Tüketim bölgesindeki elektronların çarpışma ihtimalleri dahil edilmiştir.
- $x = 0$ ve $x = W$ deki taşıyıcı konsantrasyonu termal denge değerlerine sahip olup, akımdan etkilenmez.
- Akım difüzyon ve sürüklenme ile sınırlanmıştır.
- Yarıiletkendeki safsızlık konsantrasyonu dejenere değildir yani katkı atomların yoğunluğu değişmez.

Bu varsayımlardan hareketle tüketim tabakasındaki akım, bölgesel alan ve yoğunluk farkına bağlı olduğundan akım-voltaj karakteristiğini çıkarmak için tüketim bölgesinde akım yoğunluğu metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için;

$$J_x = J_n = q[n(x)\mu_n E(x) + D_n \partial_n / \partial_x] = qD_n \left\{ \left[-qn(x)/kT \right] \left[\partial V(x)/\partial x \right] + \partial n / \partial x \right\} \quad (2.17)$$

yazılabilir. Burada D_n elektron difüzyon sabiti, $E(x)$ Schottky bölgesinde elektrik alanı, μ_n taşıyıcı hareketliliği (mobilité) ve $n(x)$ herhangi bir x noktasındaki taşıyıcı yoğunluğudur. Buna göre difüzyon teorisine göre akım yoğunluğu;

$$J = J_{SD} [\exp(qV / kT) - 1] \quad (2.18)$$

ile verilir. Burada J_{SD} doyum akım yoğunluğu olup,

$$J_{SD} = (q^2 N_c D_n / kT) [q(V_d - V) 2N_D / \epsilon_s]^{1/2} \exp(-q\Phi_B / kT) \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N_c iletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğu, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik geçirgenliğidir. Yukarıda bağıntılarda $n(x)$ yerine $p(x)$, D_n yerine D_p , N_c yerine N_v , N_D yerine N_A yazılarak benzer işlemler metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için de geçerlidir.

2.3.3. Tünelleme (Alan emisyonu ve Termoiyonik-alan emisyonu)

Metal-yarıiletken Schottky kontaklarda önemli olan diğer bir akım iletim mekanizması da tünellemedir [2]. Metal-yarıiletken arayüzeyindeki tünelleme mekanizmasında, elektronlar engel genişliğinin (deplasyon bölge genişliği) kalın olmadığı durumlarda engelin üzerinden atlamaksızın Schottky engeli boyunca tünellenebilirler [2].

Schottky engeli boyunca olan elektronların tünellenmesi Padovani tarafından geniş olarak ele alınmıştır [2-5]. Padovani'ye göre engel boyunca gerçekleşen elektron tünellemesi ya yarıiletkenin Fermi seviyesinden metale doğru (alan emisyonu, FE) elektron tünellemesiyle ya da yüksek enerjilere uyarılabilecek ve dar üçgen potansiyel boyunca tünellenebilecek olan elektronların termal enerjisi yardımıyla (Termoiyonik alan emisyonu, TFE) akıma katkıda bulunur. Alan emisyonu (FE) veya doğrudan tünellemenin oluşumu, yarıiletkenin aşırı oranda katkılandığı durumda Fermi seviyesinin iletkenlik bandı ile çakışması sonucu kuvvetle muhtemeldir. (Şekil 2.7). Dolayısıyla burada termoiyonik alan emisyonu mekanizması ayrıntılı olarak incelenecektir.

Alan emisyonu ve termoiyonik alan emisyon için akım,

$$I = I_o \exp\left(-\frac{qV}{E_o}\right) \quad (2.20)$$

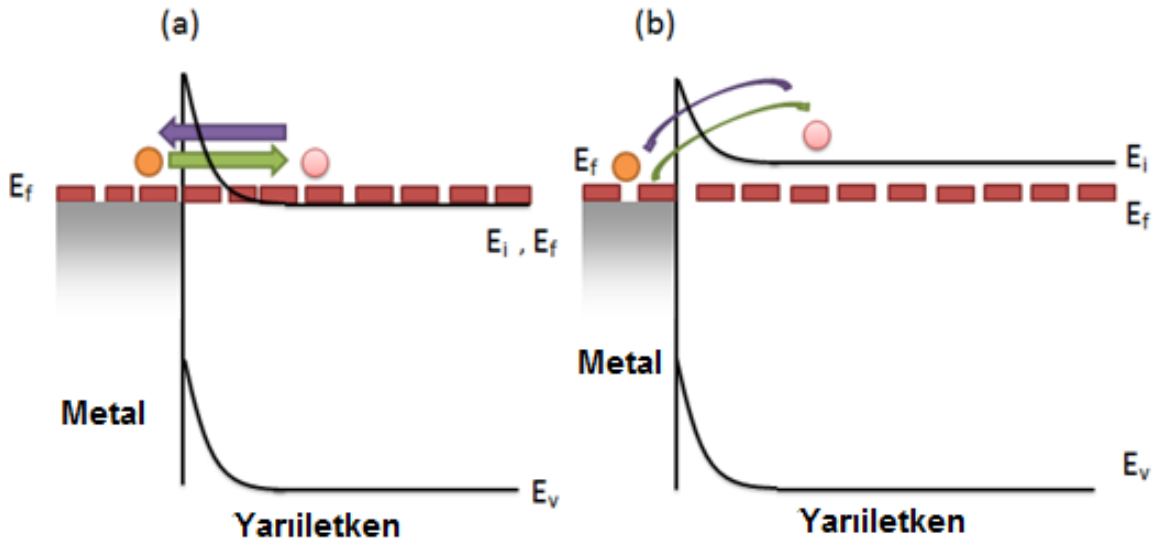
ile verilir. Bu ifadede

$$E_o = E_{oo} \coth\left(\frac{qE_{oo}}{kT}\right) \quad (2.21)$$

ve

$$E_{oo} = \frac{\hbar}{2} \left(\frac{N_d}{m^* \epsilon_s} \right)^{1/2} \quad (2.22)$$

dır. Burada E_{oo} tünelleme olasılığını temsil eden karakteristik enerji, m^* elektron etkin kütlesi, ϵ_s dielektrik sabiti, N_d donör konsantrasyonudur. kT/qE_{oo} oranı termoiyonik emisyon ve tünelleme mekanizmaları hakkında önemli bilgiler verir. E_{oo} , deplasyon bölgesi kenarında iletkenlik bandının tabanıyla çakışan enerjiye sahip bir elektron için karşı tarafa geçme ihtimaliyetinin $1/e$ ' ye karşılık gelen Schottky engelinin difüzyon potansiyelidir. $kT \ll qE_{oo}$ ise alan emisyonu (FE), $kT \sim qE_{oo}$ ise termoiyonik alan emisyon (TFE) ve $kT \gg qE_{oo}$ ise termoiyonik emisyon (TE) mekanizmalarının olması beklenir [2].



Şekil 2.7. a) FE ve b) TFE mekanizmalarının oluşumu [2,5,7]

2.3.4. Deplasyon bölgesi jenerasyon-rekombinasyonu

Deplasyon bölgesindeki jenerasyon-rekombinasyon etkileri termoiyonik emisyon akım iletim mekanizması bileşenine paralel bir artış verir. Bu etki özellikle orta sıcaklık bölgesinde önemli bir mekanizmadır [2].

Uzay yükü bölgesindeki rekombinasyonun önemi Yu ve arkadaşları tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır [9]. Rekombinasyon olayı genel anlamda lokal durumlar sonucunda ortaya çıkar. Shockley-Read ve Hall teorilerine göre, en etkin olan rekombinasyon merkezleri, band aralığının ortasına yakın enerjilere sahip merkezlerdir. Schottky diyotlarda rekombinasyonun olduğu durumlardaki akım iletim mekanizması pn eklem diyotun akım iletim mekanizmasına benzemektedir. Düz beslemdeki küçük gerilim bölgesinde baskın olan rekombinasyon akım yoğunluğunun yaklaşık olarak;

$$J_r = J_{r0} \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right] \quad (2.23)$$

ile verilebileceğini açıklanmıştır [50]. $J_{r0} = qn_i w / 2\tau_r$ olup buradaki n_i , asal elektron konsantrasyonudur ve $n_i \propto -qE_g / 2kT$ şeklinde bir orantı vardır. Ayrıca burada w , deplasyon bölgesinin genişliği, τ_r elektronların bu bölgeyi geçmesi için gerekli zamandır. Homojen dağılıma sahip merkezlerden dolayı, elektron ve holler için yakalama tesir kesitleri eşit olur.

Rekombinasyon akımının termoiyonik emisyon akımına oranı,

$$T^2 \tau_r \exp\left[q\left(\frac{E_g + V - 2\phi_b}{2kT}\right)\right] \quad (2.24)$$

ile verilmektedir. Bu oran τ_r , V ve E_g ile artarken, ϕ_b ile azalmaktadır. Düz beslemdeki rekombinasyon akımının sıcaklıkla ters orantılı değişimi yüksek ve düşük sıcaklıklarda iki farklı eğimi olan bir doğru verir. Bu bölgelerde, düşük sıcaklıklarda aktivasyon enerjisi $\frac{E_g - V}{2}$ değerine ve yüksek sıcaklıklarda ise $\phi_b - V$ değerine yaklaşık olarak eşittir. Bu durumlar dikkate alındığında Schottky diyotlarda ideal durumdan sapmaların bir nedeni de

rekombinasyon akımıdır. İdeal durumdan sapmalar özellikle düşük sıcaklıklarda daha belirgin olduğu için düşük sıcaklıklardaki ölçülerin de dikkate alınması gerekir.

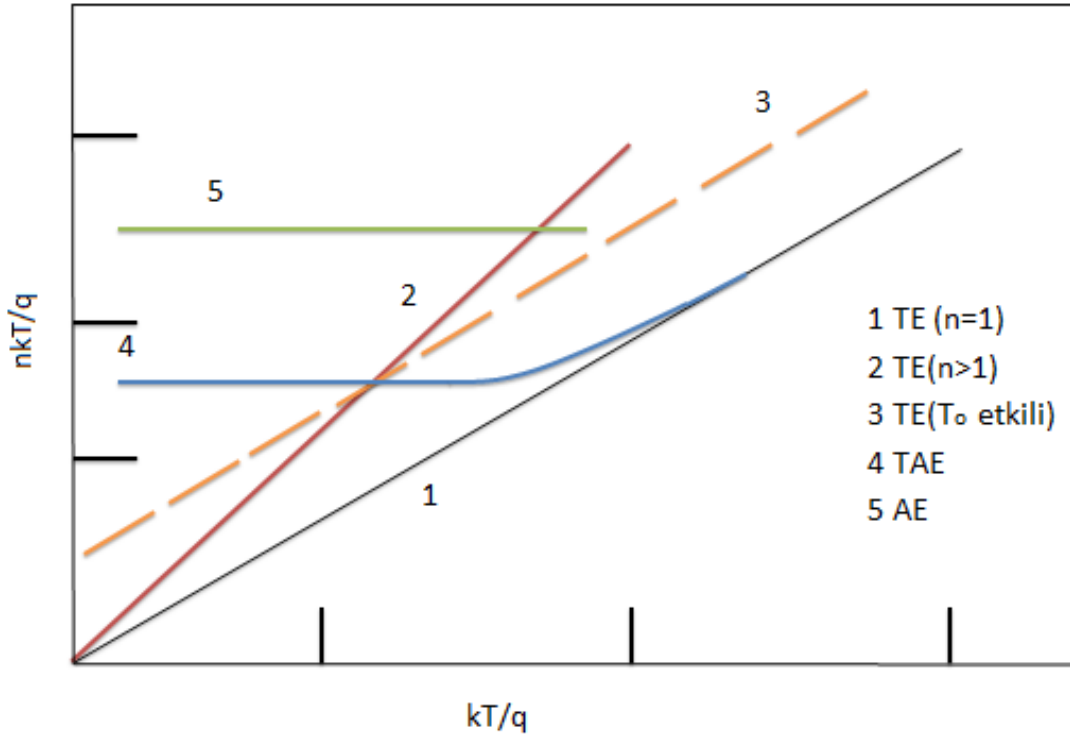
Şayet tünelleme ve imaj kuvvet azalması düşük bir donör konsantrasyonu ile önemli derecede azaltılırsa, deplasyon bölgesinde elektron-hol çiftlerinin jenerasyonundan (oluşması) dolayı fark edilebilir derecede bir ters akım oluşabilir. Bu işlem rekombinasyonun tersi bir işlem olup, jenerasyon mekanizmasıyla oluşan akım (J_g), $J_g = qn_i w / 2r\tau$ ile verilir. Deplasyon bölgesinin genişliği $V_d + V$ ile orantılı olduğu için, akım yoğunluğu ters uygulama gerilimi ile artar. Jenerasyon akımı yüksek engel yüksekliği durumlarında ve kısa ömürlerin söz konusu olduğu yarıiletkenlerde çok önemlidir. Özellikle yüksek sıcaklıklardan ziyade düşük sıcaklıklarda çok önemlidir. Çünkü, termoiyonik emisyon bileşeninden daha düşük aktivasyon enerjisine sahiptir.

2.3.5. T_o etkili akım iletimi

İdealite faktörünün birden büyük olması hayali kuvvet ya da arayüzey durumlarından ortaya çıkıyorsa n sıcaklıktan bağımsız olmalıdır. Fakat n 'nin birden büyük olması eğer termoiyonik alan emisyonundan veya tüketim bölgesindeki rekombinasyon akımlarından kaynaklanıyorsa, idealite faktörü n sıcaklığa bağlıdır. Schottky diyotların çoğunluğunda n sıcaklığa bağlıdır. T_o etkili J - V karakteristiği,

$$J = A^{**} \cdot T^2 \exp \left[-\frac{q\phi_b}{k(T+T_o)} \right] \cdot \left\{ \exp \left[\frac{qV}{k(T+T_o)} \right] - 1 \right\} \quad (2.25)$$

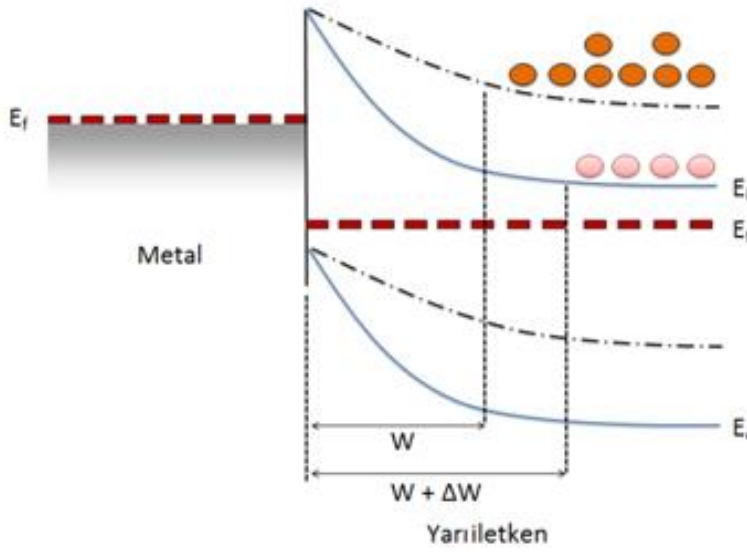
şeklinde ifade edilir [2-10]. Burada T_o geniş bir sıcaklık aralığında sıcaklık ve voltajdan bağımsız olan sabit bir parametredir. n 'nin sıcaklığa bağılılığı deneysel olarak $n = 1 + T_o/T$ olarak ifade edilir. Voltajın fonksiyonu olarak değişik akım-iletim mekanizmaları Şekil 2.8'de görüldüğü gibi olabilir. I,II,III eğrileri, TE teorisinin baskın olduğu mekanizmaları belirtir. Bunlar $n = 1$, $n > 1$ ve T_o etkili durumlarına karşılık gelir. IV eğrisi TAE ve V eğrisi AE iletim mekanizmalarının etkin olduğu durumları gösterir [9-11].



Şekil 2.8. Farklı akım iletim mekanizmalarını gösteren nkT/q - kT/q grafiği [2,10]

2.4. Schottky engel diyotların kapasitansı

Schottky diyotlar deplasyon bölgesindeki yük dağılımlarından dolayı paralel plakalı kondansatör gibi ele alınabilir. Bununla beraber deplasyon bölgesi, uygulama potansiyeli ve yük durumuna bağlı olarak değişim gösterir (Şekil 2.9). Ters beslem altındaki kapasite ölçümleri diyotun engel parametreleri hakkında önemli bilgiler verir. Artan ters beslem gerilimi ile yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar geriye doğru çekilir ve deplasyon bölgesinin genişliği $W+\Delta W$ kadar artar. Deplasyon bölgesindeki yükte meydana gelen değişim, kapasitede bir değişime neden olur.



Şekil 2.9. Bir metal/*n*-tipi yarıiletken Schottky diyotun ters ön gerilim altındaki enerji-bant diyagramı

Kapasite-gerilim (*C-V*) ölçümleri genellikle bir DC sinyal üzerine küçük genlikli bir AC sinyal bindirilerek gerçekleştirilir. Bu deneysel şartlar altında, süreklilik ve Gauss denklemleri çözülerek ters beslem geriliminin fonksiyonu olarak birim alan başına Schottky kapasitesi ile verilir [2-5].

$$C = \left[\frac{q\epsilon_s N_d}{2(V_{b0} + V)} \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

2.5. Schottky diyotların ideal durumdan sapma nedenleri

2.5.1. Görüntü-kuvvet (Schottky) etkisi

İdeal bir Schottky diyot için engel yüksekliği ifadesi;

$$\Phi_b = \Phi_m - \chi_s \quad (2.27)$$

ile verilmektedir. Fakat bazı etkiler teorik olarak verilen bu gerçek Schottky engel yüksekliği ifadesini değiştirebilir. Bu etkilerden ilki; Schottky etkisi veya görüntü kuvvet etkisinden dolayı engel yüksekliğinin azalmasıdır.

Metalden x kadar uzaklıktaki bir mesafede bir dielektrikteki bir elektron bir elektrik alan oluşturacaktır. Elektrik alan çizgileri, metal yüzeyine dik olmalıdır ve bu çizgiler metalin yüzeyinden iç kısma doğru x kadarlık bir mesafede yerleşmiş bir $+q$ imaj yükününkü ile aynı olacaktır. Bu imaj etkisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir. İmaj yükü ile Coulumb etkileşmesinden dolayı elektron üzerine etki eden kuvvet,

$$F = \frac{-q^2}{4\pi\epsilon_s(2x)^2} = -qE \quad (2.28)$$

ifadesi ile verilir (5). Potansiyel ifadesi ise,

$$-\Phi(x) = + \int_x^{\infty} E dx = + \int_x^{\infty} \frac{q}{4\pi\epsilon_s 4(x)^2} dx = \frac{-q}{16\pi\epsilon_s x} \quad (2.29)$$

ile verilir. Burada x integral değişkeni olup, $x = \infty$ için potansiyel sıfır olarak kabul edilmektedir. Elektronun potansiyel enerjisinin $-q\Phi(x)$ değişimi başka elektrik alanın olmadığı kabul edilerek Şekil 2.9'da gösterilmektedir.

Metal-yarıiletken arayüzeyindeki toplam potansiyele, bu imaj potansiyeli de katkıda bulunacağından toplam potansiyel ifadesi yeniden şu şekilde düzenlenir.

$$-\Phi(x) = \frac{-q}{16\pi\epsilon_s x} - E \cdot x \quad (2.30)$$

Sabit bir elektrik alanının varlığında elektronun potansiyel enerji değişimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi potansiyel engelin maksimum değeri azalmaktadır. Potansiyel engelin bu şekilde azalması imaj-kuvvet etkisi ile engel yüksekliğinin azalması olarak bilinir.

Toplam potansiyelin türevi, değerinin maksimum olduğu noktada sıfır olacağından,

$$\frac{d(q\Phi(x))}{dx} = 0 \quad (2.31)$$

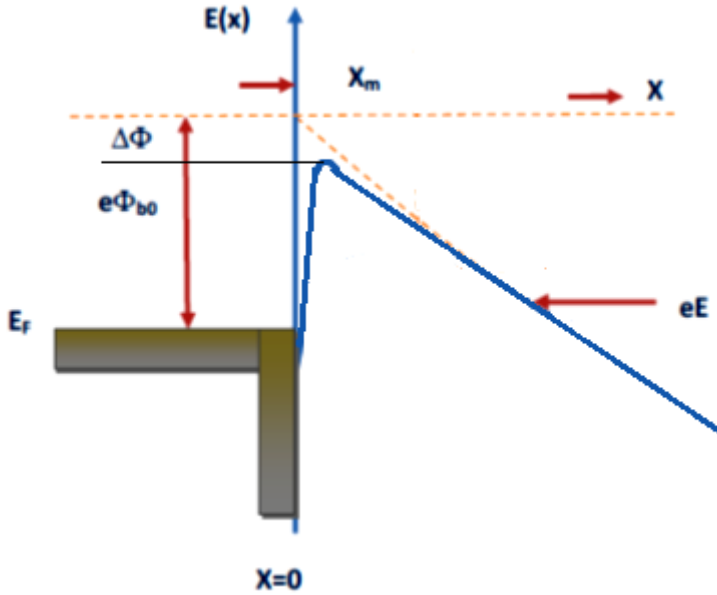
yani potansiyel engelinin maksimum olduğu konum,

$$x_m = \sqrt{\frac{q}{16\pi\epsilon_s E}} \quad (2.32)$$

olur ve imaj-kuvvet etkisinden dolayı Schottky engel yüksekliğinin azalması,

$$\Delta\Phi = \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_s}} \quad (2.33)$$

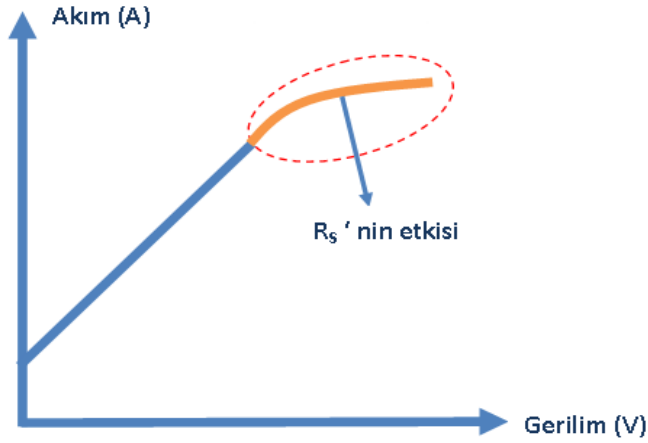
ile verilir [2-10].



Şekil 2.10. Sabit bir elektrik alanda imaj kuvvetinden dolayı potansiyel engelindeki bükülme

2.5.2. Seri direnç etkisi

Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda, yarıiletken tarafında oluşan tüketim bölgesi dışında kalan nötral bölgenin diyot akımına karşı gösterdiği dirençtir ve R_s ile gösterilir. Bu etki, yüksek gerilim değerlerinde baskın olmaya başlar ve diyot akımının düşmesine neden olur. Şekil 2.11, bir Schottky diyota yüksek gerilim uygulandığı zaman seri direncin akımda doyum etkisi ile meydana gelen diyot akımındaki azalmayı göstermektedir [2].



Şekil 2.11. Metal/yarıiletken kontakta seri direncin etkisi

2.5.3. Tünelleme etkisi

Aşırı katkılanmış yarıiletkenlerden yapılan Schottky kontaklarda, düşük sıcaklıklarda baskın durumda olan bir mekanizmadır. Bu mekanizmada yük taşıyıcıları, normal olarak engel üzerinden geçmeyip engeli kuantum mekaniksel tünelleyerek geçerler. Bu mekanizma diyotun elektriksel karakteristiklerinin ideal durumdan sapmasına yol açar [2].

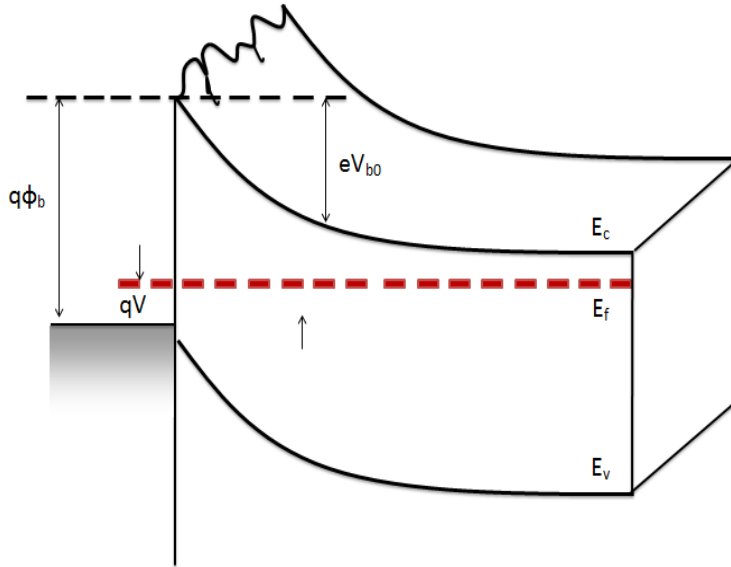
2.5.4. Kenar etkileri

Metal/yarıiletken arasında elektrik alan çizgilerinin ekleme dik olduğu önceki bölümlerde varsayılmıştır. Ancak Schottky kontaklar, genelde geniş bir yarıiletken yüzeyine küçük bir metal nokta yapılarak oluşturulmaktadır. Metal noktanın kenarındaki elektrik alanın değerinin, merkezindeki alandan daha küçük olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda, Schottky kontakların ters beslem akım değerlerinin teorik değerlerden daha büyük olduğu görüldü. Bu durumun kenar sızıntı akımı ile açıklanabileceği ortaya konuldu. Kenar etkisini yok etmek için metal yarıiletken diyotlar guard (koruma yüzüğü) yapılıdır. Koruma yüzüğü n -tipi bir yarıiletken için p -tipi bölgeler oluşturularak yapılır [2].

2.5.5. Yüzey kusurları

Schottky kontaklarda engel yüksekliği, I - V ve C - V ölçümleri için farklı sonuçlar verir. Schottky kontaklarda I - V ve C - V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi ve idealite faktörünün 1'den büyük olması farklı şekillerde açıklanmaktadır.

Yarıiletken ve/veya metalden kaynaklanan metal-yarıiletken arayüzeyinin düzgün olmaması, Şekil 2.12’de gösterilen V_{b0} (built-in voltajı) ve engel yüksekliğinin farklı uzaysal değişimlerine neden olarak homojen olmayan bir dağılıma neden olacaktır. Yarıiletken yüzeyinin yapısı, metaldeki atomik yapı, dislokasyonlar ve tanecik sınırlarının (grain boundary) yanı sıra metalin kalınlığının değişimi arayüzeyin pürüzlü olmasına neden olabilir. Bu potansiyel değişimlerin bir başka nedeni de alan emisyonundan dolayı yerel engel yüksekliğinin azalması olabilir. Ayrıca arayüzeyde farklı metalik fazların etkisi ile de bu yerel değişimler ortaya çıkabilir. Bunun yanı sıra yarıiletkendeki donör atomlarının rasgele dağıldığı düzenli bir örgüde bu atomlar arasındaki düzensiz mesafeler de bahsedilen potansiyel değişimlerin bir başka nedeni olabilir [29].



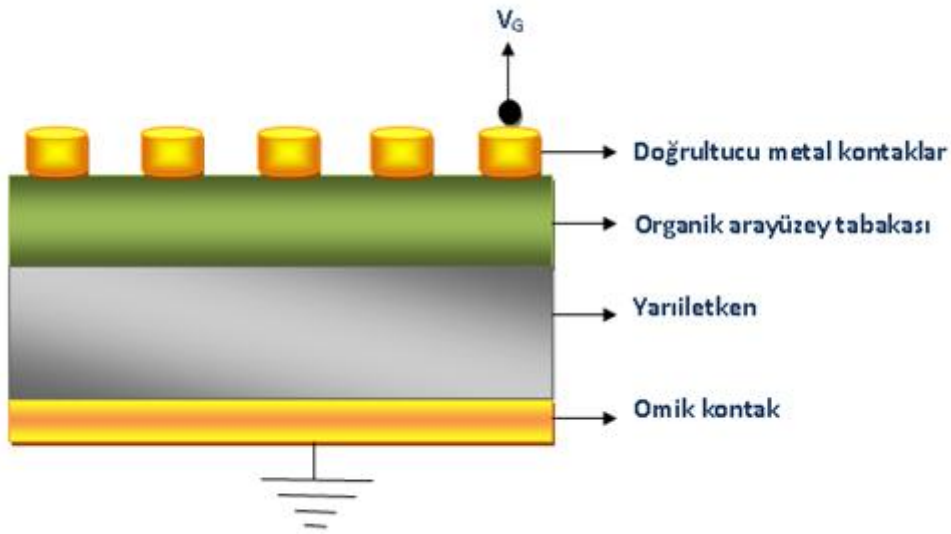
Şekil 2.12. Homojen engel yüksekliğine sahip olmayan bir Schottky kontağın V gerilimi altındaki iki boyutlu bant diyagramı

2.6. Metal-Yalıtkan/Organik Arayüzey Tabaka-Yarıiletken Schottky Engel Diyotların Yapısı

Metal ile yarıiletken arasında yalıtkan veya organik (polimer) bir arayüzey tabakanın varlığı, metal/yarıiletken (MS) yapıyı metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) yapıya dönüştür. Bu arayüzey tabaka hem metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. Kullanılan arayüzey tabaka aygıt performansı, kararlılığı ve güvenilirliği açısından çok önem taşımaktadır. M/S

arayüzeyinde kullanılan organik (polimer) bir arayüzey tabaka daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirilmesi, sızıntı akımını azaltması, yüksek elektriksel iletkenlik sağlaması nedeniyle özellikle tercih edilmektedir. Metal-yarıiletken Schottky diyotlar, hem arayüzey tabakaya hem de bir seri dirence sahip ise diyot üzerine uygulanan geçit voltajı (V_G); bu arayüzey tabaka, yapının seri direnci ve diyot tarafından ($V_G = V_D + V_{R_s} + V_i$) bölüşülür. Bu nedenle MIS veya MPS yapılarında akım-iletimi MS yapılardan oldukça farklı olacaktır. Bir MIS veya MPS yapının şematik diyagramı Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

Doymamış bağlardan veya safsızlıklardan kaynaklanan M/S arayüzeyindeki durumlar ve yalıtkan tabaka büyütme sırasında yonteme bağı olarak ortaya çıkan, hareketli iyonlar, tuzaklar ve arayüzey yüklerinin bulunması MIS veya MPS yapının özelliklerini değiştirmekte, böylece yapının ideal özelliklerinden sapmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.13. Bir MIS veya MPS yapının şematik gösterimi

2.7. İdeal MIS yapı

İdeal MIS olarak tanımlanan yapı aşağıdaki özelliklere sahiptir [2].

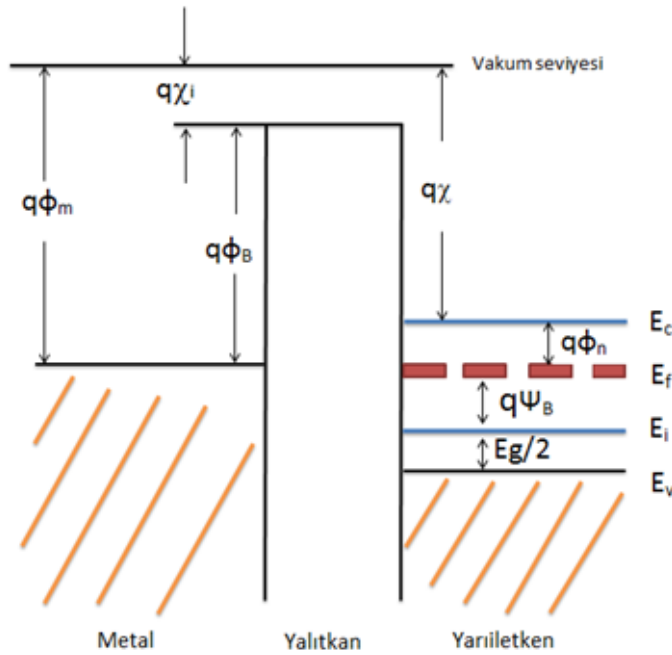
Herhangi bir gerilim uygulanmadığı zaman metalin iş fonksiyonu ϕ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu ϕ_s arasındaki fark sıfırdır.

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \quad (2.34)$$

Burada χ yarıiletken elektron yakınlığı, E_g yasak enerji aralığı ve ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.

- d.c. beslem şartları altında yalıtkana doğru taşıyıcı geçişi yoktur yani yalıtkanın özdirenci sonsuzdur.
- Herhangi bir beslem şartı altında, yapıdaki yükler yalıtkan ile bitişik, metal yüzeyindekiler ile yarıiletkendekiler eşit miktarda fakat zıt yönlüdür.

İdeal MIS yapının, $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı (n-tipi yarıiletken).

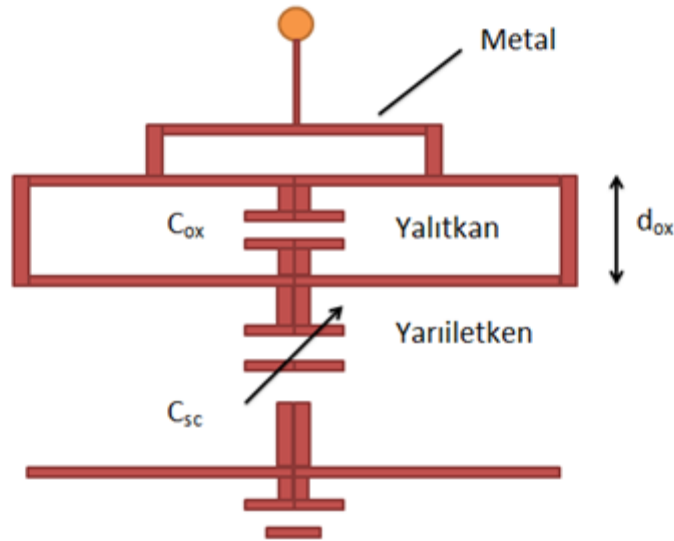
İdeal bir MIS yapıda metal elektroda gerilim uygulandığı zaman yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Yarıiletkendeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre daha az ve uygulanan gerilime bağlıdır. Yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine sebep olan uzay yükü Q_{sc} oluşur. Termal denge durumunda arayüzey bölgesindeki uzay yükü potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. Yarıiletkende yükler katkılama türüne göre çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar olup, yarıiletkende metallere göre serbest olmayan

yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesini ya da arayüzey bölgesindeki yığılmaları oluşturur. Uygulanan V_G geriliminin bir kısmı yarıiletken üzerine bir kısmı da yalıtkan tabaka üzerine düşer. Bunun için,

$$V_G = V_{ox} + \psi_s \quad (2.35)$$

eşitliği yazılabilir. Bu ifadede V_{ox} yalıtkan üzerine düşen gerilim, ψ_s arayüzeydeki bant gerilimidir [2,9].

Metal ve yarıiletken tabaka arasındaki yalıtkan veya organik arayüzey tabakadan dolayı metal ve yarıiletken arasında bir kapasitans oluşur. Bu kapasitans MIS kapasitansı olarak adlandırılır. Uygulanan gerilimde küçük diferansiyel değişimler varsa MIS yapının kapasitansı C , yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} olarak gösterilebilir. Bunların eşdeğer kapasitansları bize MIS kapasitansını verecektir.



Şekil 2.15. MIS kapasitansının eşdeğer devresi

Şekil 2.15'deki eşdeğer devrenin çözümünde MIS kapasitansı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_{ox}} \quad (2.36)$$

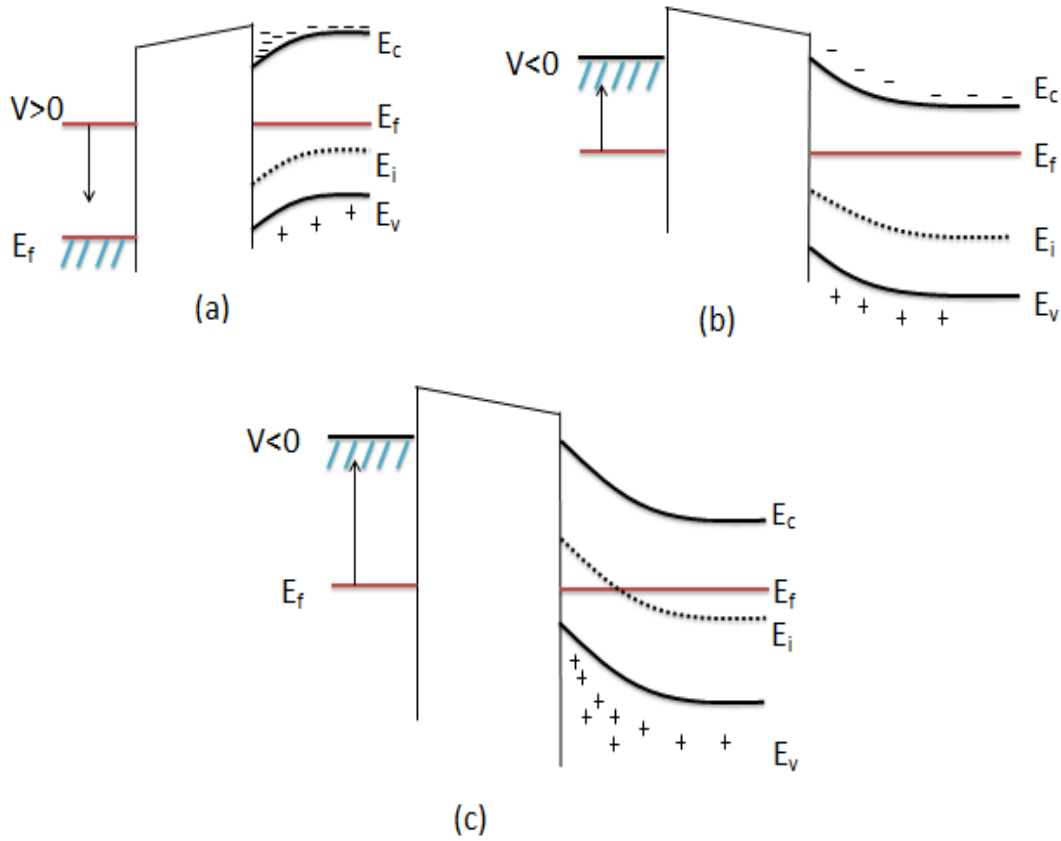
Bu sonuca göre MIS yapının eşdeğer kapasitansı, C_{sc} ve C_{ox} kapasitanslarının seri bağlanmasına eşdeğerdir. Yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ise,

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} A_{ox} \quad (2.37)$$

olarak verilir. Bağlantıda ϵ_{ox} yalıtkan tabakasının dielektrik sabiti, d_{ox} ise onun kalınlığı olup uygulanan gerilimden bağımsız olduklarından C_{ox} değeri uygulanan gerilimle değişmez. Böylece MIS yapının kapasitansındaki değişimi sadece Q_{sc} uzay yükü kapasitansı belirler. Uygulanan gerilime bağlı olarak MIS kapasitansında meydana gelen Şekil 2.14’de gösterilen durumları n-tipi bir yarıiletken için tanımlayalım [2,9].

2.7.1. Yığılım

Metale uygulanan geçit voltajı $V_G = V_{FB}$ (flatband voltajı) olduğunda yarıiletkende bantlar düzdür, bükülmez. İdeal bir MIS kapasitör için $V_{FB} = 0$ 'dır. Metale pozitif bir ön-gerilim ($V_G > 0$) uygulandığı zaman, bu gerilimden dolayı oluşan elektrik alan sonucu yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı olan elektronlar yarıiletken arayüzeyine doğru birikir ve bantlar yukarı doğru bükülür (Şekil 2.16.a). Enerji bantlarında gözlenen bükülme yüzeye yakın olan yerlerde gözlenir. Arayüzeydeki bu çoğunluk taşıyıcıların birikme olayına “yığılım” adı verilir.



Şekil 2.16. $V \neq 0$ durumunda n tipi yarıiletken için ideal MIS yapının enerji-bant şeması.
(a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim

2.7.2. Tükenim

Metal plakaya küçük bir negatif ön-gerilim ($V_G < 0$) uygulandığı zaman, arayüzey tabaka içinde oluşan elektrik alan yarıiletken arayüzeyindeki elektronları yüzeyden uzaklaştırır ve arayüzey bölgesinde, iyonlaşan vericilerden dolayı pozitif yük oluşur. Bu durumda yarıiletken yüzeyindeki elektron yoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarındaki elektron yoğunluğundan küçük olmaya başlar ve enerji bantları (E_c ve E_v) aşağı doğru bükülür. Yarıiletken yüzeyinde, uygulanan gerilimle değişen tüketim tabakasının (W_D) genişliğinde bir bölgede, elektronların azaldığı bir tüketim bölgesi oluşur. Yarıiletken ön yüzeyinde elektronların azalmasından (tükenmesi) dolayı bu bölge “tüketim bölgesi” olarak adlandırılır (Şekil 2.16.b).

Tükenim bölgesinin kalınlığı aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$W_D = \varepsilon_s A_{ox} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (2.38)$$

Burada ε_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir.

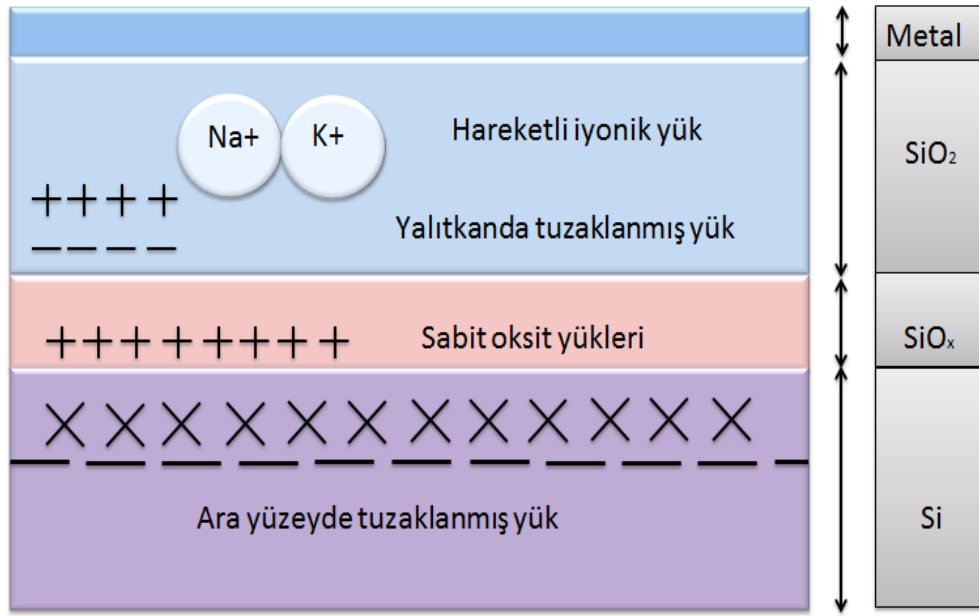
2.7.3. Tersinim

Metale daha büyük bir negatif gerilim ($V_G < 0$) uygulandığı zaman bantlar daha fazla bükülür. Yarıiletken arayüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan hollerin yoğunluğu artmaya başlar ve elektron yoğunluğundan daha büyük olur. Fermi seviyesi saf durumdaki enerji seviyesinin (E_i) altına geçer. Bu aşamadan sonra n-tipi yarıiletken yüzeyi p-tipi yarıiletken gibi davranır. Bu olay, yarıiletken yüzeyinin tersinimi olarak adlandırılır. Şekil (2.16.c)'de enerji bant şeması gösterilmiştir. Bu durumda MIS kapasitansını, elektron yoğunluğunun uygulanan gerilimin a.c. sinyalini takip edebilme yeteneği belirler. Elektron yoğunluğu a.c. sinyalini küçük frekanslarda takip edebilir ve buna bağlı olarak kapasitans artan gerilimle oksit kapasitansının değerine ulaşır. Ara frekanslarda daha yavaş takip edebilir, dolayısıyla frekansın değerine bağlı olarak ara frekans eğrileri görülür. Yüksek frekanslarda ise takip edemez ve kapasitans C_{min} 'da kalır. Yüksek frekansta eğer gerilim ani olarak değiştirilirse, azınlık taşıyıcıların yeniden birleşme (rekombinasyon) hızına bağlı olarak tersinim yükü daha geç birikir. Bu da eğrinin C_{min} 'un altında değerler almasına sebep olur.

2.8. Gerçek MIS Yapı

Gerçek MIS yapısında Şekil 2.17'de verildiği gibi arayüzey durumları, iyonlaşmış tuzaklar, hareketli iyonlar, sabit oksit ve arayüzey yükleri gibi nedenlerle ideal MIS yapısından sapmalar gözlenir [2, 5].

Arayüzey durumları: Arayüzey durumu yalıtkan/yarıiletken arayüzeyinde girilebilir bir enerji seviyesidir. Arayüzey durumları, alıcı veya verici tipte olabilirler ve iletim bantı ve valans bantıyla yük alış verişi yapabilirler. Arayüzey durumlarında bulunan yükün yoğunluğu Q_{ss} , yarıiletkendeki katkı yoğunluğu ve yalıtkan kalınlığından etkilenmez. Arayüzey durumları, uzay yükü kapasitesine ek bir kapasite ve direnç etkisi oluştururlar.



Şekil 2.17. İdeal olmayan MIS yapıda arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması

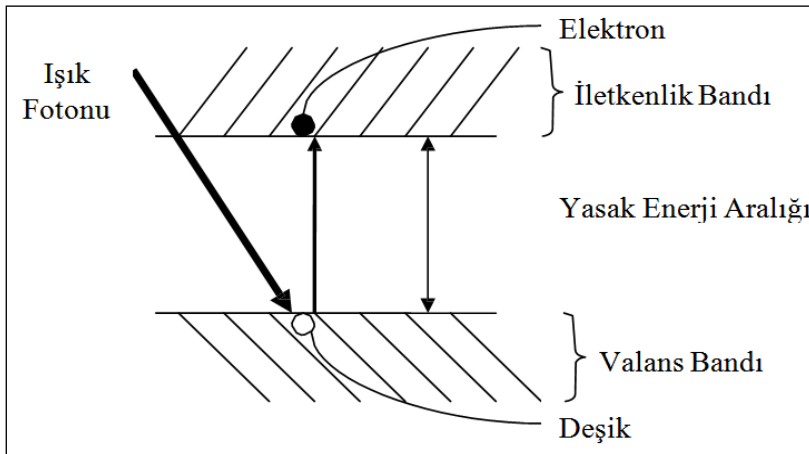
İyonlaşmış Tuzaklar: Yalıtkan içindeki stokiyometrik ve kimyasal yapı bozukluklarından dolayı yalıtkan içinde tuzaklar bulunur. İyonlaşmış tuzaklar, arayüzey durumları gibi alıcı ve verici tipte olabilirler. Bu tuzaklar, elektron yakalayarak veya bırakarak yüksüz duruma geçerler ve MIS yapısının C-V karakteristiğinde pozitif gerilimden negatif gerilime doğru ve negatif gerilimden pozitif gerilime doğru gidilirken elektronik histeresiz kaymalarına neden olurlar.

Hareketli İyonlar: Hareketli iyonlar genellikle yalıtkan film içinde bulunan ve 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hareketli olan Na⁺, K⁺ ve Li⁺ gibi alkali iyonlardır. MIS yapılarının hazırlanması esnasında kullanılan malzemelerdeki safsızlıklar nedeniyle kristal dilimlerinin yüzeyine yerleşirler ve elektrik alanda hareket ederek MIS yapısının kararsızlığına neden olurlar [36,39].

Sabit oksit ve arayüzey yükleri: Sabit oksit ve arayüzey yükleri yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde bulunurlar. Yalıtkanla yarıiletkenin kristal yapılarının farklı olmasından dolayı oksidasyon esnasında yarıiletkendeki yalıtkan tabakasına geçerken kaçınılmaz olan kristal bozuklukları yerel yüklere neden olurlar.

2.9. Bir Yarıiletkende Fotonun Soğurulması

Foton yarıiletken ile birçok şekilde etkileşebilir. Örneğin, yarıiletken üzerine gönderilen fotonlar yarıiletken kristal örgüsüyle etkileşip ısıya dönüşebilir, akseptör veya donör tipi kirlilik atomlarıyla ya da yarıiletken içindeki başka kusurlarla etkileşebilirler. Bununla birlikte fotonlar asıl etkileşimi valans bandındaki elektronlar yapmaktadır. Yarıiletken üzerine ışık uygulandığı zaman gelen fotonun enerjisine ve yarıiletkenin yasak enerji bandına bağlı olarak foton soğurulabilir veya soğurulmadan geçebilir. Bu olayda gelen foton demetinin bir kısmı yarıiletkenin yüzeyinden geri saçılabilir. Bu saçılan ve yarıiletkeni geçen fotonların veya yüksek enerjili parçacıkların soğurmaya hiçbir katkısı olmaz. Aynı zamanda, gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından küçük olması durumunda da ($E=h\nu < E_g$), foton soğurulması olmaz. Ancak gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından büyük ise ($E=h\nu > E_g$) foton bir valans elektronu ile etkileşir ve gelen fotonun enerjisini alarak bir elektronu iletkenlik bandına uyarılabilir. Valans bandı çok sayıda elektron, iletkenlik bandı ise çok sayıda boş enerji seviyesi içerdiğinden dolayı gelen foton demetinin enerjisi yasak enerji bandından yüksek ($h\nu > E_g$) olduğu zaman bu etkileşme oldukça yüksektir. Şekil 2.18’ de görüldüğü gibi, bu etkileşme sonunda iletkenlik bandına uyarılan bir elektron valans bandında bir boşluk meydana getirecektir. Yani yarıiletken üzerine foton düştüğü sürece elektron-hol çiftleri oluşmaya devam ederek bir foto-akımı oluşturacaktır. Bu şekilde fazladan taşıyıcıların oluşumu veya yarıiletken içerisinde tuzaklanmış enerji seviyelerindeki yük taşıyıcılarının hol ise dolumu, elektron ise boşaltımı sağlanmış olur.



Şekil 2.18. Yarıiletken tarafından bir fotonun optik soğurulması.

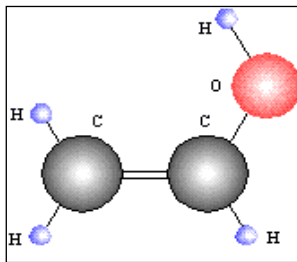
3. DENEYSEL YÖNTEM

Bu tez çalışmasında yarıiletken olarak 3” çapında, fosfor katılı, n-Si (100) alttaş kullanılmıştır. Omik ve doğrultucu kontaklar Gazi Üniveritesi FOTONİK Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Bestec GmbH firmasına ait termal buharlaştırma sisteminde yapılmıştır. PVA arayüzey tabakası ise Gazi Üniveritesi Kimya Bölümü’nde bulunan Elektro-Döndürme sisteminde n-Si alttaş üzerine kaplanmıştır. Polimer yüzeyinin SEM görüntüleri ise Gazi Üniversitesi Biyoloji Bölümü’nde bulunan JEOL JSM-6060 LV marka SEM mikroskobunda alınmıştır. Elektriksel ölçümler ise Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü’nde bulunan Keithley 4200 akım-voltaj, Janis VPF 471 kriyostat, HP 4192A LF Empedans analizörü ve Newport-Oriel 67011 UV ışık kaynağı sisteminde ölçülmüştür.

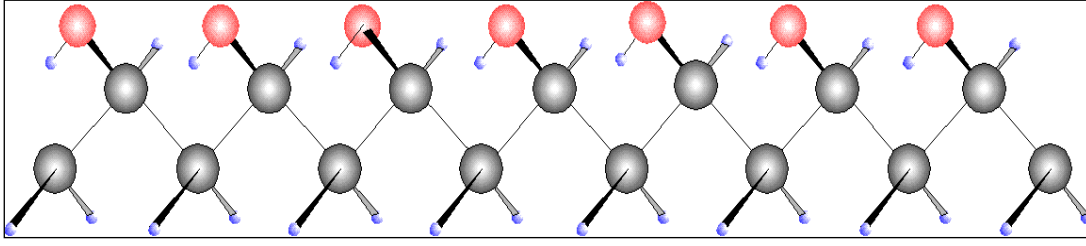
3.1. Organik Arayüzey Tabakasının Kaplanması

Poli(vinil alkol) (PVA) hidrokarbon çözücülere oldukça dayanıklı olan film, tüp ve lif olarak şekillendirilebilen, beyazımsı sert bir polimerdir. Zincirinde hidrofilik gruplar bulunduğu için suyun ve sulu çözeltilerin etkisi büyüktür. Bu yüzden PVA suda çözünebilen bir polimerdir. Su ile karışmayan çözücülere de dikkate değer bir şekilde dirençlidir [53-55].

PVA, yan grup olarak hidroksil grubu takılı olan oldukça basit kimyasal yapıya sahip bir polimerdir. Hidroliz derecesi veya başka deyişle polimerdeki asetat grubu içeriği, kimyasal özelliği, çözünürlüğü ve PVA’nın kristallenebilirliği üzerine önemli bir etki oluşturur [53-55]. Hidroliz ve polimerleşme derecesi, özellikle PVA’nın sudaki çözünürlüğünü oldukça etkilemektedir [55] Vinil alkol ve PVA’nın kimyasal yapısı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.1. Vinil alkolün kimyasal yapısı



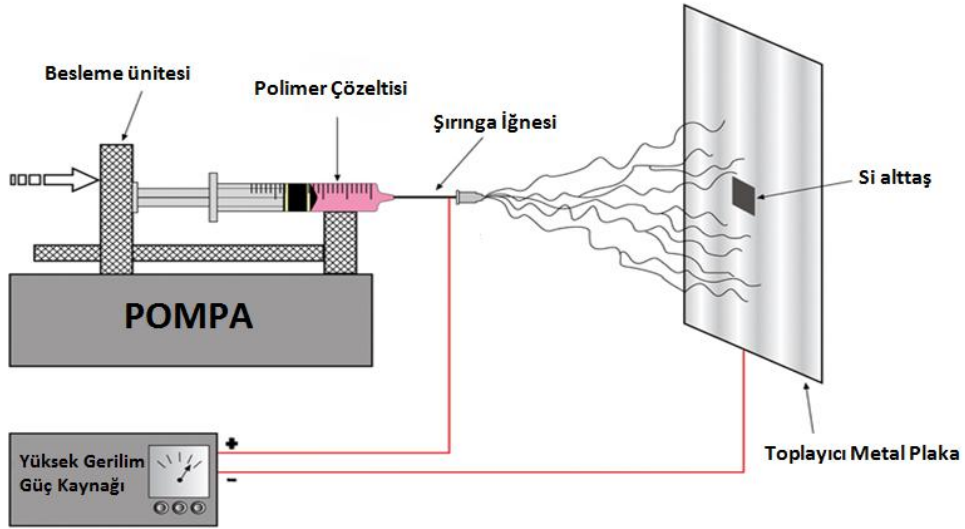
Şekil 3.2. Polivinil alkolün kimyasal yapısı

Yüksek derecede hidrolize olmuş PVA, suda düşük çözünürlüğe sahiptir. PVA içindeki hidroksil grupları moleküller arasında ve molekül içerisinde güçlü hidrojen bağı sağlar ve bu da sudaki çözünürlüğü azaltır. Kısmi hidroliz edilmiş PVA' da bulunan asetat gruplarının kalıntıları bu hidrojen bağlarını zayıflatır ve düşük sıcaklıklarda çözünürlüğe yol açar. Asetat gruplarının hidrofobik doğası asetat gruplarının sayısı arttıkça artan negatif çözünme ısisına neden olur. Artan asetat grubu oranı kritik sıcaklığın düşmesine neden olur. Yani düşük hidroliz dereceli (%70-80) PVA üzerine uygulanan sıcaklık arttıkça çözünürlük azalır [55].

Poli(vinil alkol)'un kullanım alanları: PVA liflerinin nem absorblaması fazla olduğundan tekstil endüstrisinde, molekül ağırlığı fazla büyük olmayan türlerin polimerizasyon sistemlerinde emülsiyon haline dönüştürme, sulu yapıştırıcıların bileşiminde, vinil asetallerin üretiminde, televizyon tüplerinde fosforesans pigmentlerin ve boyaların bağlayıcısı olarak ve polarizlenme merceklerinde kullanılması PVA'nın başlıca uygulama alanlarından [53-55]. Ayrıca PVA, metaller, plastikler ve seramikler için geçici koruyucu kaplama olarak kullanışlıdır. Kaplama; üretim, taşıma ve depolama sırasında mekanik ve kimyasal ajanların tahribini azaltır.

3.2. Elektro-Döndürme Yöntemi ile PVA Kaplanması

Polimer esaslı nanoliflerin üretimi için en etkin yöntemlerden biri elektro-döndürme yöntemidir. Elektro-döndürme, akışkanlar dinamiği, polimer kimyası, temel fizik, elektrik fiziği, makine ve tekstil mühendisliği disiplinlerini barındıran multi disiplinler bir yöntemdir. Elektro-döndürme yönteminde polimer ince film üretmek için elektrik enerjisinden yararlanılır. Elektro-döndürme yöntemi için gerekli deney düzeneği Şekil 3.3 de görüldüğü gibi temel olarak önemli üç ana parçadan oluşmaktadır [57]:



Şekil 3.3. Elektro-döndürme düzeneği ve mekanizması

1. Yüksek voltaj güç kaynağı,
2. Besleme ünitesi (şırınga, metal iğne v.b.),
3. Toplayıcı (iletken plaka, döner silindir v.b.).

Bu teknikte, polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı ile eritilir, ucunda küçük bir delik bulunan cam bir pipetin veya şırınganın içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ile pipetin açık ucunun karşısındaki bir toplayıcı levha arasına 50 kV'a kadar gerilim uygulanır. Toplayıcı levhada oluşan ağımsı yüzeyde çapları 30 nm' den 1 mikronun üzerindeki değerlere kadar değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı 50 nanometre boyutunda nanoliflerin üretimine imkân verir [29-32,35,57].

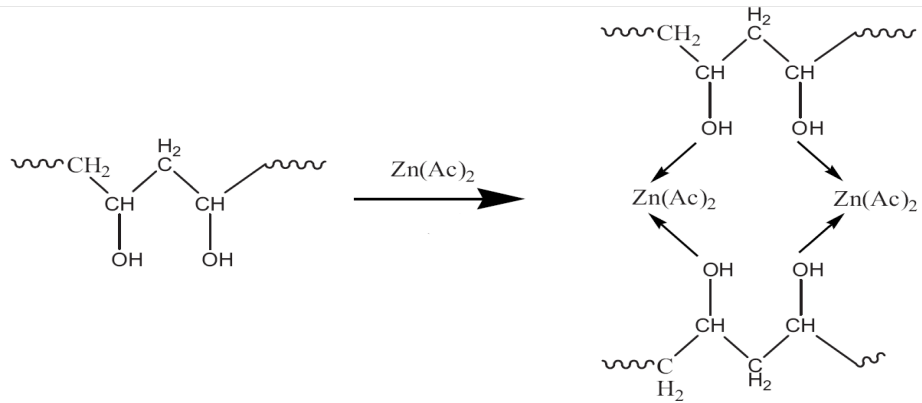
Elektro-döndürme yöntemi, yüksek elektrostatik alana maruz bırakılan polimer çözeltisinin benzer yükler ile yüklenerek ayrışma ve incelme gösterip, çok ince fibril yapılar oluşturması şeklinde özetlenebilir. Bu yöntemi en basit şekliyle anlatacak olursak;

- Bir polimer çözeltisi şırınga içine konur ve bu şırıngadan belirli bir mesafe uzağa da toplayıcı-metal bir plaka yerleştirilir.
- Yüksek gerilim sağlayacak güç kaynağının artı ucu şırınganın metal olan ucuna bağlanırken, toplayıcı plaka da topraklanır.
- Böylece şırınga ve toplayıcı plaka arasında yüksek bir elektrik alan elde edilmiş olur.

- Güç kaynağı tarafından sağlanan gerilim arttırıldıkça, yeterince yüksek bir değere ulaşan elektrik alan kuvvetleri çözelti üzerindeki visko-elastik ve yüzey gerilimi kuvvetlerini yener ve polimer molekülleri şırıngadan toplayıcıya doğru taşınır.
- Sonuç olarak toplayıcı plaka üzerinde nano boyutta çaplara sahip lifler oluşur.

Kaplamadan önce n-Si alttaş, üzerindeki silisyum oksiti temizlemek için %1 hidroflorik asit ile yıkandı. Daha sonra 0.1 g Çinko asetat, molekül ağırlığı 72 olan 0.9 g PVA ve 9 ml deiyonize su ile karıştırıldı. Sonra 50 °C de 2 saat karıştırıldıktan sonra PVA yoğun çözelti elde edildi. Peristaltik şırınga pompası kullanarak, öncü çözelti sabit akış hızı 0,02 ml/s' de 0,9 mm iç çaplı metal iğne (10 ml) ile dağıtıldı. İğne, yüksek gerilim güç kaynağına bağlandı ve bir mengenede dikey yerleştirildi. Bir parça düz alüminyum yaprak, nanofiber parçacıklarını toplamak için iğnenin 15 cm altına yerleştirildi. n-katkılı Si alttaş, alüminyum yaprak üzerine yerleştirildi. 20 kV yüksek voltajın üzerinde bir voltaj uygulayarak akışkan jet uçtan dışarı atıldı. Çözücü buharlaştı ve yüklü fiber, Si alttaş üzerine çökertildi.

Çinko asetat [$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] katkılanmış polivinil alkolün (PVA) kimyasal yapısı Şekil 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.4. Zn-katkılı PVA' nın kimyasal yapısı

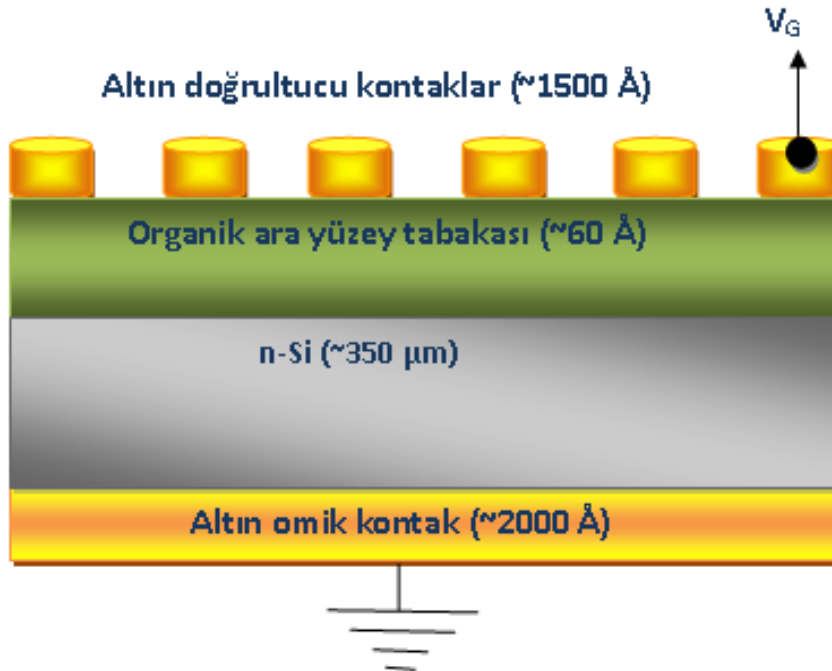
3.3. Au/PVA:Zn/n-Si MPS Yapının Hazırlanması

Omik kontağı oluşturmak için, kimyasal olarak temizlenen yarıiletkenin mat yüzeyine bir gölge maske yerleştirildi. Vakum sistemi ile elde edilen $\sim 10^{-6}$ Torr basınç altında üzerinden akım geçirilen tungsten flaman yardımı ile oldukça saf altın (Au) ($\sim 99,999\%$) buharlaştırılarak Si alttaşın arka yüzeyine ~ 2000 Å Au tabaka oluşturuldu ve 3 dakika

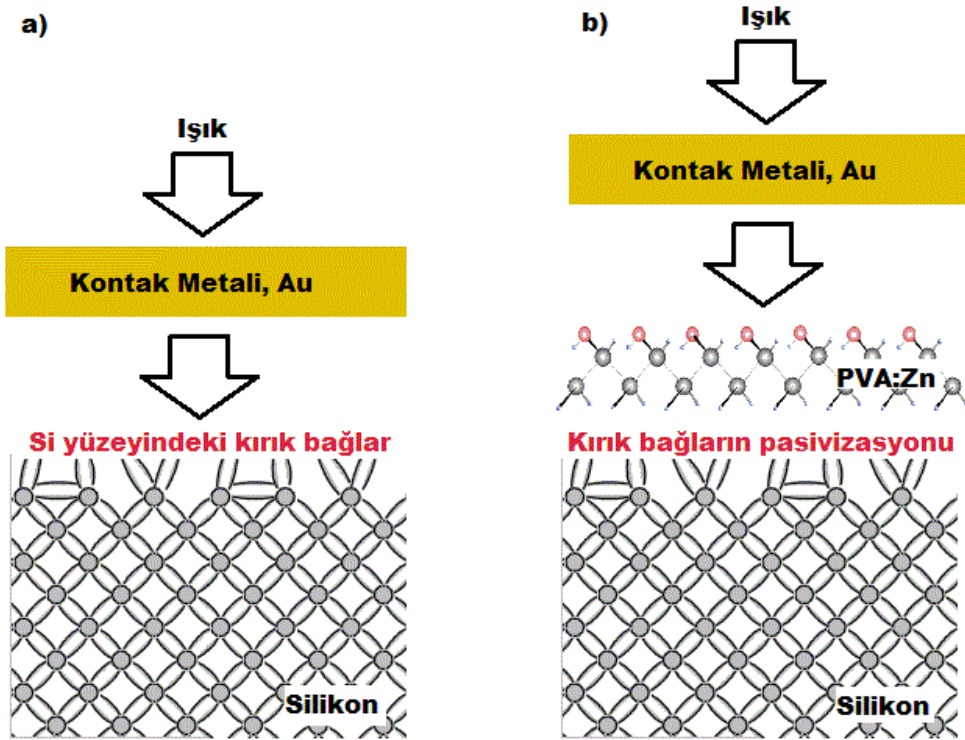
vakum ortamında 450 °C’de tavlandı. Böylece polimer kaplanmak üzere Si alttaşın alt kısmında Au omik kontak elde edilmiş oldu [58].

Omik kontakten sonra Si yaprağın ön yüzüne elektro-döndürme yöntemi kullanılarak PVA arayüzey tabaka oluşturuldu. Oluşturulan arayüzey tabakanın kalınlığı kapasitans-voltaj ölçümlerinde kuvvetli yüzey akümülayon durumundan ($C \cong C_{ox}$) hesaplandı. Arayüzey polimer tabakanın kalınlığı 56 Å olarak hesaplandı.

Üzeri PVA kaplanmış yüzey üzerine 1 mm çaplı delikli paslanmaz çelik maske yerleştirildi. Kimyasal olarak temizlenen yüksek saflıktaki altın (Au) metal parçası $\approx 10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak, polimer üzerine yüzeyine 1 mm çaplı ve ≈ 1500 Å kalınlığında Au doğrultucu kontaklar yapıldı [58]. Böylece doğrultucu kontağın da oluşturulmasıyla Au/PVA/n-Si şeklinde MPS yapı elde edilmiş oldu. Son olarak bir gümüş pasta yardımıyla omik kontak kısmı bakır levha üzerine yapıştırıldı. Doğrultucu Au kontaklar ile gümüş kaplı bakır teller yine gümüş pasta yardımıyla yapıştırılarak elektriksel ölçümler için şeması Şekil 3.5 ve 3.6’da verilen MPS yapı hazırlanmış oldu.



Şekil 3.5. Au/PVA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi

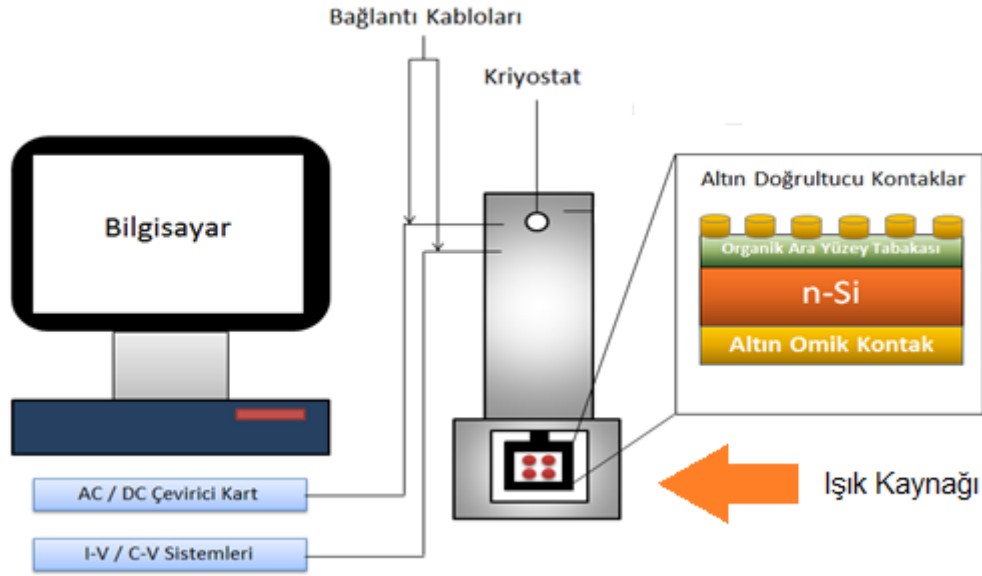


Şekil 3.6. n-Si yüzeyinin a) doğrudan Au ile temas edilmesi b) PVA:Zn ile modifiye edilerek Au ile temas edilmesi

3.4. Deneysel Ölçüm Sistemi

Elektriksel karakteristikler için gerekli ölçümlerin tamamı Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi FOTONİK Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirildi. Deneysel ölçüm sisteminin şematik görüntüsü Şekil 3.7'de verildi. Bu deney sisteminde kullanılan cihazlar aşağıdaki gibidir.

- Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı
- Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü (5 Hz-13 MHz)
- Janis vpf-475 kriyostat
- Newport-Oriel 67011 aydınlatma kaynağı ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı



Şekil 3.7. Deneysel Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü

3.4.1. Akım-voltaj ölçüm sistemi

Karanlık ve aydınlatma şiddetine bağlı akım-voltaj ölçümlerini almak için Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı kullanıldı. Keithley 2400 akım-gerilim ölçüm cihazı, hem akım kaynaklı gerilim ölçümü, hem de gerilim kaynaklı akım ölçümü yapabilmektedir. $\pm 1 \mu V$ dan $\pm 200 V$ a gerilim ölçümü ve $\pm 10 pA$ den $\pm 1 A$ e kadar akım ölçümü yapabilmektedir. $\pm \% 0.15$ hassasiyetle ölçüm yapabilen cihaz IEEE-488 arayüzü ile bilgisayar ortamından kontrol edilebilmektedir.

3.4.2. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçüm sistemi

Kapasitans-voltaj ölçümlerini almak için Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü (5 Hz-13 MHz) kullanıldı. HP 4192 LF empedans analizörünün frekans ölçümleri sınırları 5Hz-13 MHz olup, osilatör genlik aralığı 5 mV-1 V arasındadır. Doğru akım, ileri ve ters besleme özelliğine sahip cihaz $\pm 35 V$ arasında sığa (C), iletkenlik (G) ve yük (Q) gibi temel birçok elektriksel parametrenin ölçülebilmesi mümkündür. Aynı anda empedans, admitans, kapasitans, indüktans ölçülebilmekle birlikte, aralarındaki faz değerlerini ve kalite faktörlerini de ölçülebilmektedir. $\pm \% 0.15$ hassasiyetle ölçüm yapabilen cihaz IEEE-488

arayüzey veri yoluna sahip olup test point yazılımı yardımı ile bilgisayar ile kontrol edebilmek mümkündür.

3.4.3. Janis VPF-475 kriyostat

Deney anında dış etkenlerin ölçümler üzerindeki etkisini minimize etmek için hazırlanan Au/PVA:Zn/n-Si Schottky engel diyotların I - V , C - V ve $G/\square$ - V ölçümleri 4 optik pencereleli Janis VPF-475 kriyostat içinde ve bir yağsız mekanik pompa kullanılarak yaklaşık 10^{-2} mbar basınçta gerçekleştirildi. Sistem ayrıca sıvı azaot soğutma sistemi ve numune ısıtma sistemine sahiptir. Bu sayede 80-450 K sıcaklık aralığında voltaj, frekans, basınç ve aydınlatma şiddeti parametrelerine bağlı elektriksel ölçümler yapılabilir.

3.4.4. Işık Kaynağı

Newport-Oriel 67011 halojen lambaya sahip ışık kaynağı ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı ile otomatik olarak kontrol edilir. Vakum altındaki numune üzerine 0-250 W arasında 1W hassasiyetle ışık düşürme imkânına sahiptir. Işık kaynağı önündeki toplayıcı mercek ışığın numune yüzeyine homojen olarak düşmesini sağlamakta ve böylece aydınlatma şiddetinin elektriksel karakteristikler üzerine etkisi sağlıklı olarak araştırılabilir.

4. TARTIŞMALAR

4.1. Giriş

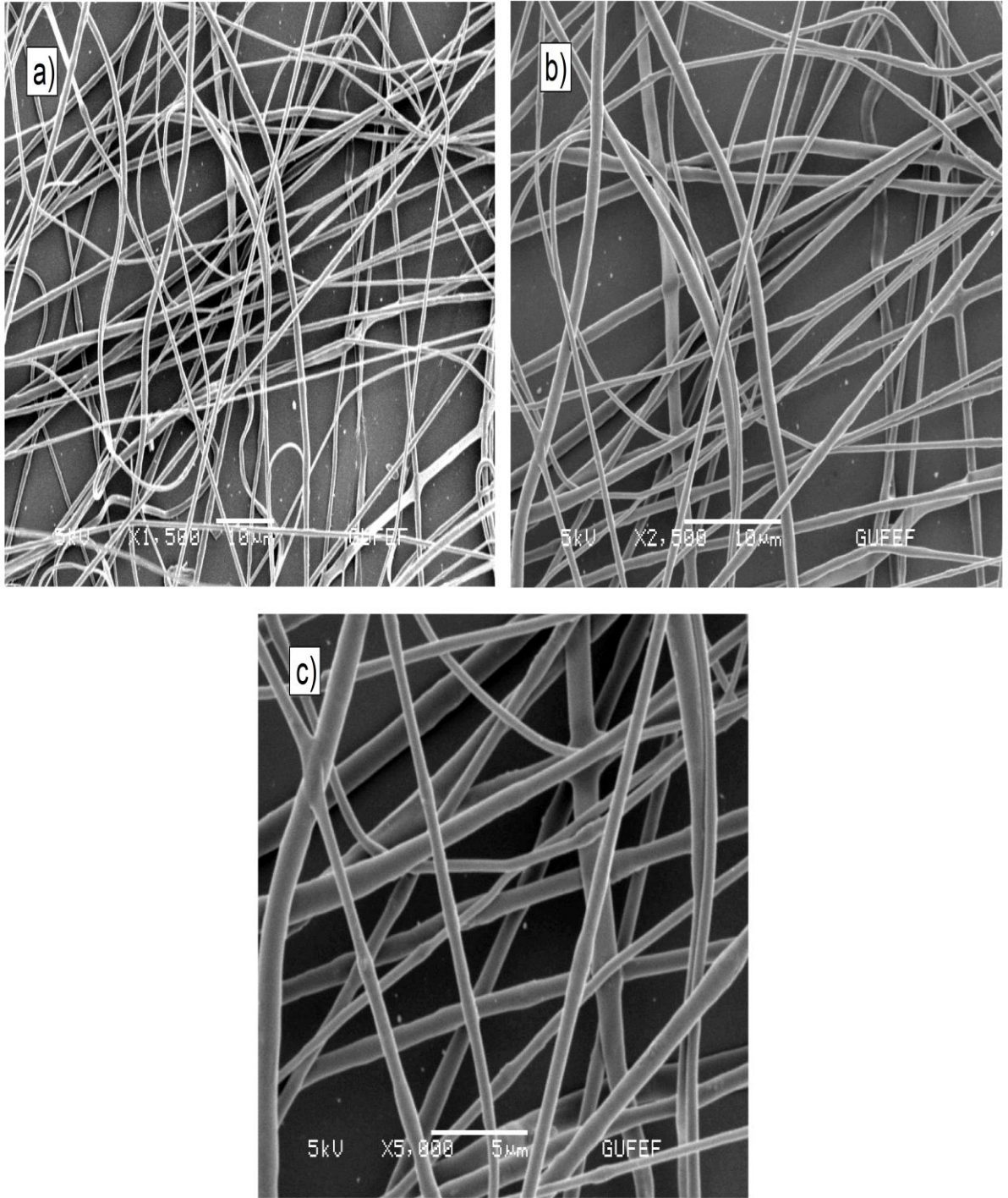
Au/n-Si diyot literatürde yaygın olarak araştırılmış ve üzerine pek çok bilimsel yayın yapılmıştır. Ancak son zamanlarda araştırmacılar bu geleneksel metal yarıiletken diyotların arasına organik polimer arayüzey tabakası kaplayarak bu aygıtların performansını artırmaya çalışmaktadır. Bu tez kapsamında Zn katkılı PVA arayüzey tabakası kullanılarak elde edilen Au/PVA:Zn/n-Si diyotlar ile referans numune Au/n-Si diyot oda sıcaklığında temel özellikler açısından incelendi. Au/PVA:Zn/n-Si diyot üzerine UV ışığının etkisini görmek amacıyla aynı ölçümler oda sıcaklığında karanlık ve farklı ışık şiddetleri altında tekrar edildi. Ayrıca metal ile yarıiletken arasında büyütülen PVA tabakanın, seri direncin ve arayüzey durumlarının bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi araştırıldı. Elde edilen sonuçlardan temel elektriksel parametreler farklı metotlar ile hesaplanmış hem birbirleri ile hem de literatür ile kıyaslanarak anlatılmıştır [58]. Bu bölümde PVA:Zn arayüzey tabakası kullanımı ile geleneksel Au/n-Si diyotların temel elektriksel özelliklerinin ve parametrelerinin modifikasyonu deneysel sonuçlar ile desteklenerek tartışılacaktır.

4.2. Au/n-Si Diyotların PVA:Zn Arayüzey Tabakası ile Modifiye Edilmesi

Bu çalışmada, Zn katkılı polivinil alkol (PVA) arayüzey tabakalı Au/n-Si Schottky engel diyotun akım-voltaj (I - V), kapasitans-voltaj (C - V), iletkenlik-voltaj (G/ω - V) karakteristikleri oda sıcaklığında karanlık ortamda incelendi. Oda sıcaklığında I - V ölçümlerinden I_0 , Φ_{B0} , n , R_s ve N_{ss} gibi temel elektriksel parametreler hesaplandı. Geleneksel arayüzey tabakasız Au/n-Si diyot, PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılarak modifiye edildi. Oda sıcaklığında yapılan I - V sonuçlarına göre PVA:Zn arayüzey tabakası diyotun ters belsem ve doğru belsem özelliklerini ciddi anlamda iyileştirdiği gözlemlendi. C - V ve G/ω - V ölçümlerinden de arayüzey durumları (N_{ss}), seri direnç (R_s), difüzyon potansiyeli (V_d), katkılanan verici atomların sayısı (N_D), tüketim tabakasının genişliği (W_D), Fermi enerjisi (E_F) ve potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) gibi temel parametreler elde edildi.

4.2.1. Yüzey Morfolojisi Analizleri

Fiziksel karakterizasyon teknikleri kullanılarak kaplanan polimer malzemenin yüzey morfolojisi incelenmiştir. İnce film yüzey morfolojisi genellikle aygıtın elektrik ve optik özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yüzey analizlerinde yaygın olarak kullanılan tekniklerdendir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi n-Si yüzeyindeki doğal oksit tabaka HF asit yardımıyla kaldırılmış ve önceden Zn ile katkılanan çözelti elektro-döndürme yöntemiyle lifli olarak başarıyla kaplanmıştır. Schottky diyotlarda metal ile yarıiletkenin birbirine stressiz kontak edilmesi, yarıiletken yüzeyindeki bütün kopmuş bağların pasifize edilmesi ve herhangi bir kirliliğin bu arada yer almaması elde edilecek diyotun performansı için oldukça önemlidir. Yarıiletken yüzeyine bu tarz bir lifli yapının yerleştirilmesinin elektriksel özelliklere olumlu etkileri bir sonraki bölümde deneysel verilerle anlatılacaktır. Ayrıca bu tarz lifli yapılardan elde edilen foto-diyotların düz ve pürüzsüz “ayna” yüzeye sahip foto-diyotlara oranla ışık soğurma özelliklerine etkisi yine bu tez kapsamında ve literatürde oldukça işlenen güncel bir araştırma konusudur [29,31,58]. Bu liflerin çapları birbirinden farklı olup minimum 45 nm maksimum ise 350 nm çapına sahip oldukları mikroskobun yazılımından tayin edildi.



Şekil 4.1. PVA:Zn polimerin n-Si üzerinde elektro-döndürme ile kaplandıktan sonra
a) x1500, b) x2500 ve c) x5000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü

4.2.2. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotların Akım-Voltaj Özelliklerinin Modifikasyonu

Metal ile yarıiletken arasına doğal ya da yapay olarak oluşturulmuş yalıtkan tabaka metal-yarıiletken (MS) yapıyı metal-yalıtkan/ferroelektrik-yarıiletken (MIS veya MFS) yapıya dönüştürür. Bu yapıların elektriksel karakteristikleri MS yapılara göre oldukça farklılık gösterir ve ideal durumdan sapmalara neden olur. Metal ile yarıiletken arasında ve yarıiletkenin üzerine büyütülen SiO_2 , SnO_2 ve Si_3N_4 gibi büyük dielektrik sabitli materyaller yada organik arayüzey tabakası ile metal/yarıiletken izole ederek metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. Genelde, bu arayüzey tabakanın kalınlığı (δ) 100 Å'dan küçük ise bu tip yapılar MIS yapı ve 100 Å'dan büyük ise MOS yapılar ya da kapasitörler diye adlandırılır [11,29,36-38]. Bu yapıların N_D , V_D , E_F , W_D , $\Phi_B(C-V)$, R_s ve N_{ss} gibi temel elektriksel parametreleri MS yapılara göre oldukça farklılıklar gösterir. Çünkü bu yapıların akım-iletim mekanizmaları ve performansı özellikle yapının hazırlanma şartlarına, metal/yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliğine ve arayüzey tabakanın kalınlığı ile homojenliğine bağlıdır. Sıcaklık, yapı üzerine uygulanan gerilim ve yarıiletken kristalin gövde direnci gibi birçok parametre de yapının performansını oldukça etkilemektedir [25,46].

MS, MIS veya MPS tipi Schottky diyotlarında akım-voltaj ilişkisi $V \geq 3kT/q$ için termiyonik emisyon teorisine (TE) göre aşağıdaki şekilde verilir [2-11].

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

Burada V_D diyot üzerine düşen gerilim, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve I_0 ise ters doyum akımı olup

$$I_0 = AA^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada Φ_{B0} metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği, A diyodun doğrultucu kontak alanı ve A^{**} etkin Richardson sabiti olup

değeri n-tipi Si için yaklaşık $120 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ 'dir [2]. Buna göre Eş. 4.2, Eş.4.1'de yerine yazılırsa;

$$I = AA^{**}T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.3)$$

şekline dönüşür. Ancak köşeli parantez içindeki 1 rakamı üstel ifade yanında oda sıcaklığı ve üstündeki değerler için rahatlıkla ihmal edilebilir. Buna ilaveten, TE teorisine göre idealite faktörünün 1 olması beklenir. Ancak pratikte idealite faktörü, özellikle yalıtkan arayüzey tabakanın kalınlığı ve yasak enerji aralığında lokalize olan N_{ss} 'lerden dolayı 1'den büyük çıkmaktadır. İdealite faktörünün birden büyük olması metal ile yarıiletken (M/S) arasına kaplanan PVA:Zn tabakasına, arayüzey durumlarının büyüklüğüne, Schottky engel alçalmasına, M/S arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliğine ve fabrikasyon sırasında laboratuvar ortamında bulaşan muhtelif kirliliklerin varlığına atfedildi [33-39]. Ayrıca bu diyotların temel parametreleri metal yarıiletken arasında oluşan potansiyel engelinin homojensizliğinden dolayı sıcaklık, frekans, aydınlatma şiddetine bağlı önemli ölçüde değişmektedir [2,11,36]. Eğer yapı, yarıiletkenin gövde direnci, yalıtkan arayüzey tabakası ve kontaklardan dolayı bir seri dirence sahip ise Eş. 4.3 ifadesi,

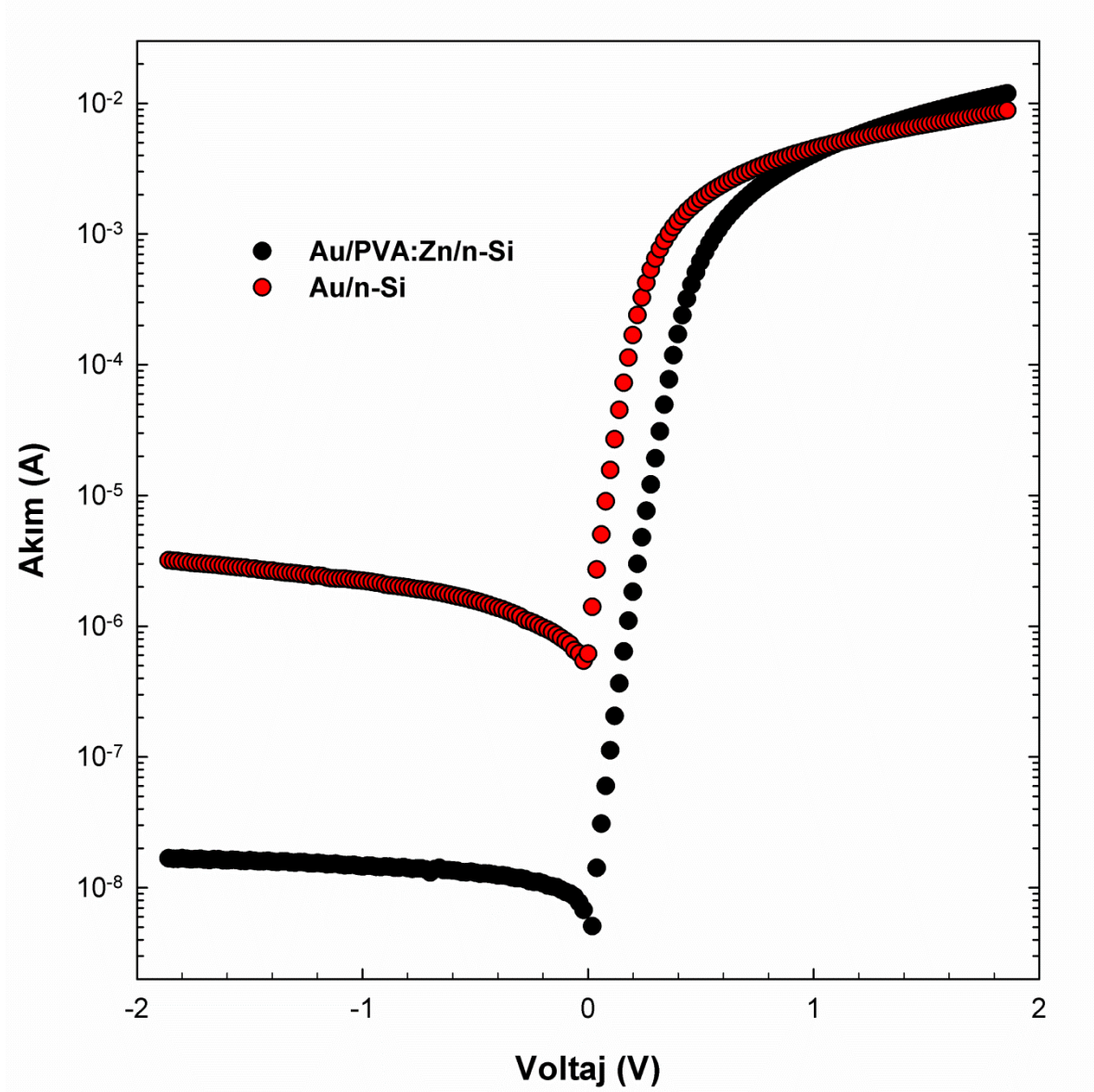
$$I = I_0 \exp\left(\frac{q}{nkT}(V - IR_s)\right) \quad (4.4)$$

şeklinde olacaktır. Burada IR_s terimi yapının seri direnci üzerine düşen voltajdır. Schottky diyotlarda $\ln I$ 'nın V 'ye göre grafiğinin genelde lineer bir doğru olması beklenir. Ancak deneysel sonuçlardan görüldüğü gibi yüksek voltajlarda ($V \geq 1 \text{ V}$) R_s 'den dolayı $\ln I$ - V eğrisinde ideal durumdan sapmalar olur, yani R_s $\ln I$ - V eğrisinin bükülmesine yol açar. Grafiğin doğrusallıktan saptığı bölgede hem idealite faktörü 1'den büyük olacak hem de lineer bölgenin daralmasından dolayı hesaplamaların güvenilirliği azalacaktır.

Lineer bölge için Eş. 4.1 ifadesinin $\ln$ 'i alınırsa,

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{q}{nkT} V_D \quad (4.5)$$

şeklinde bir doğru denklemi elde edilir. Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) yapının oda sıcaklığındaki doğru ve ters ön gerilim altındaki yarı-logaritmik akım-voltaj ($\ln I$ -V) eğrisi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Oda sıcaklığında Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotların $\ln I$ – V eğrileri

Yapının idealite faktörü n , Şekil 4.2’deki $\ln I$ -V eğrisinin eğiminden ($\tan\theta=q/nkT$) yararlanılarak,

$$n = \frac{q}{kT \tan \theta} \quad (4.6a)$$

hesaplandı. Ayrıca idealite faktörünün voltaja bağlı değişimi de Eş. 4.4’den yararlanılarak,

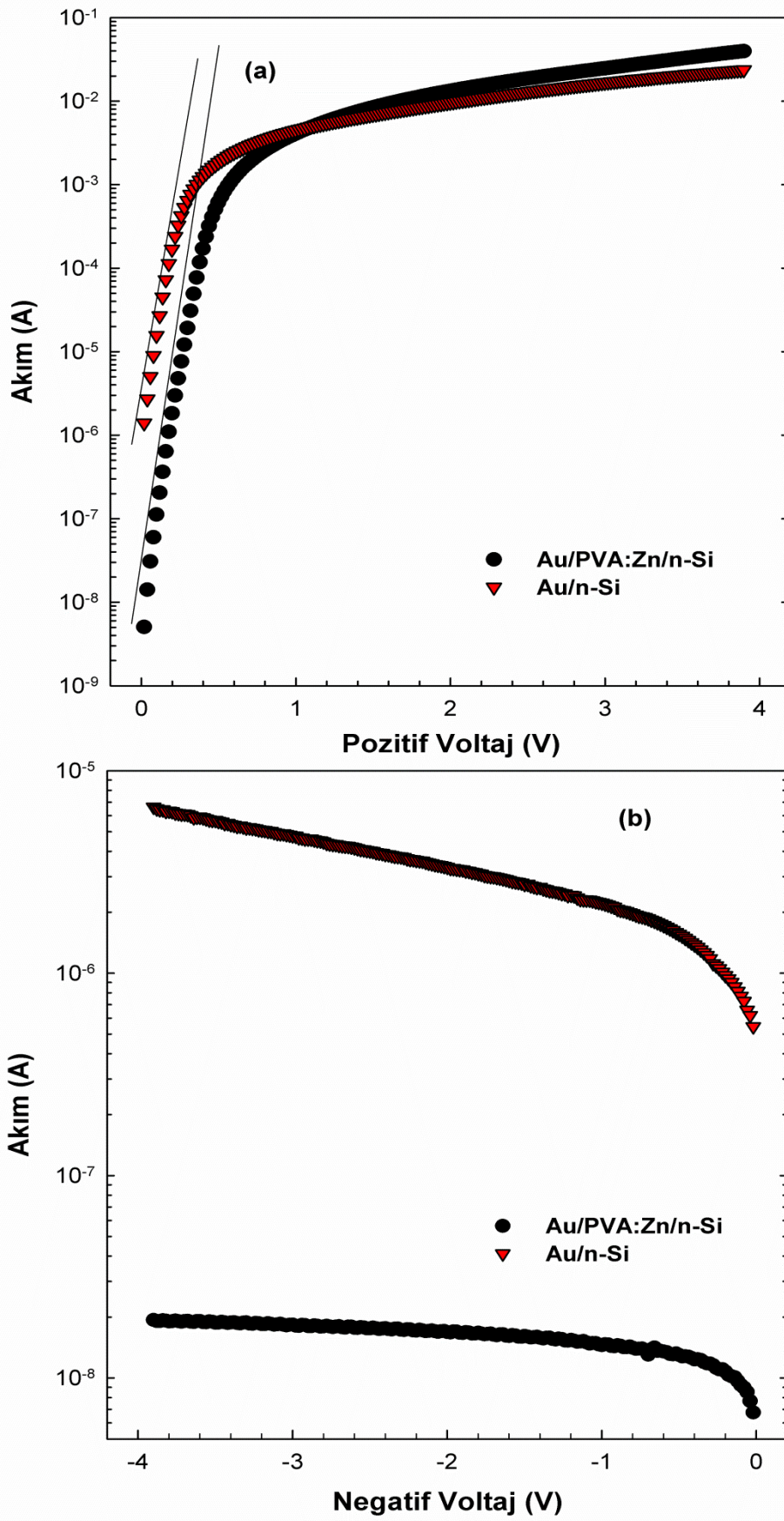
$$n(V) = \frac{qV}{Ln\left(\frac{I}{I_0}\right)kT} \quad (4.6b)$$

elde edildi. I_0 doyma akımı değeri ise LnI - V grafiğinin lineer bölgesinin uzantısının LnI eksenini sıfır voltajda kestiği noktadan elde edildi. I_0 , diyodun doğrultucu kontak alanı (A) ve etkin Richardson sabiti (n -tipi Si için $120 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$) değerleri kullanılarak potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) Eş 4.7'den yararlanılarak hesaplandı.

$$\Phi_B(I-V) = \frac{kT}{q} Ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4.7)$$

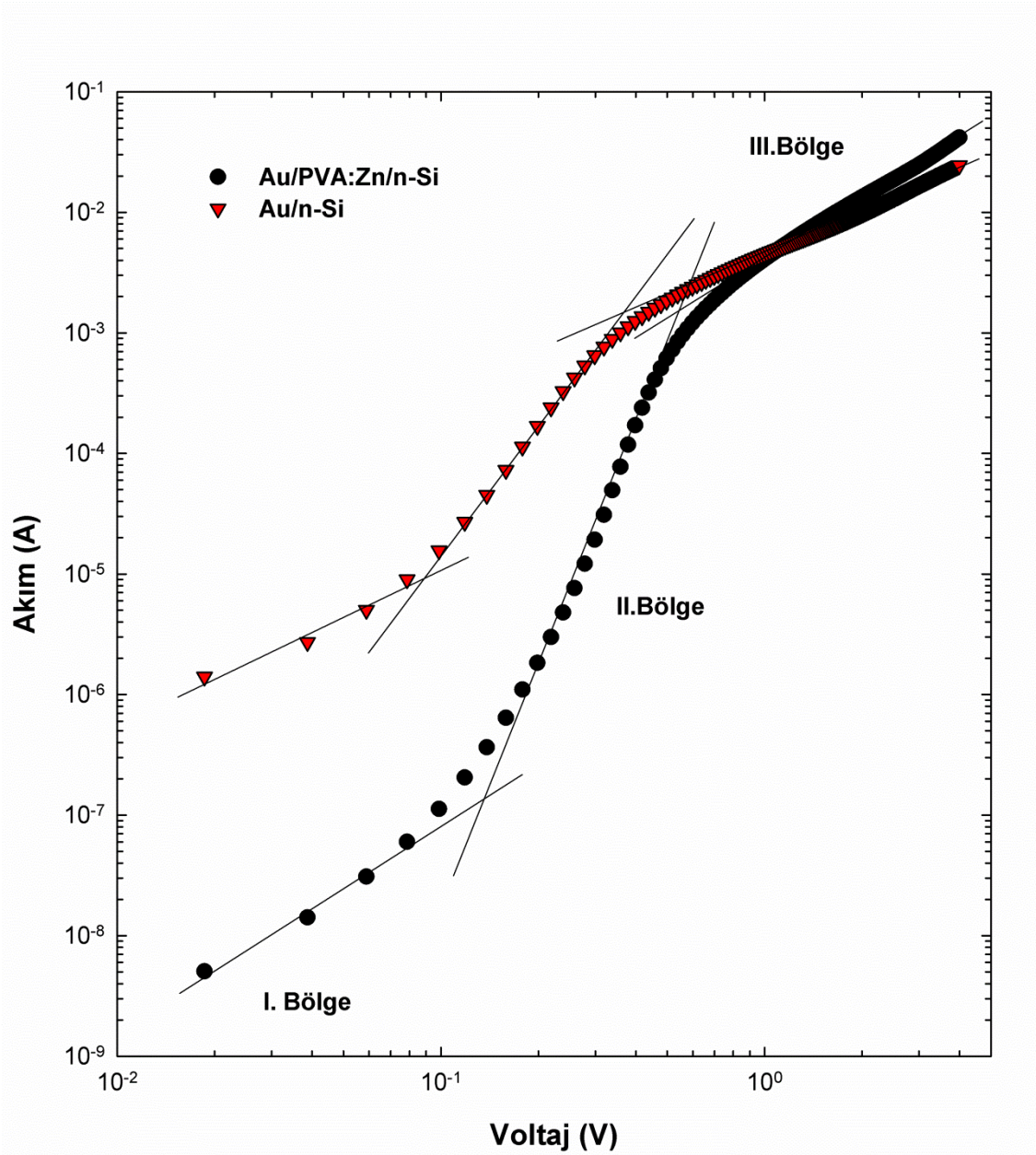
Şekil 4.3'de PVA:Zn arayüzey tabakasının geleneksel Au/ n -Si diyot üzerine etkileri açıkça görülmektedir. PVA:Zn arayüzey tabakalı diyotun ters belsemde sızıntı akımının oldukça düşük olduğu bunun yanı sıra doğru belsemde seri direnci bir miktar azalttığı grafikten görülmektedir. Ayrıca diyotun PVA:Zn kullanılarak üretilen Au/PVA:Zn/ n -Si diyotun idealite faktörü (n) Au/ n -Si diyota göre azalırken, bariyer yüksekliği (Φ_B) değerinin arttığı Çizelge 4.1'den açıkça görülmektedir.

Benzer olarak bazı yazarlar deneysel olarak organik arayüzey tabakası kullanarak modifiye ettikleri M/S Schottky diyotların bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve diğer elektriksel parametrelerin sonuçlarını literatürde yayınladılar. Aydın ve arkadaşları [26] organik arayüzey tabakası kullanarak elde ettikleri Au/ β -carotane/ n -Si MIS diyotun Φ_B ve n değerlerini sırasıyla 0.80 eV ve 1.32 olarak yayınladılar. Akkılıç ve arkadaşları [25] chitin organik bileşimini n -Si üzerine kaplayarak elde ettikleri Ag/chitin/ n -Si diyotun Φ_B ve n değerlerini sırasıyla 0.959 eV ve 1.553 olarak yayınladılar. Bir diğer bilimsel yayın Çakar ve arkadaşları tarafından [21] rhodamine-101 organik arayüzey tabakasını n -Si ve p -Si alttaş üzerine kaplayarak elde ettikleri Sn/rhodamine-101/ n -Si/Au-Sb diyotun Φ_B ve n değerlerini sırasıyla 0.714 eV ve 2.72 olarak yayınladılar.



Şekil 4.3. Oda sıcaklığında Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotların (a) doğru belsem, b) ters belsem $\ln I - V$ eğrileri

Akım iletim mekanizmalarından hangisinin birlikte veya tek başına etkili olduğu gerilim bölgesini belirlemek amacıyla uzay yük bölgesinde sınırlandırılmış akım (SCLC) mekanizması incelenmiştir. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) diyotun doğru ön gerilim ($\ln I - \ln V$) grafiği oda sıcaklığı için Şekil 4.4'te verildi. Şekilden görüldüğü gibi $\ln I - \ln V$ grafiği 3 farklı lineer bölgeye sahiptir. Bu grafik bize SCLC iletiminin serbest yüklerin yoğunluğunun termal olarak üretilen serbest taşıyıcılardan ve dengedeki taşıyıcıların yoğunluğundan büyük olduğu durumlarda baskın olmaya başlamaktadır. [58] I. Bölgede her iki diyot içinde grafiğin eğimi yaklaşık "1" olarak hesaplanmıştır ve 0.1V altındaki bu bölgedeki baskın mekanizma Ohm kanunu ile açıklanmaktadır. II. bölgede diyotların $\ln I - \ln V$ eğrileri yine lineer olup eğim değerleri Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için sırasıyla 6.74 ve 3.46 olarak hesaplanmıştır. Genelde bu bölgede $\ln I - \ln V$ eğrilerinin eğimi 2 veya daha büyük olur ki bu; dağınık tuzak seviyeleri ile desteklenmiş SCLC mekanizmasının etkin olduğunu göstermektedir [58]. Başka bir deyişle yüksek eğim değeri Fermi seviyesinin altındaki tuzak seviyelerinin bir göstergesidir. Yüksek eğim değerlerini referans alarak enjekte edilen taşıyıcıların yanı sıra tuzak seviyeleri de akıma katkı sağlamaktadırlar. III. bölgede ($V > 1$) doğru ön gerilim $\ln I - \ln V$ eğrisi tuzak seviyelerinden akım iletim mekanizmasına herhangi bir katkı gelmediği için tekrar azalma eğilimi gösterir. Bu bölgedeki mekanizmaya literatürde tuzaksız SCLC adı verilmektedir [29,31]. Bu bölgede akım başka mekanizmalar tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlandırılma sadece seri dirençten dolayı olmayıp diyot üzerine uygulanan gerilimin seri direnç ve yalıtkan arayüzey tabakası üzerinde paylaşılmasından kaynaklanmaktadır.



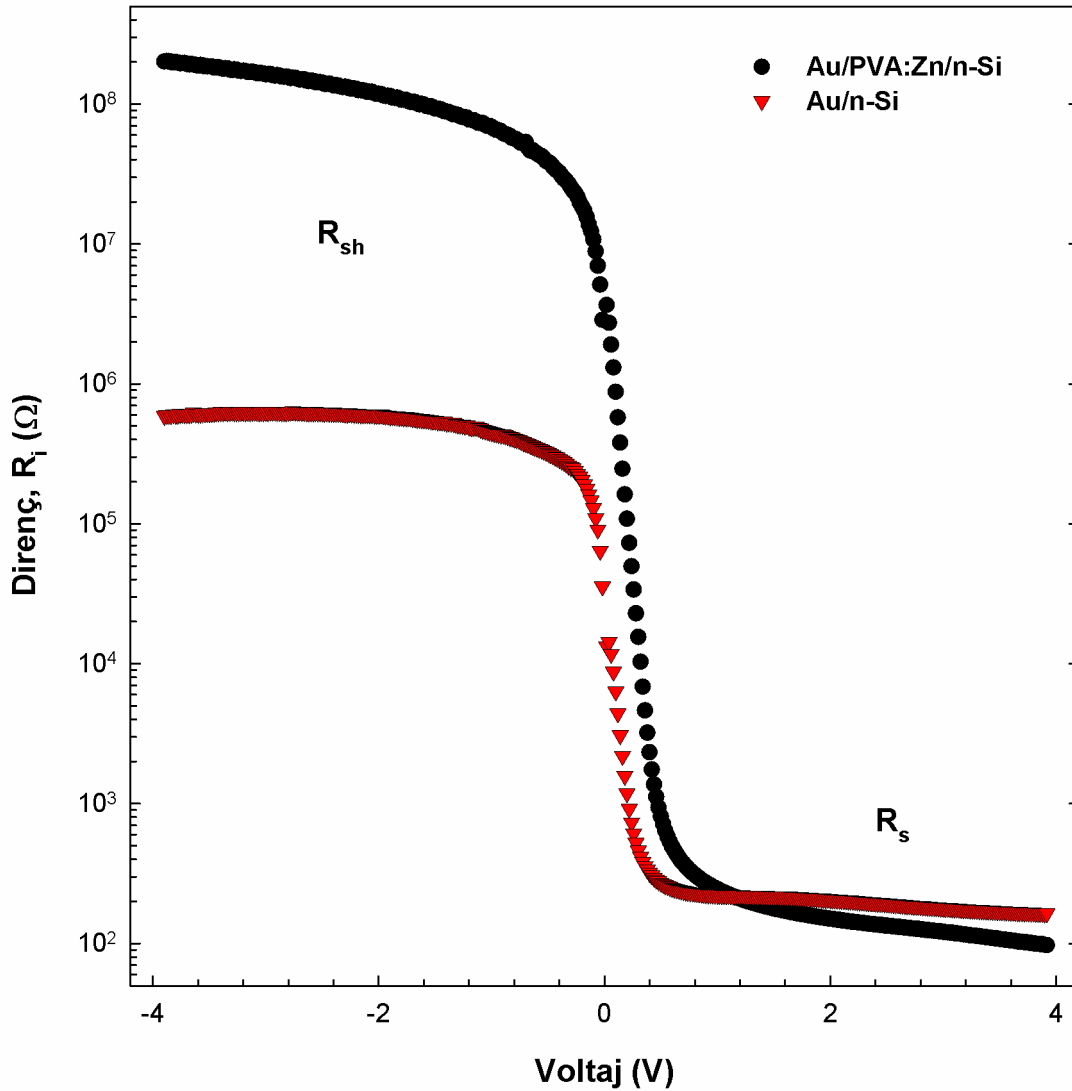
Şekil 4.4. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun idealite $\ln I$ - $\ln V$ eğrileri

Seri direnç (R_s) ve şönt direnci (R_{sh}) bir diyotun performansının ve kalitesini anlamamızı sağlayan çok önemli iki parametrelerdendir. PVA:Zn arayüzey tabakasının R_s ve R_{sh} üzerine etkisini incelemek için Eş. 4.8 yardımıyla diyot direnci (R_i) elde edildi ve voltaja bağlı olarak Şekil 4.5'te verildi.

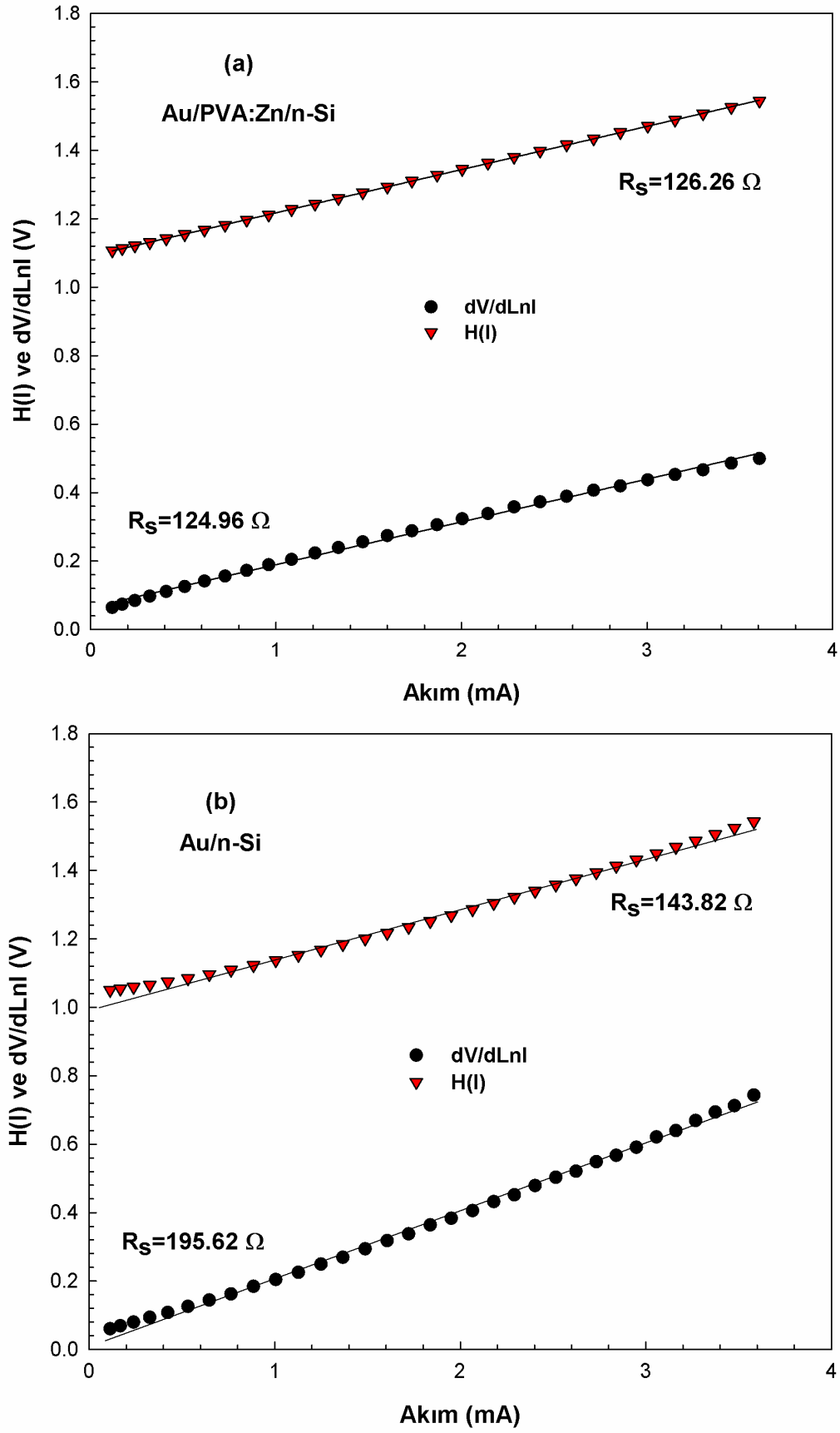
$$R_i = \frac{\partial V}{\partial I} \quad (4.8)$$

Burada V uygulanan voltaj, I ise diyotun akımını göstermektedir. Şekil 4.5'te doğru beslem direnç değerleri seri direnci ters beslem değerleri ise şönt direncini ifade etmektedir. Şekil 4.5'ten açıkça görüldüğü gibi Au/PVA:Zn/n-Si diyotun R_s değeri 97.64

Ω Au/n-Si diyotun R_s değeri 164.15Ω 'a göre daha düşüktür. Ayrıca ters beslem direnç değerlerine bakıldığında Au/PVA:Zn/n-Si diyotun R_{sh} değeri $203 \text{ M}\Omega$ iken Au/n-Si diyotun R_{sh} değeri $0.597 \text{ M}\Omega$ olduğu görülmektedir [58]. PVA:Zn arayüzey tabakası R_s 'de azalmaya R_{sh} 'da ise artışa sebep olmuştur. Bu davranış PVA:Zn arayüzey tabakasının Au/n-Si diyotun performansını iyileştirdiğinin güçlü bir göstergesidir. Seri dirençteki azalmanın sebebi ise zayıf elektriksel iletken olan PVA polimerinin Zn ile katkılanarak elektriksel iletkenliğinin artırılmış olmasına bağlanabilir. Polimerlerin katkılanarak elektriksel iletkenliğin artırılması ile ilgili literatürde benzer sonuçlar yayınlanmıştır. [29-35]



Şekil 4.5. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun voltaja bağlı seri ve şönt direnci



Şekil 4.6. Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan R_S değerleri
(a) Au/PVA:Zn/n-Si (b) Au/n-Si

Buna ilaveten, R_s Cheung fonksiyonları kullanılarak da hesaplanabilir [59]. Her iki eşitlikte

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \left(\frac{kT}{q} \right) + IR_s \quad (4.9a)$$

$$H(I) = n\Phi_{Bo} + IR_s \quad (4.9b)$$

IR_s diyot üzerinde seri dirençten kaynaklı voltaj düşmesidir. Şekil 4.6’te görülen lineer eğrilerin eğimi eşitlik 4.9a ve 4.9b yardımıyla her iki diyot içinde R_s değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan seri direnç değerleri grafiklerin üzerinde verilmiştir. Bir önceki metoda benzer olarak, R_s değerlerinin ince organik arayüzey tabakası kullanılarak modifiye edildiği gözlenmiştir. Au/n-Si diyotun R_s değerinin varlığı ise çok ileri laboratuvar şartlarında yüzey temizliği ve oksit tabakanın kaldırılması sağlansa bile yinede Au/n-Si arayüzeyinde çok ince de olsa doğal oksit tabakanın varlığına işaretler. Burada bir önceki metotla hesaplanan R_s değerleri ve Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan R_s değerleri arasındaki fark sorgulanabilir. Bu sorunun cevabı ise Cheung fonksiyonları yalnızca diyotun kavisli bölgesinde uygulanabilmesidir. Sonuçlar farklılık gösterebilir birbirinden çok uzak değildir.

R_s ve Φ_B hesaplanması için Norde’nin geliştirdiği alternatif metod kullanıldı. Norde’nin $F(V)$ fonksiyonu aşağıda verilmiştir [60].

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.10)$$

Burada $I(V)$ akım ve γ ise idealite faktöründen büyük bir sabittir. $F(V)$ - V eğrisi genel olarak Şekil 4.7’deki gibi bir minimum verir ve bu minimumdan Φ_B ve R_s aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır.

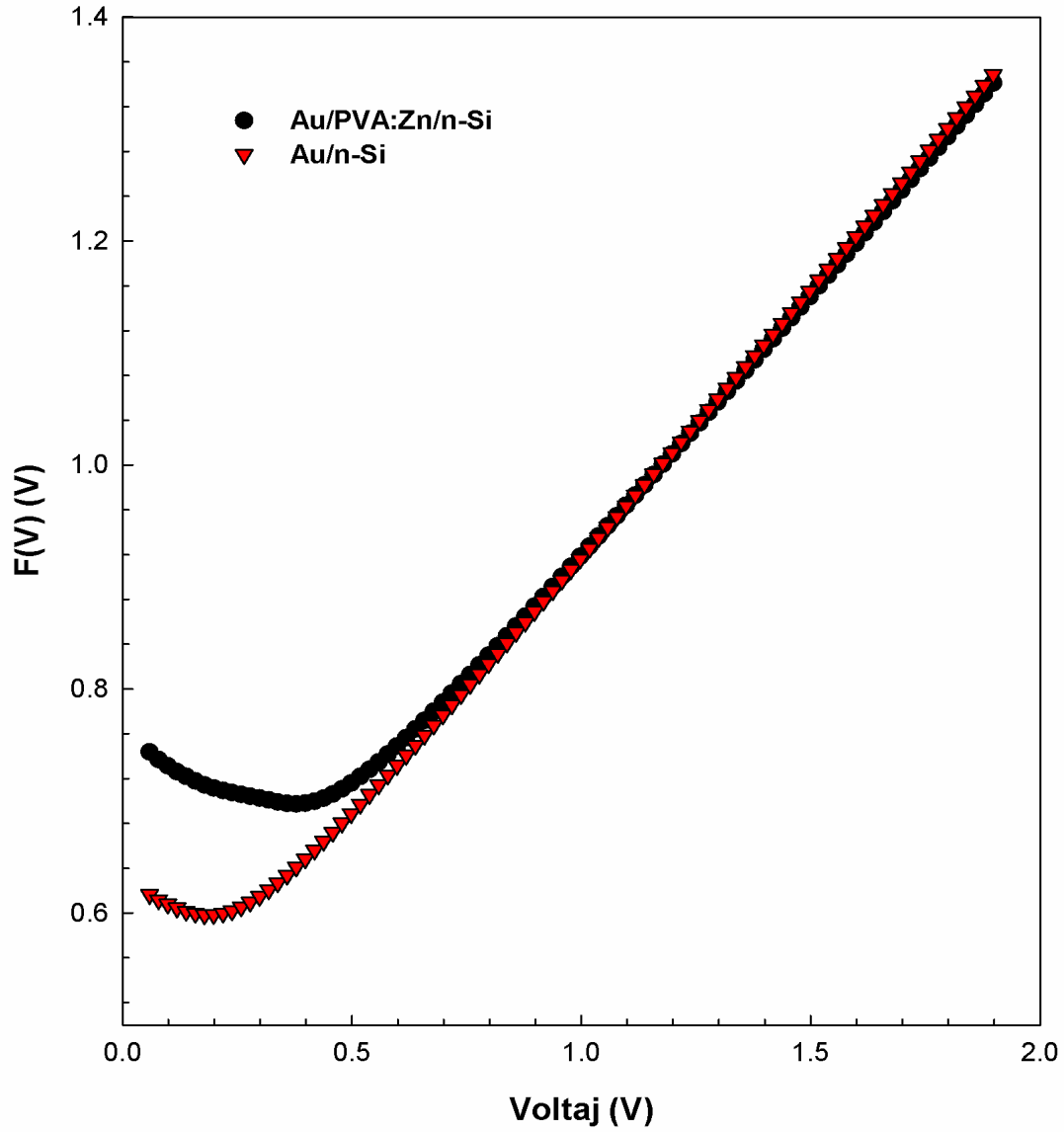
$$\Phi_B = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.11a)$$

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{min}} \quad (4.11b)$$

Burada $F(V_{min})$ ve V_{min} değerleri Şekil 4.7’de görülen $F(V)$ - V eğrisinin koordinatları kesen noktalarına denk gelmektedir. I_{min} değeri ise V_{min} değerine karşılık gelen akım değeridir. Φ_B değerleri Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için sırasıyla 0.87 eV ve 0.65 eV olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 4.11b yardımıyla hesaplanan R_s değerleri ise Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için 93.67 Ω ve 124.71 Ω olarak hesaplanmıştır [58]. Yine bir başka metot ile PVA:Zn arayüzey tabakasının Au/n-Si diyotun bariyer yüksekliği ve seri direncine olumlu katkı sağladığı gözlenmektedir. Burada Cheung ve Norde metoduyla hesaplanan R_s değerleri her iki diyot çok ciddi olmamakla beraber farklılıklar görülmektedir. Farklılığın sebebi ise Norde fonksiyonu yalnızca ideal diyotlar için geçerlidir ve doğru beslem I-V eğrisinin tamamı kullanılarak hesaplanır [58-60]. Cheung fonksiyonları ise daha dar bir bölgede hesaplanmaktadır. Bütün metotlar kullanılarak hesaplanan temel elektriksel parametreler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların I-V eğrilerinden elde edilen temel elektriksel parametreler

Numune	n	Doğ. Oranı	R_s (Ω)				R_{sh} (M Ω)	Φ_B (eV)	
			$\partial V / \partial I$	dV/dLnI	H(I)	Norde		I-V	Norde
Au/PVA:Zn/n-Si	1.38	7.9×10^5	97.64	124.96	126.26	93.67	203	0.75	0.87
Au/n-Si	1.65	2.9×10^3	164.15	195.62	143.82	124.71	0.597	0.62	0.65



Şekil 4.7. Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için Norde fonksiyonları

Metal/yarıiletken diyotlarda termal dengedeki arayüzey durumlarına (N_{ss}) bağlı olarak idealite faktörü Card ve Rhoderick'e [36] göre aşağıdaki gibi verilir.

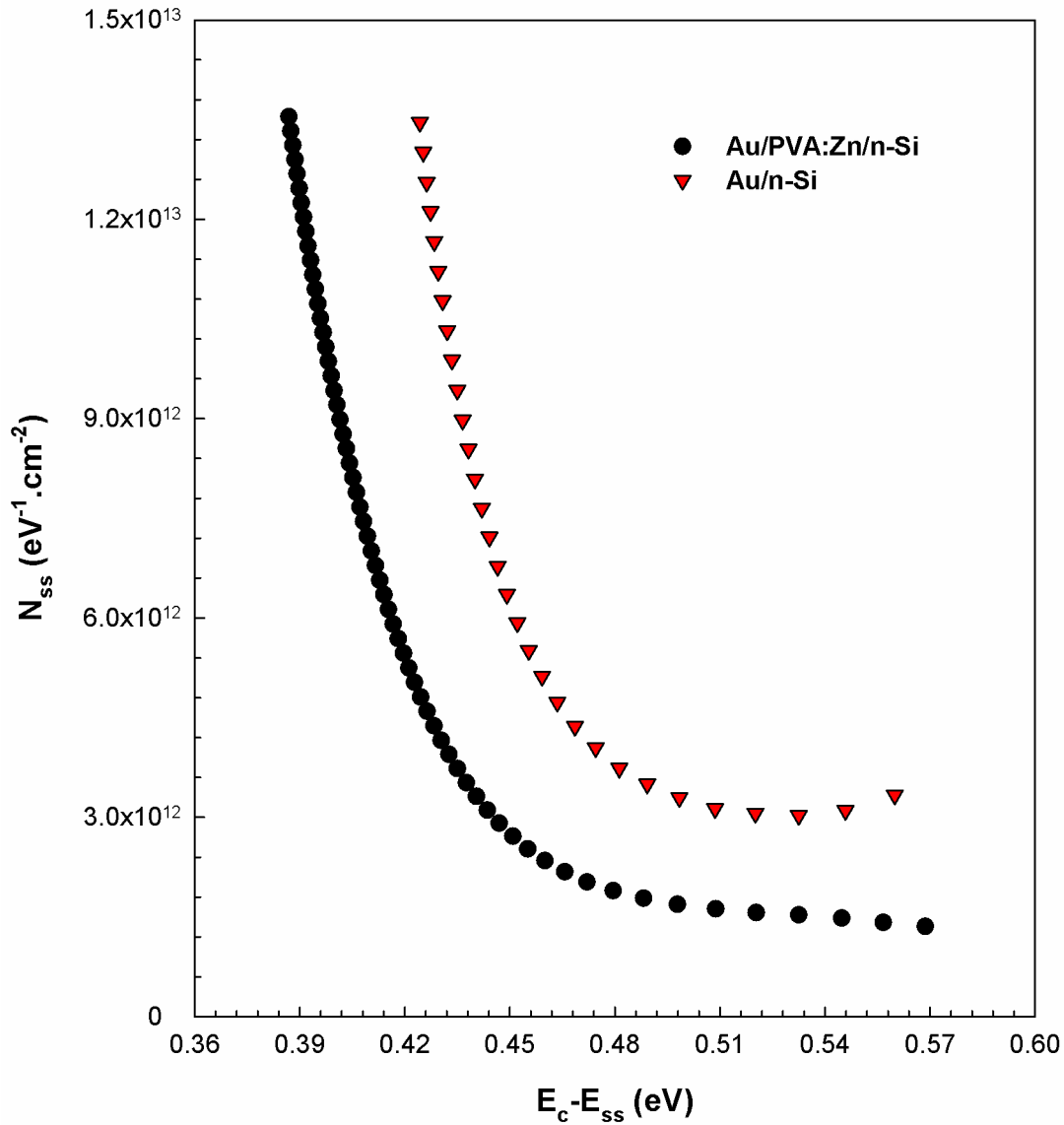
$$n(V) = 1 + \frac{\delta}{\varepsilon_i} \left[\frac{\varepsilon_s}{W_D} + qN_{ss}(V) \right] \quad (4.12)$$

Burada ε_i ($=8\varepsilon_o$) [29-31,58] ve ε_s ($=11.8\varepsilon_o$) arayüzey tabakasının ve yarıiletkenin dielektrik sabitleridir. ε_o ise boş uzayın dielektrik sabitidir, $\varepsilon_o=8.5 \times 10^{-14}$ F/cm. δ arayüzey tabakasının kalınlığını, W_D tüketim tabakasını, N_{ss} yarıiletkenle termal dengedeki arayüzey

durumlarını göstermektedir. Dahası n tipi yarıiletkenlerde arayüzey durumlarının enerjisi (E_{ss}) ile iletkenlik bandı (E_c) arasında aşağıdaki şekilde verilir.

$$E_c - E_{ss} = q[\Phi_e - V] \quad (4.13)$$

Burada V voltaj ve Φ_e ise efektif bariyer yüksekliğidir. Metal ile yarıiletken arasında arayüzey tabakasının varlığı N_{ss} 'lerin yarıiletken yasak enerji bandı arasındaki dağılımına ve yoğunluğunda etkilidir. Şekil 4.8. Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotların I-V eğrilerinden hesaplanmış N_{ss} 'lerin enerji dağılım profilini göstermektedir. Şekil 4.8'de N_{ss} değerleri yarıiletken iletkenlik bandından yasak enerji bandının ortalarına doğru eksponansiyel olarak azaldığı görülmektedir. Au/PVA:Zn/n-Si diyotu için N_{ss} değerlerinin büyüklüğü $1.36 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ile $1.35 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ arasında değişmektedir. Au/n-Si diyot için ise $3.34 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ile $1.35 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ arasında değişmektedir. Bu sonuçlara bakarak organik arayüzey tabakasının varlığının N_{ss} seviyelerinin yoğunluğunun azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Tuzak seviyelerinden taşıyıcılar düşük enerjilerle aktif olabileceği için N_{ss} seviyelerinin dağılım profilinin elde edilmesi oldukça önemlidir. Sonuç olarak PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılarak Au/n-Si arayüzeylerinin iyileştirildiği deneysel sonuçlardan görülmektedir [58].



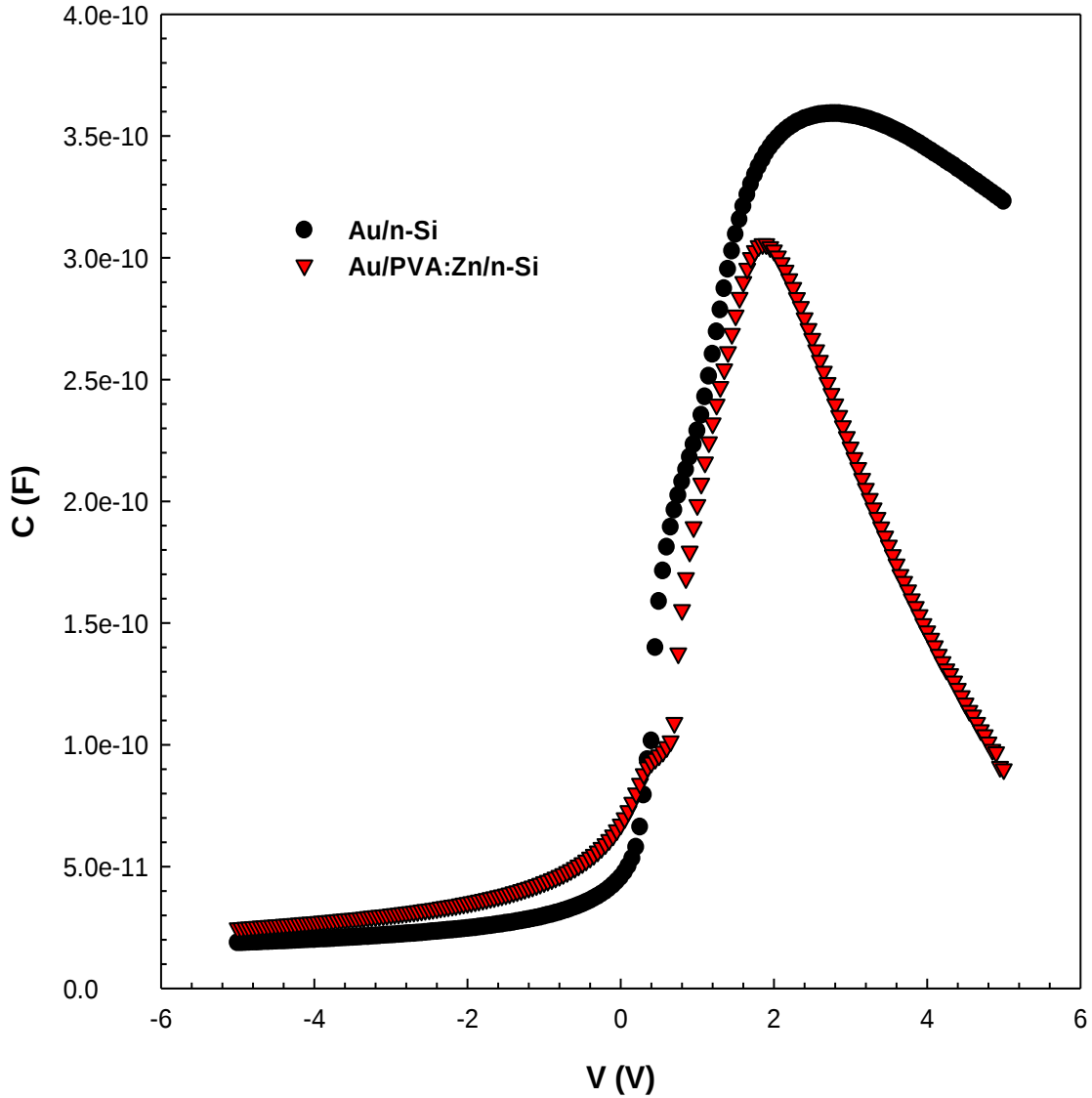
Şekil 4.8. PVA:Zn arayüzey tabakasının N_{ss} enerji dağılım profiline etkisi

4.2.3. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotların C-V ve G/ω-V Özelliklerinin Modifikasyonu

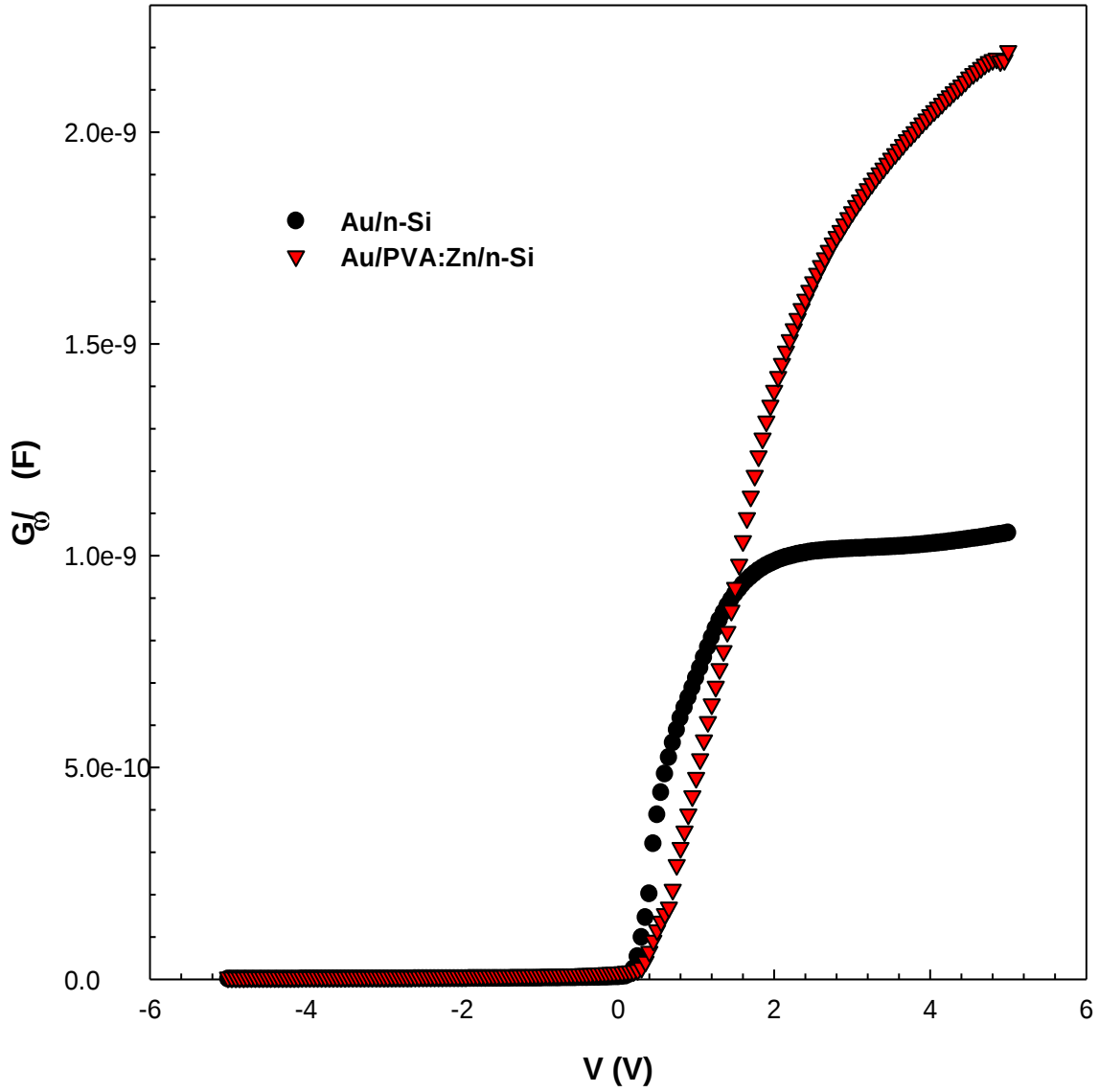
Au/PVA:Zn/n-Si yapının oda sıcaklığında ve 1 MHz frekansta elde edilen deneysel C-V ve G/ω-V ölçümleri sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da verildi. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi, C-V eğrileri terslenim-tüketim-yığılma bölgelerine sahiptir. Yani tipik bir MIS veya MOS karakteristiği sergilemektedirler. C değerleri genelde terslenim bölgesinden yığılma bölgesine doğru artan voltajla artmakta ve ~2 V'da pik vermektedir. Bu pikin varlığı metal ile yarıiletken arasındaki organik arayüzey tabakasının varlığına ve yasak enerji aralığındaki arayüzey durumlarının özel bir dağılımına atfedilebilir. Kuvvetli yığılma bölgesindeki aşağı doğru bükülme ise seri direncin varlığına ve büyüklüğüne atfedilebilir.

Ayrıca Şekil 4.9 ve 4.10’da görüldüğü gibi PVA:Zn arayüzey tabakası C ve G/ω değerlerini oldukça etkilemiştir. Yeterince küçük negatif voltajlarda (terslenim bölgesi) C ve G/ω değerlerinde önemli bir değişme olmayıp bu bölgede voltajın C ve G/ω değerlerine etkisi hemen hemen hiç yoktur.

Eğer MIS veya MOS yapılar, C - V ve G/ω - V ölçümleri yüksek frekanslarda ($f \geq 500$ kHz) alınırsa arayüzey durumları (N_{ss}) uygulanan dış a.c. sinyali takip edemez ve dolayısıyla hem C hemde G/ω değerlerine bir katkı getirmez [11,18,32,58].



Şekil 4.9. Oda sıcaklığında Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz’de C - V eğrileri



Şekil 4.10. Oda sıcaklığında Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz’de G/ω -V eğrileri

Au/PVA:Zn/n-Si yapının C^{-2} -V eğrisi 1 MHz’de elde edildi ve Şekil 4.11’de verildi. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi her bir diyot için C^{-2} -V eğrileri lineer olan kısmından fit edildi. C^{-2} -V karakteristikleri 1 MHz için aşağıdaki eşitliklerle hesaplandı [46,47,58].

$$C^{-2} = \frac{2}{q\epsilon_s A^2 N_D} (V_o + V) \quad (4.13)$$

Burada A diyot alanı, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, N_D donör taşıyıcı yoğunlu, V ters beslem voltajıdır. V_o değerleri ise Eş 4.14'den yararlanılarak, C^2 -V eğrilerinin voltaj eksenini kestiği noktadan hesaplandı. Bu değerlerden yararlanılarak da V_D difüzyon potansiyeli elde edildi.

$$V_o = V_D - \frac{kT}{q} \quad (4.14)$$

Engel yüksekliği değerleri Şekil 4.10'den yararlanılarak elde edilebilir.

$$\Phi_B(C-V) = V_D + E_F - \Delta\Phi_B \quad (4.15)$$

Burada E_F , bulk Fermi seviyesi ile iletkenlik band kenarı arasındaki enerji farkıdır. $\Delta\Phi_B$ imaj kuvveti engel düşmesidir [2-11] ve Eş 4.16'deki gibi verilir,

$$\Delta\Phi_B = \left[\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_o} \right]^{1/2} \quad (4.16)$$

E_m ise elektrik alandır ve aşağıdaki gibi verilir:

$$E_m = \left[\frac{2qN_D V_o}{\epsilon_s\epsilon_o} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

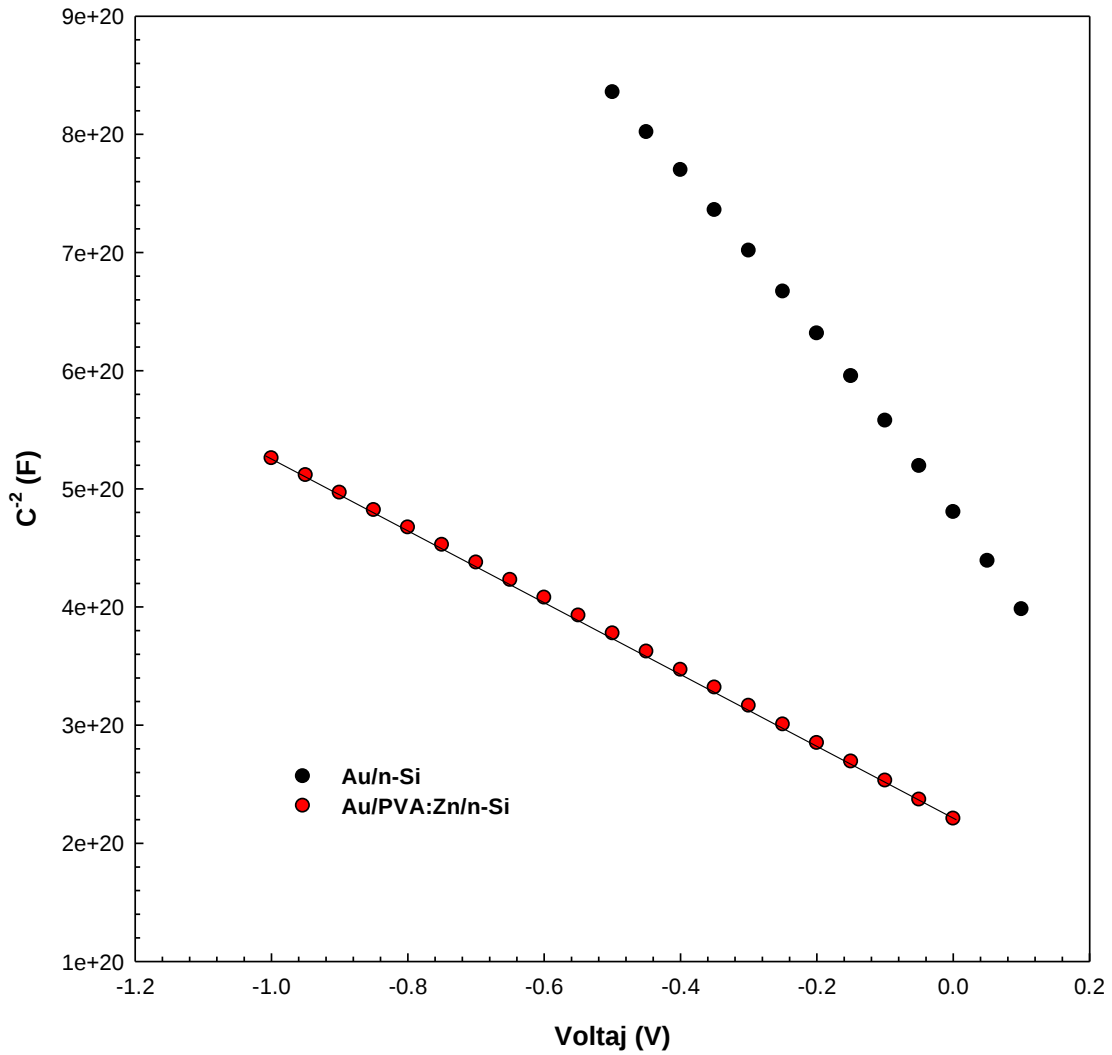
E_F enerjisi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplandı.

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln(N_C / N_D) \quad (4.18)$$

Burada N_C , n-Si için iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur ve

$$N_C = 4,82 \times 10^{15} T^{3/2} (m_e^* / m_o)^{3/2} \text{ ve } (m_e^* / m_o) = 0,98 \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikte m_e^* elektronların etkin kütlesi ve m_o elektron kütlesidir. N_D , E_F , $\Delta\phi_B$, $\Phi_B(C-V)$ ve W_D değerleri C^{-2} -V eğrilerinden belirlendi ve Çizelge 4.2’de sırasıyla verildi. C^{-2} -V eğrilerinden elde edilen bariyer yüksekliği değerleri hem Au/n-Si hem de Au/PVA:Zn/n-Si değeri için bir I-V sonuçlarından elde edilenler ile son derece uyumludur [58]. Tüm deneysel sonuçlar PVA:Zn arayüzey durumu ile modifiye edilmiş diyotun elektriksel özellikleri modifiye edilmeye göre daha iyidir [58].



Şekil 4.11. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların C^{-2} -V eğrileri

Çizelge 4.2. Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların C^{-2} -V eğrilerinden hesaplanmış bazı temel diyot parametreleri

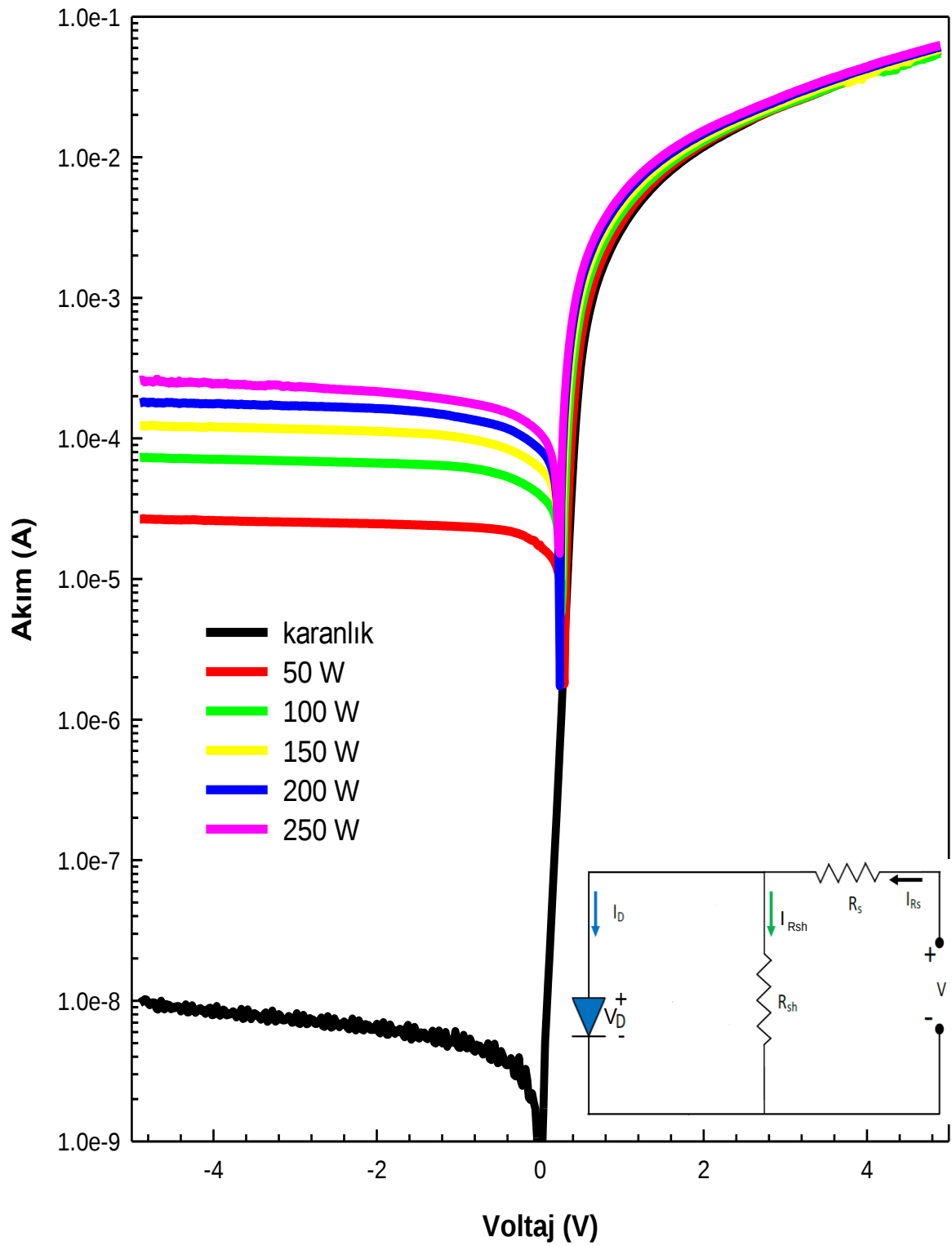
Numune	$N_D \times 10^{15}$ (cm^{-3})	W_D $\times 10^{-5}$ cm	E_F (eV)	Φ_B (eV)
Au/PVA:Zn/n-Si	2.11	7.85	0.24	0.76
Au/n-Si	1.68	1.24	0.26	0.66

4.3. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotun Işık Altında Elektriksel Sonuçları

Bir önceki bölümde geniş olarak tartıştığımız Au/PVA:Zn/n-Si diyotların klasik Au/n-Si diyotlara göre daha yüksek aygıt performansına sahip olması, bizi bu diyotların ışık altındaki özelliklerini incelemeye yöneltmiştir. Bu bölümde modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si Schottky diyotların elektriksel özellikleri akım-voltaj (I - V), kapasitans-voltaj (C - V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω - V) karakteristikleri ile hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetlerinde incelenecektir. Aydınlatma şiddetine bağlı olarak deneysel I - V ölçümlerinden n , Φ_{Bo} , R_s , R_{sh} ve N_{ss} , C - V ve G/ω - V ölçümlerinden ise R_s , N_{ss} , N_A , V_D , E_F , W_D ve Φ_B (C - V) gibi temel diyot parametreleri elde edildi. Elde edilen deneysel sonuçlar mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak incelendi. Ayrıca metal ile yarıiletken arasında kaplanan PVA:Zn tabakanın, seri direncin ve arayüzey durumlarının bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi araştırıldı.

4.3.1. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotun Işık Altında I - V Sonuçları

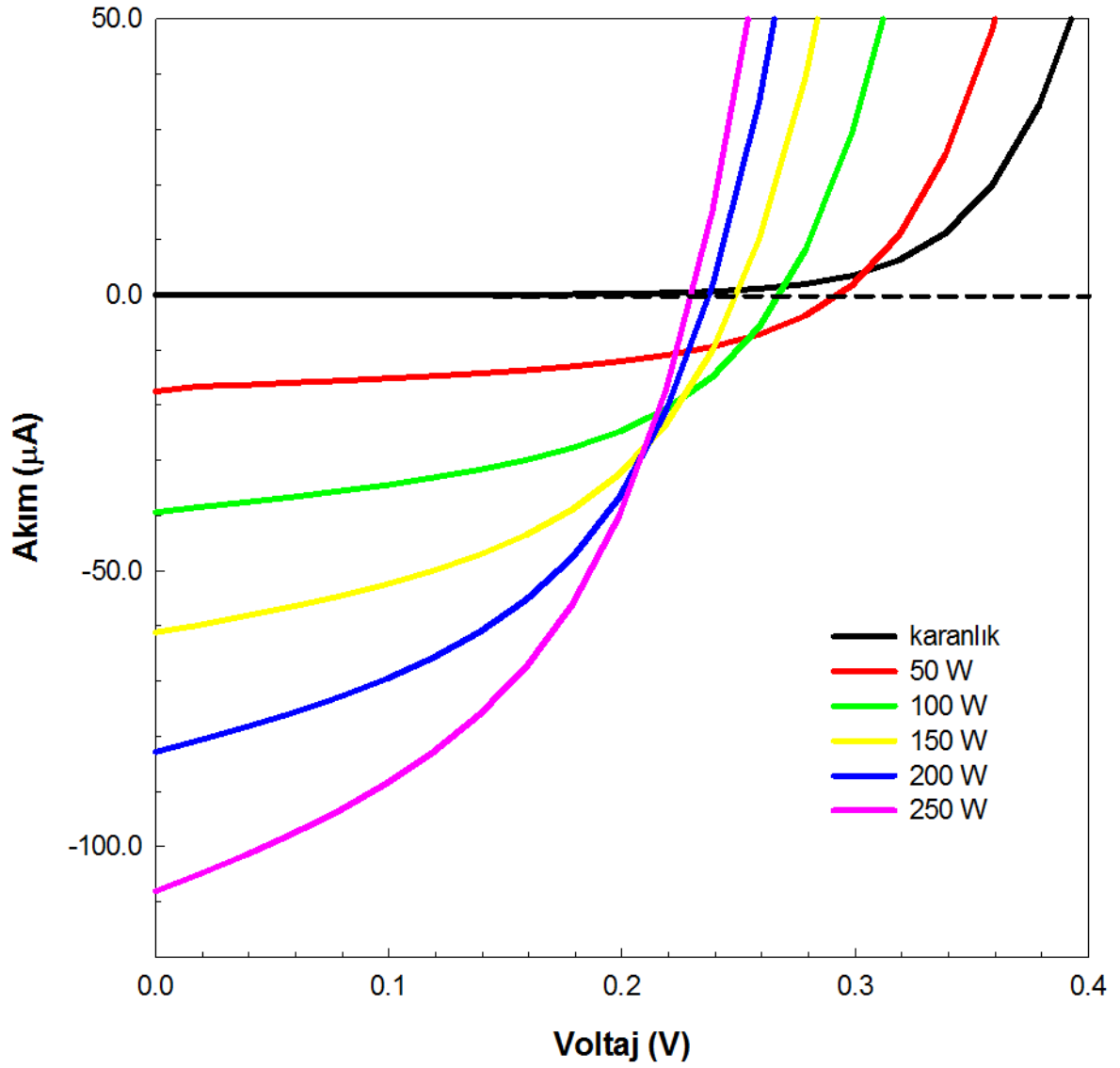
Modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si diyotların doğru ve ters ön-gerilimlerdeki yarı-logaritmik akım-voltaj (I - V) ölçümleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri (50-250 W) için oda sıcaklığında elde edilerek Şekil 4.12’de verildi. Burada diyot üzerine uygulanan ışığın şiddeti arttıkça sızıntı akımı da artmaktadır. Bu davranış artan aydınlatma şiddeti ile orantılı olarak metal-yarıiletken eklem bölgesinde daha çok sayıda elektron-hol çiftinin oluşmasından kaynaklanmaktadır [35,61]. Ayrıca uygulanan ışık şiddeti arttıkça tüketim bölgesinde uygulanan ışığın şiddetine bağlı olarak daha fazla tuzaklanmış yüklerin uyarılması ve bu yüklerin sızıntı akımına katkı sağlaması olarak açıklanmaktadır[62]. Diğer taraftan diyotun ışığa duyarlı “fotodiyot” davranışını gözlemleyebilmek için (farklı aydınlatma şiddetleri altındaki açık devre voltajı V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} değerlerini belirlemek için) doğru ön-gerilim I - V eğrileri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te verildi. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi foto-akım (I_p) değerleri artan aydınlatma şiddeti artmaktadır. Şekil 4.14’e baktığımızda ise 250 W aydınlatma şiddetinde V_{oc} ve I_{sc} değerleri sırasıyla 108.56 mV ve 230 mA olarak ölçülmüştür. Maksimum güç eğrisinin akım ve voltaj değerleri yardımıyla fotodiyotun verimliliği bir başka deyişle dolum faktörü (FF) %48 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bir güneş pili için düşük olmakla birlikte diyotun bir fotodiyot olarak kullanılabilmesi için yeterli seviyededir [61-63].



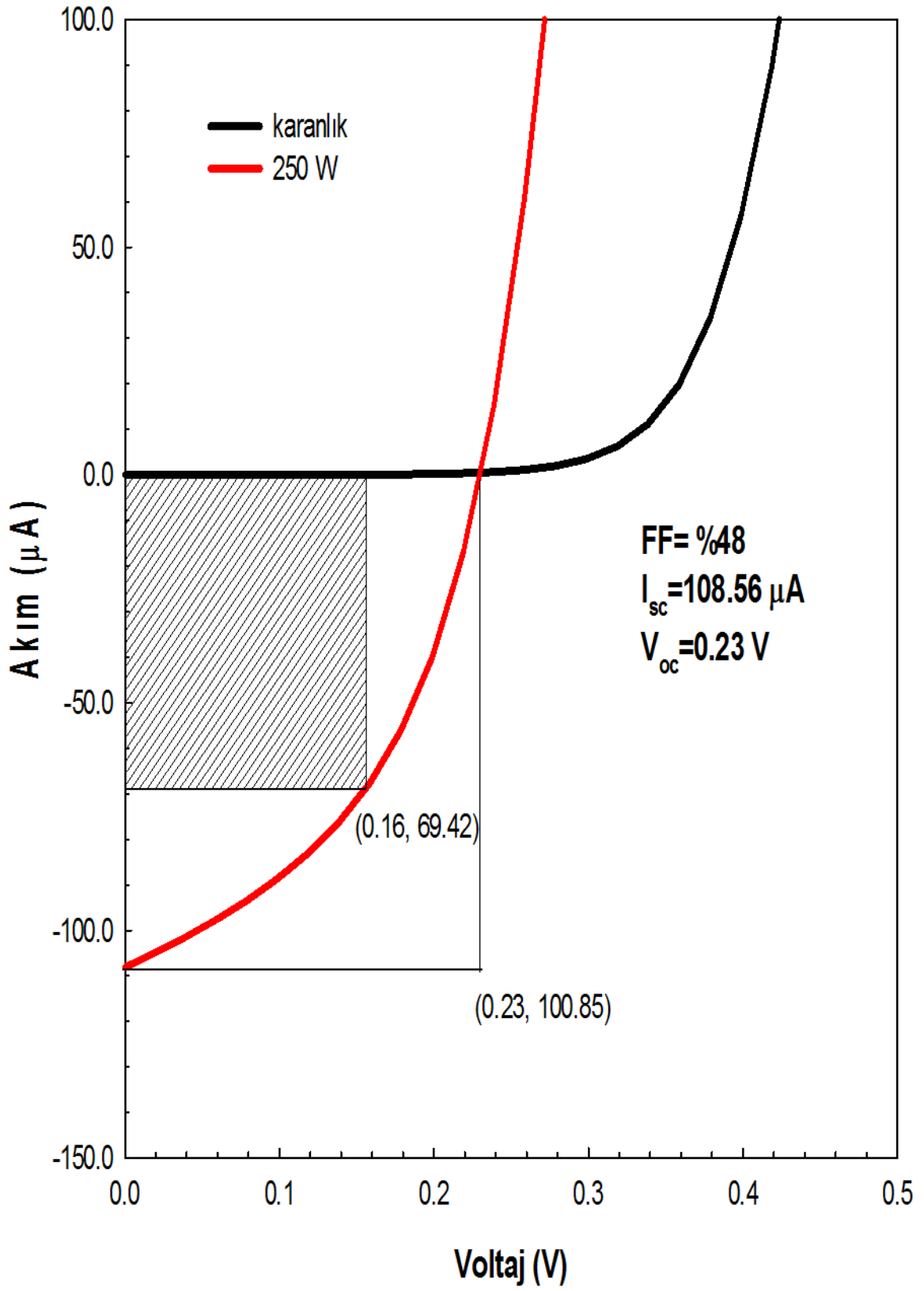
Şekil 4.12. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I$ - V eğrileri (İç Şekil: Diyotun elektronik devre şeması)

Çizelge 4.3. Farklı aydınlatma şiddetinde Au/PVA:Zn/n-Si diyotun açık devre voltajı ve kısa devre akımı

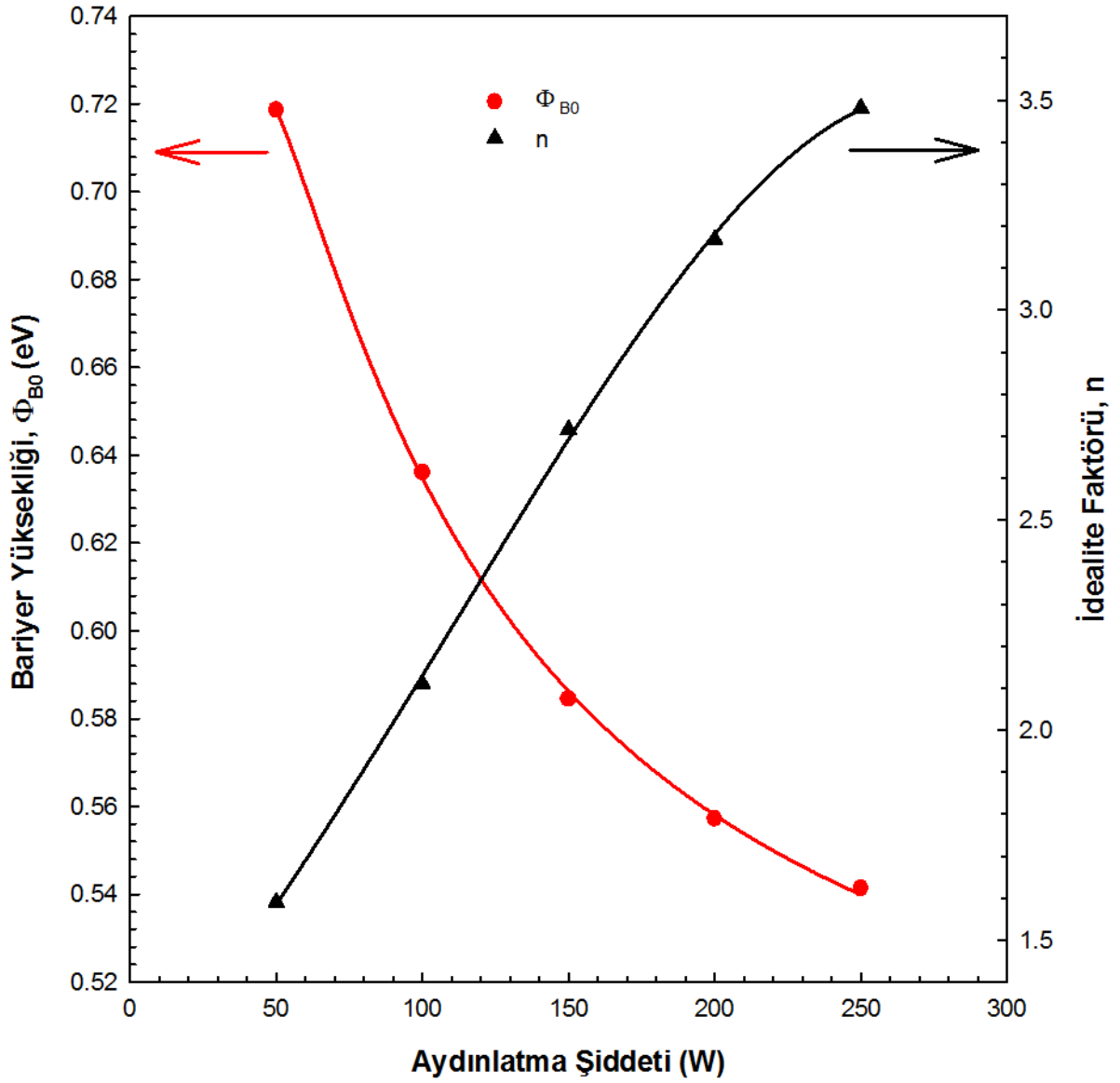
	Karanlık	50 W	100 W	150 W	200 W	250 W
V_{oc} (mV)	0	293.3	267.3	248.8	236.9	229.3
I_{sc} (μA)	0	18.45	40.19	61.87	83.08	108.56



Şekil 4.13. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların aydınlatma şiddetine bağlı I-V eğrileri



Şekil 4.14. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların maksimum güçte verim eğrisi



Şekil 4.15. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların bariyer yüksekliği ve idealite faktörünün aydınlatma şiddetine bağlı eğrileri

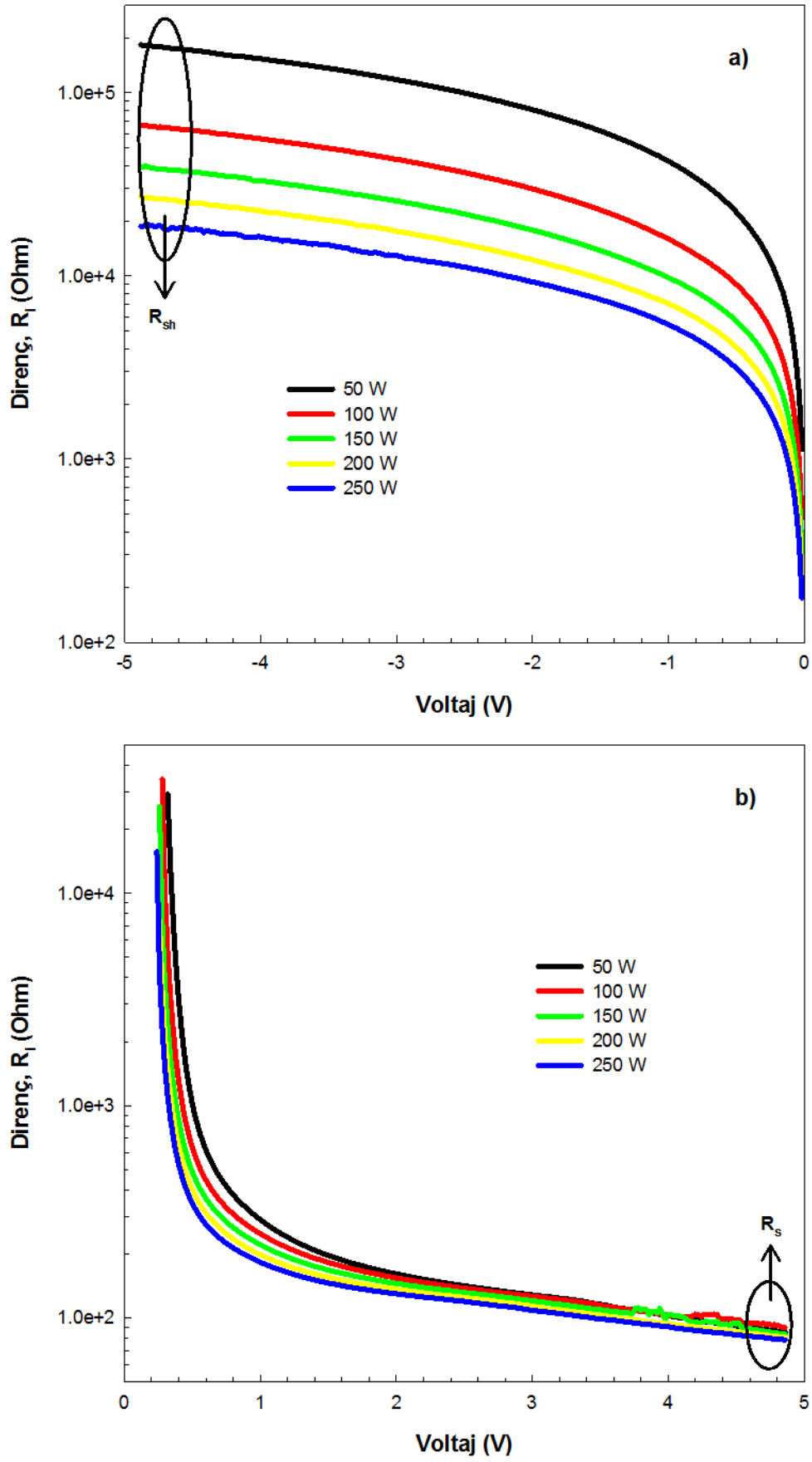
Au/PVA:Zn/n-Si diyodu için oda sıcaklığında ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki doğru ve ters ön-gerilim yarı-logaritmik $\ln I-V$ eğrileri yardımıyla Eş.4.6 ve 4.7'den hesaplanmıştır. Şekil 4.12'de yarı-logaritmik I-V eğrileri geniş bir voltaj aralığında lineer bir davranış sergilemektedir ve bu lineer bölgenin eğiminden ($\tan \theta = q/nkT$) diyotun her bir ışık şiddeti için idealite faktörleri elde edilerek Şekil 4.15'te verildi. I_o doyma akımı değerleri ise yine $\ln I-V$ grafiğinin lineer bölgesinin sıfır voltta kestiği noktadan elde edildi. Elde edilen I_o değerleri ile diyotun doğrultucu kontak alanı (A) ve etkin Richardson sabiti (A^*) değerleri kullanılarak sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{B0}) değerleri Eş. 4.7'den elde edildi ve Çizelge 4.4'de verildi. Farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen

deneysel n ve Φ_{Bo} değerleri Şekil 4.15'te verildi. Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi n değerleri artan aydınlatma şiddeti ile artarken Φ_{Bo} değerleri azalmaktadır [58]. Yani uygulanan ışık şiddeti ile diyot ideal davranıştan uzaklaşmakta ve elektronlar gelen fotonların enerjisini soğurarak daha düşük bir bariyer yüksekliğini aşmak zorunda kalmaktadır.

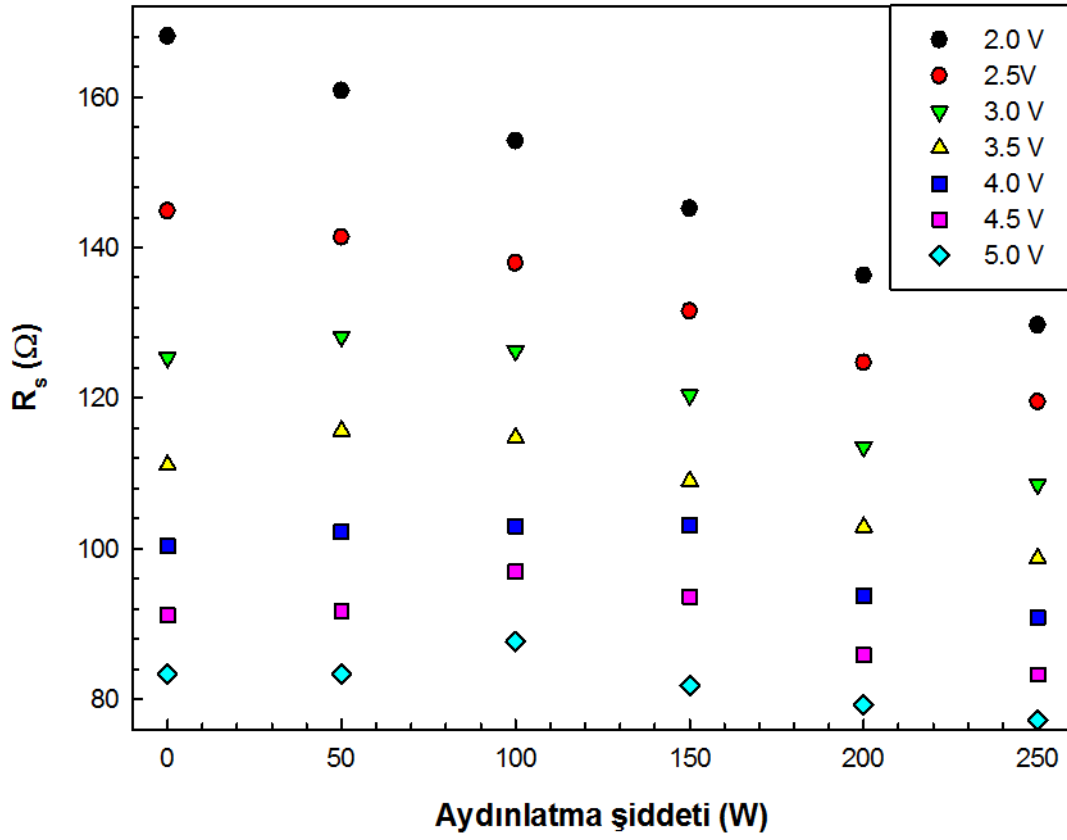
Çizelge 4.4. Farklı aydınlatma şiddetinde Au/PVA:Zn/n-Si diyotun hesaplanan bazı temel parametreleri

	Karanlık	50 W	100 W	150 W	200 W	250 W
n	1.38	1.59	2.11	2.72	3.17	3.48
I₀ (A)	$1.31 \cdot 10^{-9}$	$7.41 \cdot 10^{-9}$	$2.0 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$4.7 \cdot 10^{-6}$	$8.9 \cdot 10^{-6}$
Φ_{Bo} (eV)	0.75	0.72	0.64	0.58	0.56	0.54

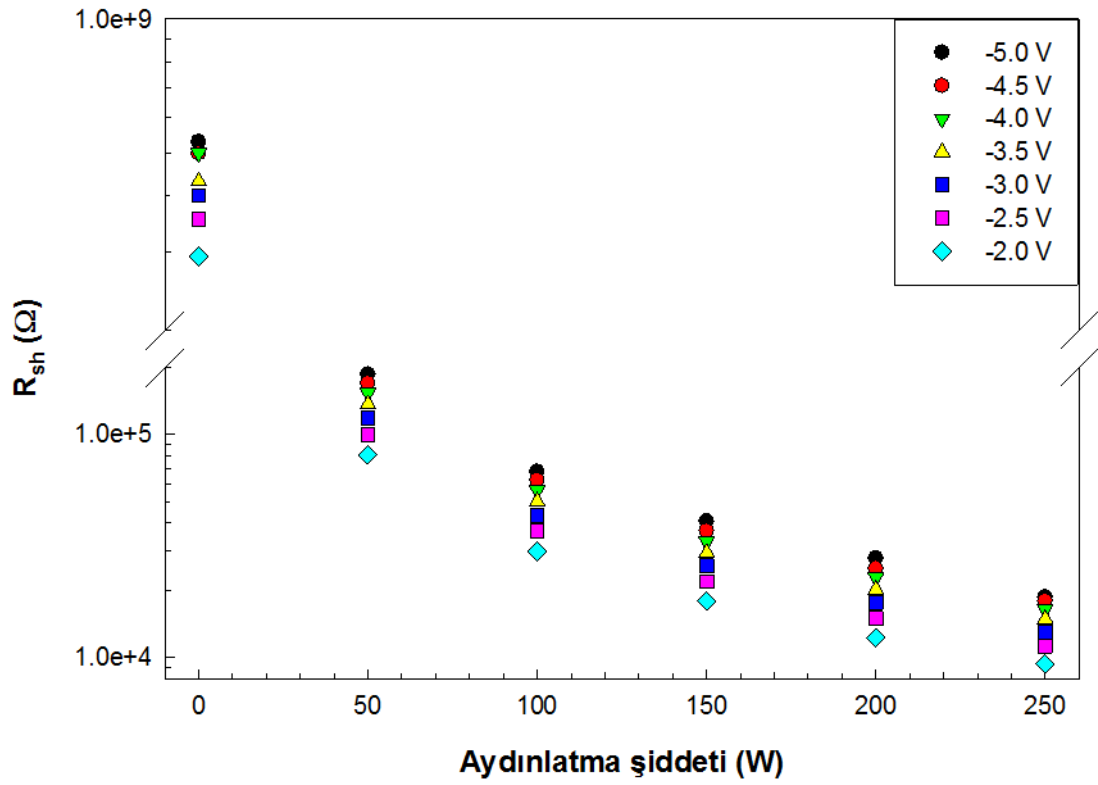
Au/PVA:Zn/n-Si diyotlarda hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetleri altında iç direncin (R_i) uygulanan voltaj ile nasıl değiştiğini göstermek amacıyla R_i değerleri ± 4 V aralığında 50 mV' luk adımlarla Ohm yasasından hesaplandı. Farklı aydınlatma şiddetleri için ters ön gerilimde elde edilen R_i -V eğrilerinden şönt direnci Şekil 4.16.a'da doğru ön gerilimde R_i -V eğrilerinden seri direnci Şekil 4.16.b'de verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi R_s ve R_{sh} değerleri hem voltaja hem de aydınlatma şiddetine bağlı olarak oldukça değişmektedir. Ayrıca seri ve şönt direncini detaylı incelemek için farklı voltajlarda R_i eğrileri ise Şekil 4.17 ve 4.18'de verildi. Şekil 4.16.a'da yüksek pozitif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri diyotun seri direncine (R_s) karşılık gelirken, yüksek negatif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri ise diyotun kısa devre direncine (R_{sh}) karşılık gelmektedir. Artan ışık şiddeti ile R_s değerleri lineer azalırken R_{sh} değerleri artan aydınlatma şiddeti ile üstel olarak azalmaktadır. Şekil 4.19'den de görüldüğü gibi yüksek voltaj değerleri için R_s değerinin artan aydınlatma şiddeti ile azaldığı görülmektedir. Bu durumun sebebi artan aydınlatma şiddeti ile valans bandındaki ve yasak enerji aralığındaki tuzaklanmış taşıyıcıların uygulanan foton demet enerjisi ($>E_g$) ile iletim bandına uyarılarak öz iletkenlik (σ) veya iletkenliği (G) artıracak ve dolayısıyla öz direnci ($\rho = 1/\sigma$) veya direnci ($R = 1/G$) azaltacaktır.



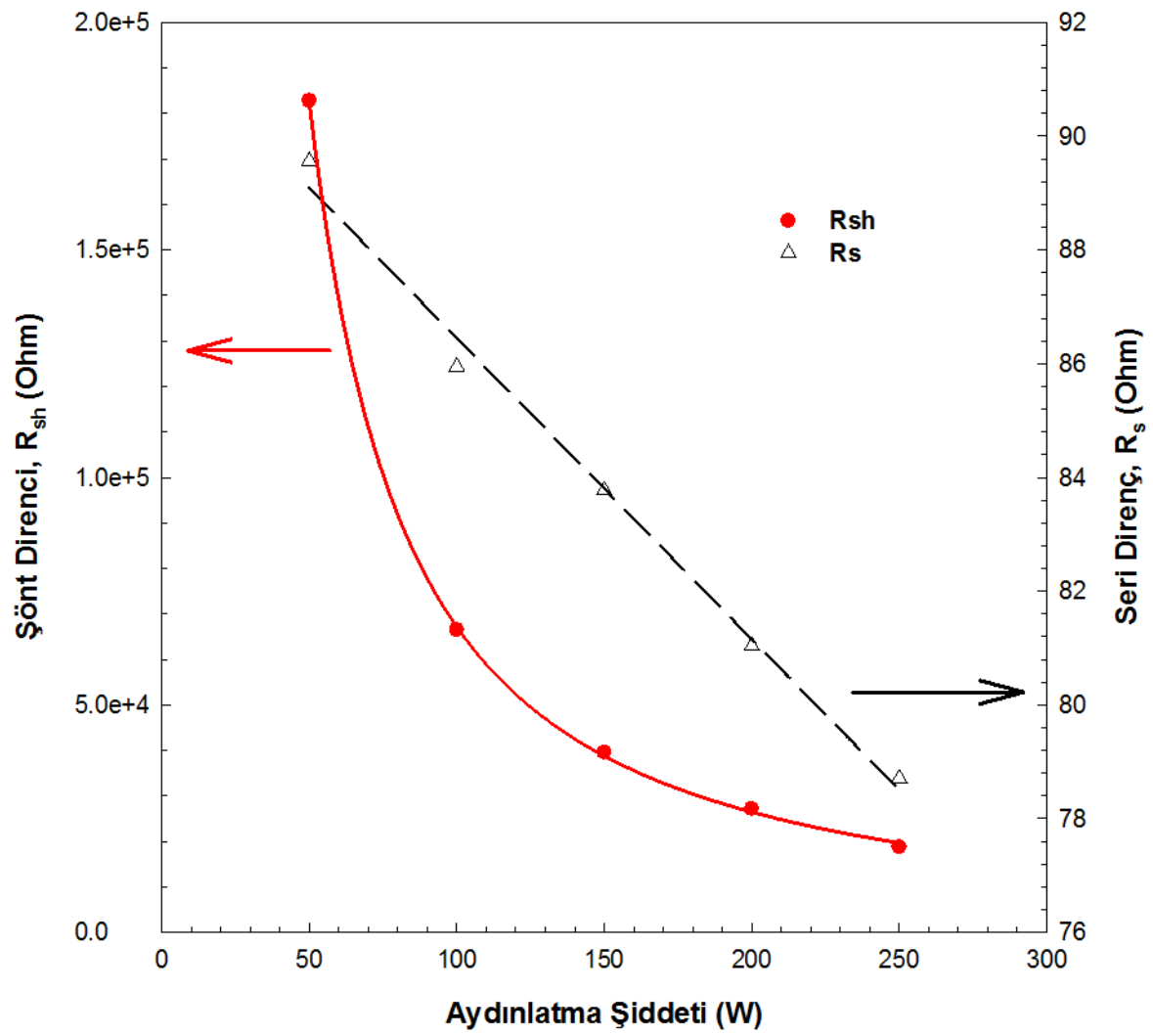
Şekil 4.16. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların ışık altında a)ters b)doğru beslem R_1 -V eğrileri



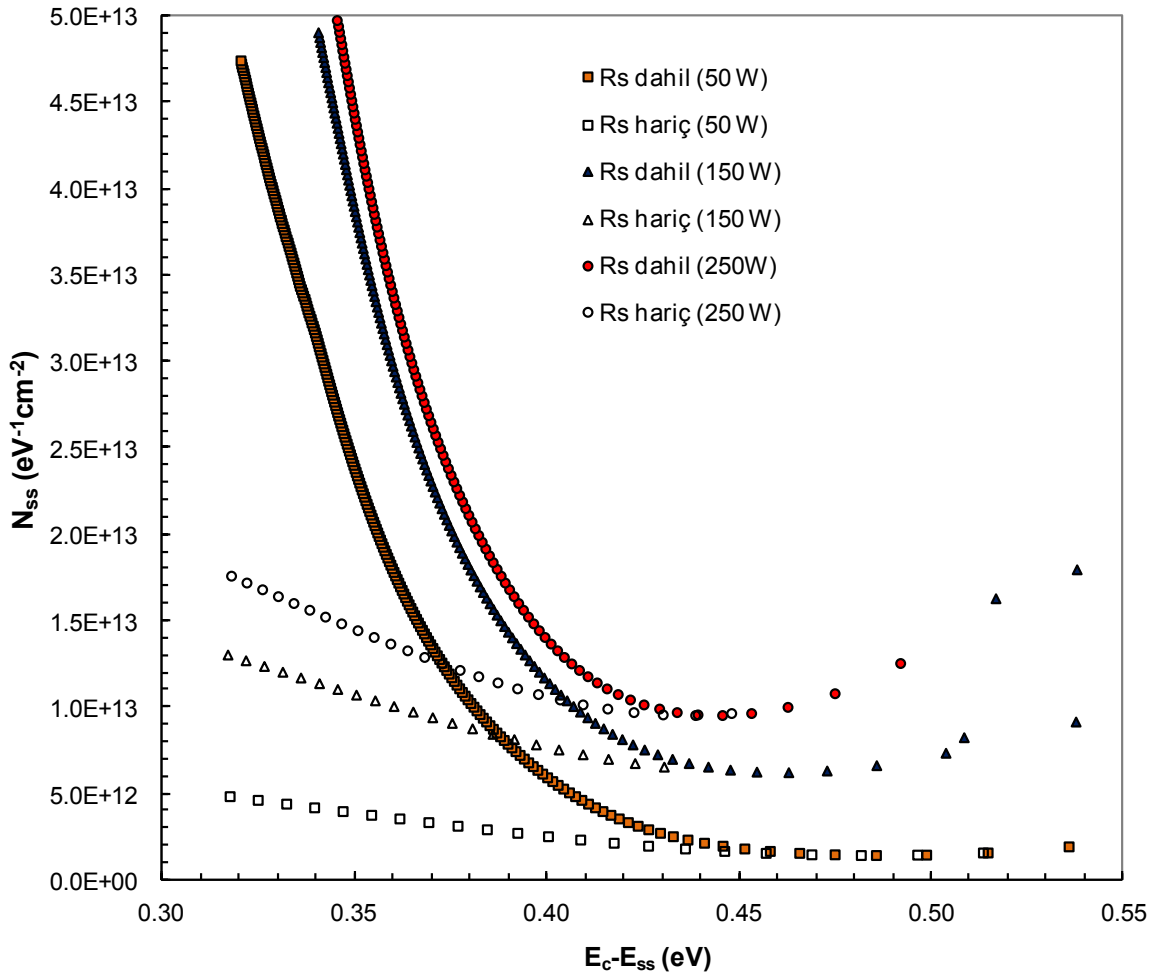
Şekil 4.17. Au/PVA:Zn/n-Si yapının farklı voltajlarda ve aydınlatma şiddetinde R_s eğrileri



Şekil 4.18. Au/PVA:Zn/n-Si yapının farklı voltajlarda ve aydınlatma şiddetinde R_{sh} eğrileri



Şekil 4.19. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların şönt ve seri direncin aydınlatma şiddetine bağlı eğrileri



Şekil 4.20. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların aydınlatma şiddetine bağlı N_{ss} eğrileri

Şekil 4.20'den açıkça görüldüğü gibi arayüzey durumlarının yoğunluğunun diyot üzerine uygulanan ışık şiddeti arttıkça artması, ışık şiddeti arttıkça daha tuzaklanmış yük seviyelerinden salınan yük taşıyıcıların akıma daha fazla katkı sağladığı açıklamasını deneysel olarak doğrulamaktadır. Ayrıca seri direncin ihmal edildiği durumlarda N_{ss} 'ler hesaplanmış ve grafik üzerinde verilmiştir [58].

Au/PVA:Zn/n-Si diyotun arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) yasak enerji bandındaki dağılım profili doğru ön-gerilim I - V ölçümlerinden enerjinin ($E_c - E_{ss}$) bir fonksiyonu olarak ve etkin engel yüksekliğinin (Φ_e) uygulanan gerilime bağlı olduğu göz önüne alınarak farklı aydınlatma şiddetleri için elde edildi ve Şekil 4.20'de verildi. Ayrıca diyotun seri direnç değeri dikkate alınarak 50, 150 ve 250 W aydınlatma şiddeti için N_{ss} dağılım profilleri de elde edildi. Şekil 4.8 ve 4.20'de görüldüğü gibi karanlık ve farklı aydınlatma

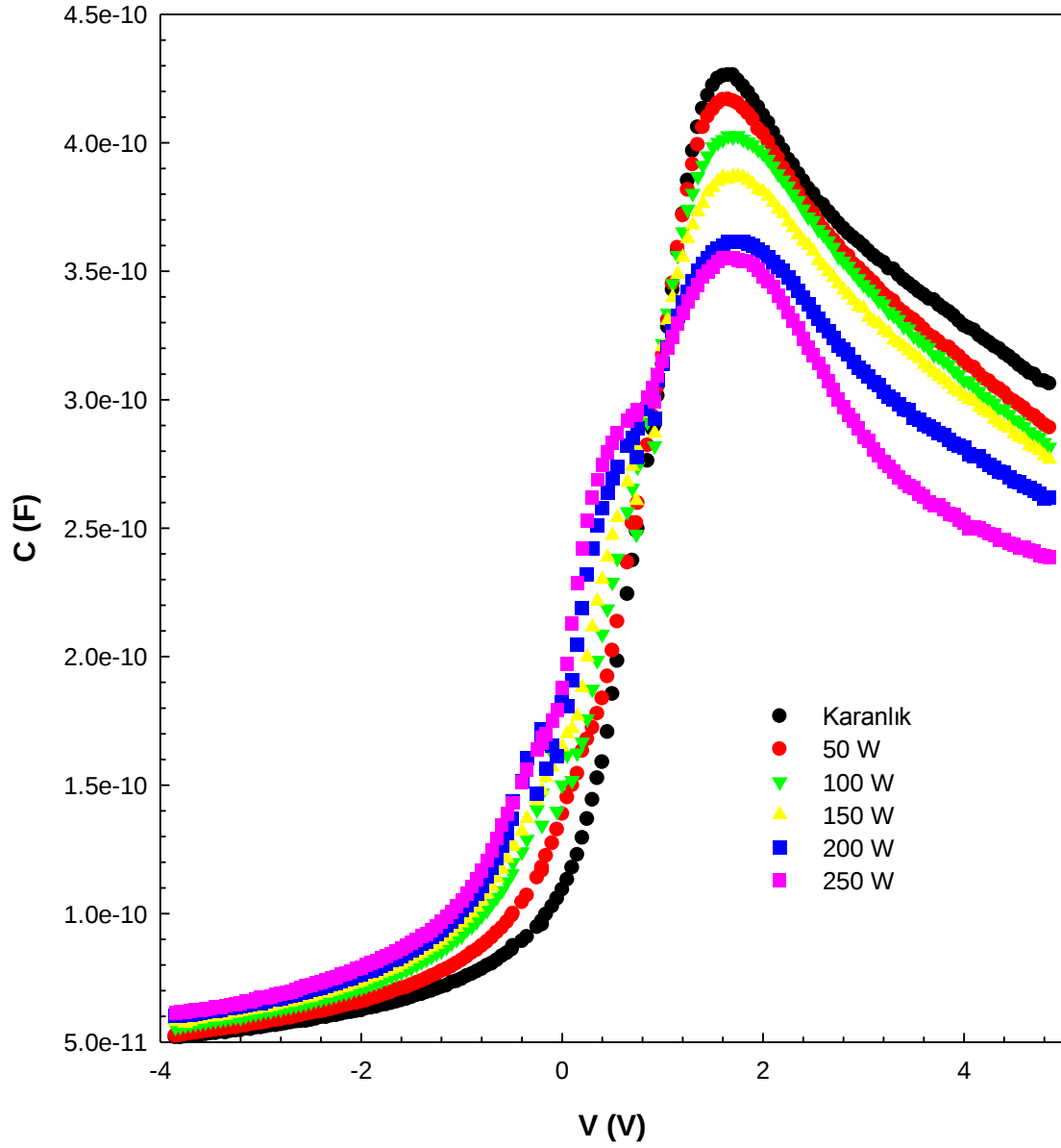
şiddetleri için N_{ss} değerleri iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru azalmakta ve bir minimumdan geçerek U şekline benzer bir davranış göstermektedir. Bu davranış arayüzey durumlarının genelde verici (donor) tipi olduğunu göstermekte ve yasak enerji aralığının ortasından sonra ise alıcı (acceptor) tipi arayüzey durumlarının da etkin olabileceğini göstermektedir. Şekil 4.20’de görüldüğü gibi, seri direnç etkisi dikkate alınmadığında elde edilen arayüzey durumlarının yoğunluğunun özellikle iletkenlik bandına yakın bölgelerinde yaklaşık bir mertebe daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç, arayüzey durumlarının hesaplanmasında seri direnç etkisinin dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar literatürde diğer araştırmacılar tarafından da gözlenmiştir [62,63].

4.3.2. Au/PVA:Zn/n-Si Diyotun Işık Altında C-V Sonuçları

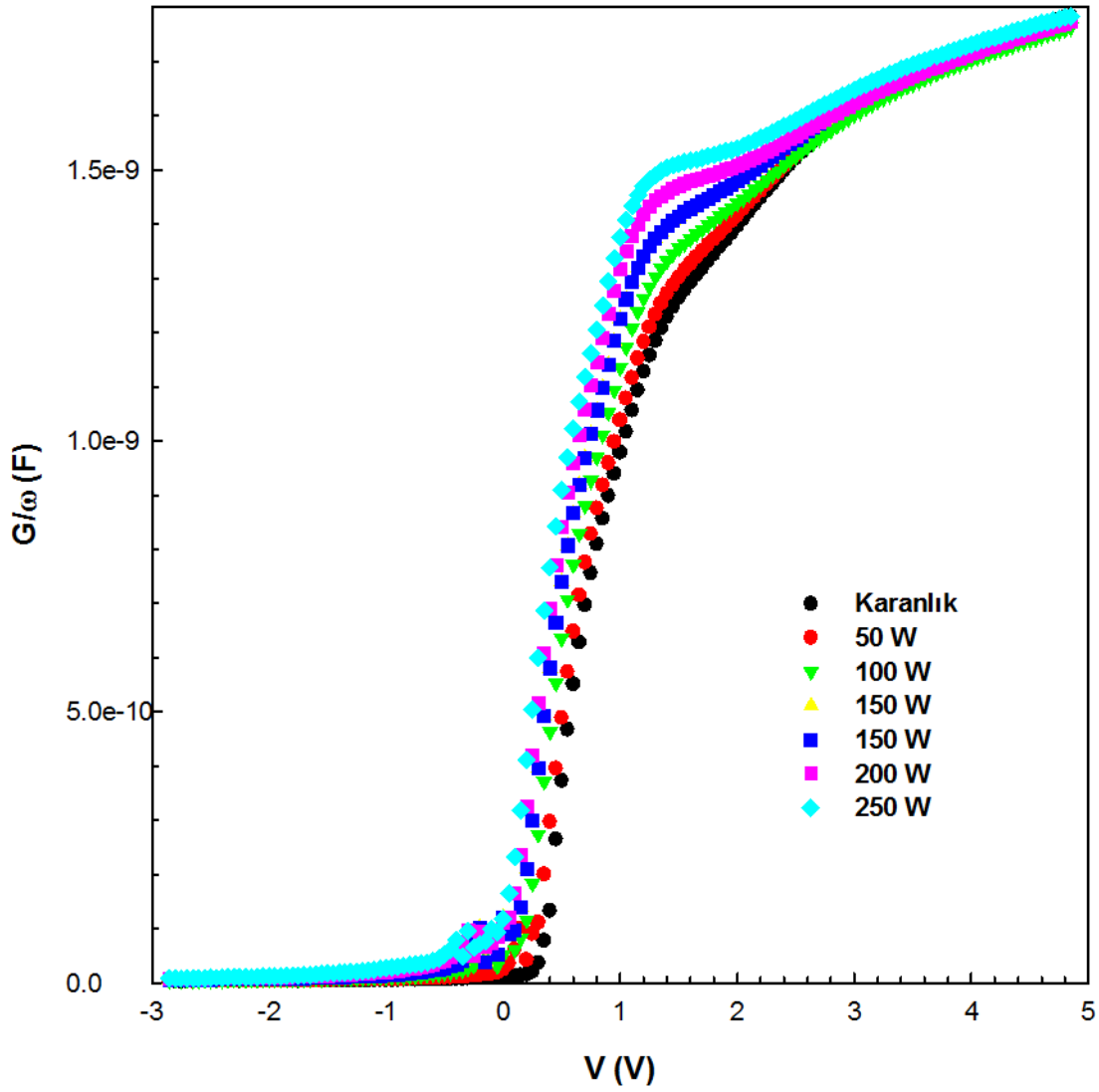
Au/PVA:Zn/n-Si diyotun ters ve doğru ön-gerilim altındaki kapasitans-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G/ω -V) ölçümleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri (50-250 W) altında 1 MHz frekansta, oda sıcaklığında ve -4 V ile +4 V aralığında 0.05 V adımlarla gerçekleştirildi. Elde edilen bu deneysel C-V ve G/ω -V karakteristikleri sırasıyla Şekil 4.21-4.22’de verildi. Her iki şekilden de görüldüğü gibi hem kapasitans (C) ve hem de kondüktans (G/ω) değerlerinin önemli ölçüde aydınlatma şiddetine bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 4.21-22’deki C-V eğrilerinin her birinde terslenim, tüketim ve yığılma bölgeleri açık olarak görülmekle birlikte C ve G/ω değerlerinde meydana gelen değişimler özellikle tüketim ve yığılma bölgelerinde etkili olmaktadır. Doğru ön-gerilim altında C-V eğrilerinin bir pik vermesi literatürde anormal bir durum olarak isimlendirilir ve bu piklerin varlığı genelde yapıdaki arayüzey tabakasının varlığına ve dolayısıyla R_s ’ye atfedilmektedir [14,17,18,32,41,42]. Yüksek aydınlatma şiddetlerinde 1.6 V civarında pik şiddetleri seri direncin baskın olmasından dolayı azalma eğilimi göstermektedir. Ayrıca, C-V eğrilerindeki piklerin artan aydınlatma şiddetine bağlı olarak azalması ve pozisyonunun kayması ise aygıt üzerine düşürülen ışık şiddetinin artmasıyla farklı enerji seviyelerindeki arayüzey durumlarının ve yüzey yüklerinin yeniden yapılanması ve düzenlenmesine atfedilebilir [16-20,45-47,58].

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi aydınlatma şiddetine bağlı G/ω -V eğrilerinden görüldüğü gibi G/ω değerlerinin de C değerleri gibi önemli ölçüde aydınlatma şiddetine bağlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, G/ω -V eğrilerinde aydınlatma şiddeti altında özellikle tüketim ve

yığılma bölgesinde C - V eğrilerine paralel bir davranış sergilemektedir. Bu davranış yukarıda açıklandığı gibi tüketim bölgesinde arayüzey durumlarının varlığına, yığılma bölgesinde seri direncin baskın olmaya başlamasına, arayüzey tabakasının varlığına, kalınlığına ve homojenliliğine atfedilebilir[11,45-47,61-63].



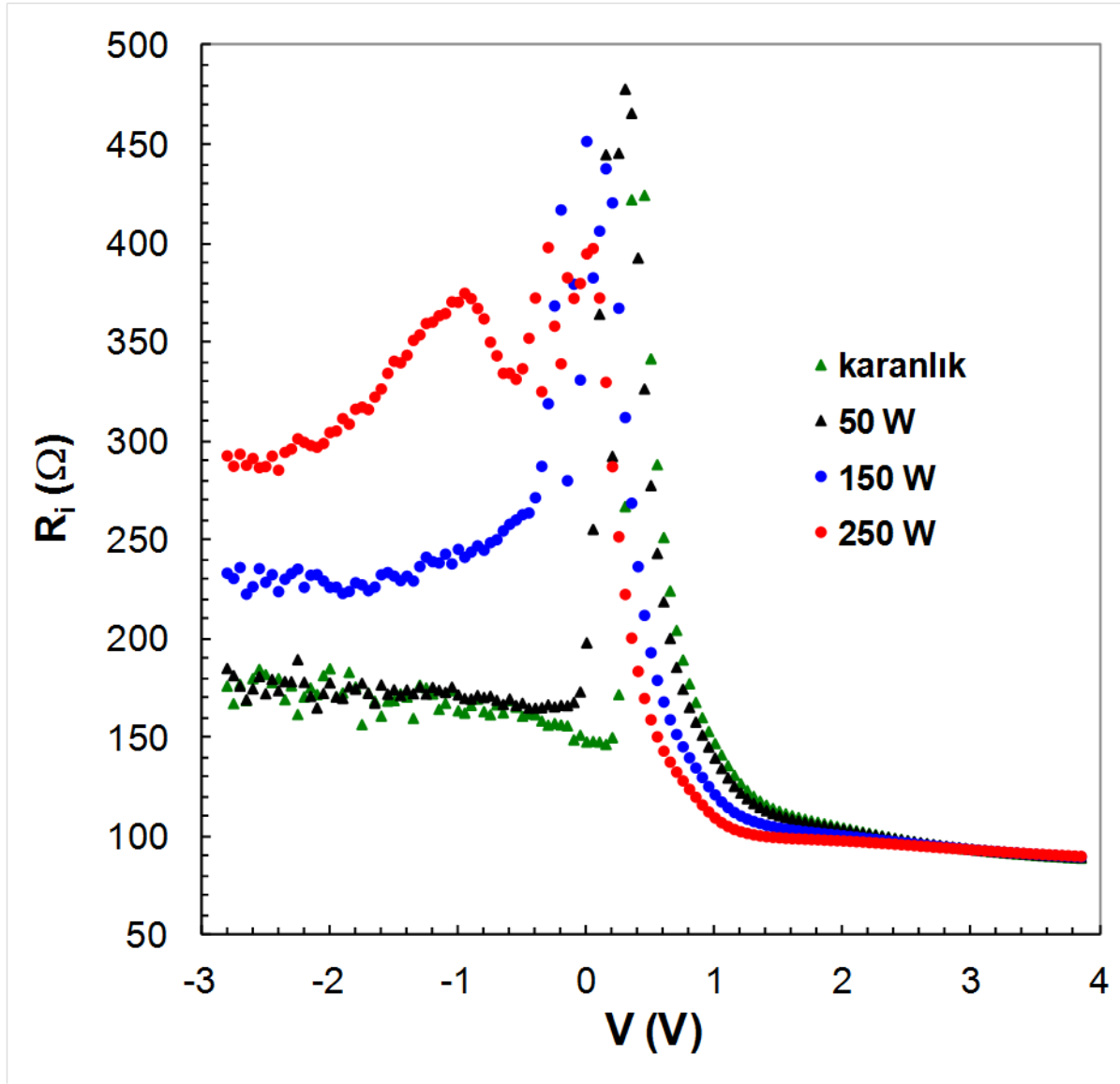
Şekil 4.21. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun farklı aydınlatma şiddetlerinde C - V eğrileri



Şekil 4.22. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun farklı aydınlatma şiddetlerinde G/ω -V eğrileri

Doğru ön-gerilim altında C - V eğrilerinde gözlenen diğer önemli bir özellik ise yaklaşık 0.8 V civarında bir kesişme davranışı sergilemesidir. Bu kesişme noktasındaki sapma aydınlatma şiddetinden bağımsız denecek kadar azdır. Bu kesişme, ideal Schottky engel diyotlarının davranışlarına aykırı bir durum teşkil etmektedir. C değerleri kesişme noktasından önce artan aydınlatma şiddetine bağlı olarak artarken, kesişme noktasından sonra ise azalmaya başlamaktadır. Bu durum düşük aydınlatma şiddetlerinde yeteri kadar serbest taşıyıcının bulunmayışına yada yüksek aydınlatma şiddetinde çok sayıda yeni taşıyıcının Si/PVA:Zn arayüzeyinde tuzaklanması veya tuzaklandığı seviyelerden salınmasına atfedilebilir [58,61-63].

C-V eğrilerinin belirli bir noktada kesişmesi, literatürde seri direncin sıfırdan farklı olduğu durumlarda gözlenebildiğine atfedilerek deneysel çalışmalarda incelendi [35,36,58,61-62]. Chand ve arkadaşları ise [64] R_s ' nin sıfırdan farklı olması durumunda bu kesişmenin teorik olarak gözlemlenemeyeceğini öne sürmüştür ancak bu kesişmenin gözlenmemesi Chand ve arkadaşlarının yeteri kadar ileri pozitif ön-gerilim voltajlarına kadar eğrileri fit etmemelerinden kaynaklandığı sonraki birçok makalede tartışılmıştır. Aydınlatma altında, diyotun tüketim bölgesindeki taşıyıcı yoğunluğunun aşırı artmasından dolayı R_s değeri artar. Bu azalma aydınlatma altında oluşan elektron-hol çiftlerinin birleşerek nötrleşmesinden ve tuzaklardaki bazı yüklerin iletim bandına uyarılmasından kaynaklanabilir [58].



Şekil 4.23. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun aydınlatma şiddeti altında R_s -V eğrileri

Metal-polimer-yarıiletken (MPS) yapılarda seri direnci hesaplamak için birçok yöntem vardır [11,58,61-63]. Bu çalışmada, Nicollian ve Brews [11] tarafından geliştirilen ve diğer metotlara göre daha doğru, pratik, hızlı ve hassas olarak kabul gören admitans metodu kullanılarak 1 MHz frekansta farklı aydınlatma şiddetine bağlı olarak direnç Eş.4.20 yardımıyla değerleri elde edildi [11,58].

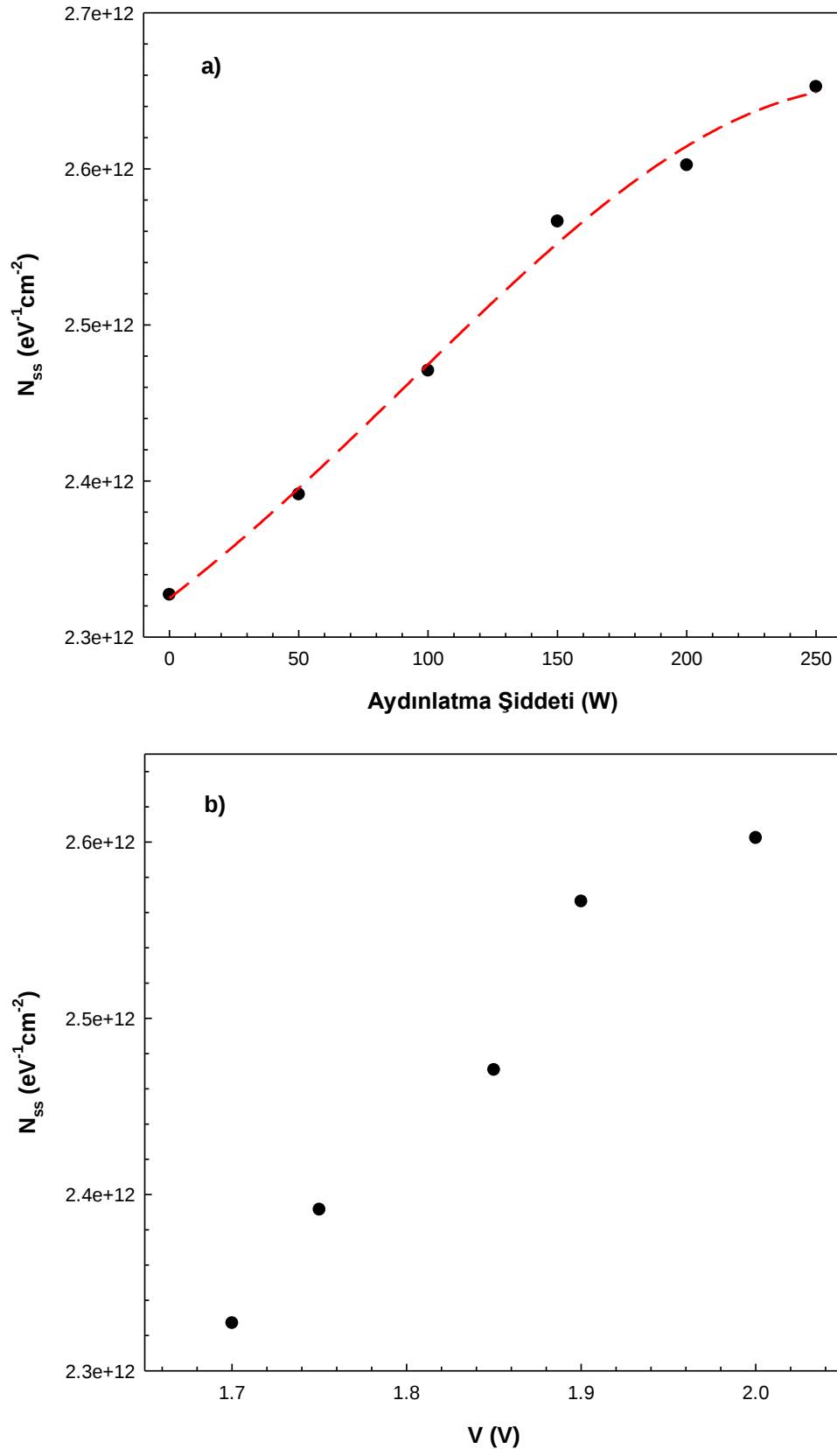
$$R_i = \frac{G_m}{(G_m^2 + C_m^2 \omega^2)} \quad (4.20)$$

Burada C_m ve G_m sırasıyla kuvvetli yığılma bölgesindeki kapasitans ve kondüktans değerleridir. Bu yapıların gerçek seri direnç değeri kuvvetli yığılma bölgesindeki C ve G/ω değerlerinden elde edilir. Ancak bu formül voltaja bağlı R_s değerlerini elde etmek içinde kullanılır ve bu yapının iletim mekanizmaları hakkında da bize önemli ipuçları verir. Yeterince ileri voltaj bölgesinde direnç ki bu diyotun seri direnci olarak adlandırılır, tüm aydınlatma şiddetleri için R_s eğrileri 90Ω civarında üst üste gelmektedir. Bu değer daha önce ışık altında I-V sonuçlarından elde seri direnç değerlerinden bir miktar yüksek olmakla birlikte uyum içindedir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi R_i değerleri, aydınlatma şiddetine oldukça bağımlıdır. R - V grafiği hem karanlık hem de her aydınlatma şiddeti için pikler vermekte ve bu pik değerleri artan aydınlatma şiddetiyle azalarak pozisyonları sıfır volta doğru kaymaktadır.. Direnç eğrilerinin bu davranışı, aydınlatma etkisinde Si/PVA:Zn arayüzeyinde ve yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yeniden yapılanıp düzenlenmesine atfedilir [11,39,61]. Bunu daha iyi anlayabilmek için N_{ss} ’in Şekil 4.24’te hem aydınlatma şiddetine bağlı hem de voltaja bağlı değişimi verildi.

Metal ile yarıiletken arasında ve yarıiletken üzerine büyütülen polimer tabakasının kalınlığı yüksek frekansta (1 MHz) Nicollian tarafından [65] verilen arayüzey tabakasının sığasından Eş. 4.21 kullanılarak $56 \text{ \AA}$ olarak elde edildi [58].

$$C_i = C_m \left[1 + \left(\frac{G_m}{\omega C_m} \right)^2 \right] = \frac{\varepsilon_i \varepsilon_o A}{d_i} \quad (4.21)$$

Burada ε_i ve ε_o sırasıyla arayüzey tabakası ve boşluğun geçirgenlik sabitleridir.

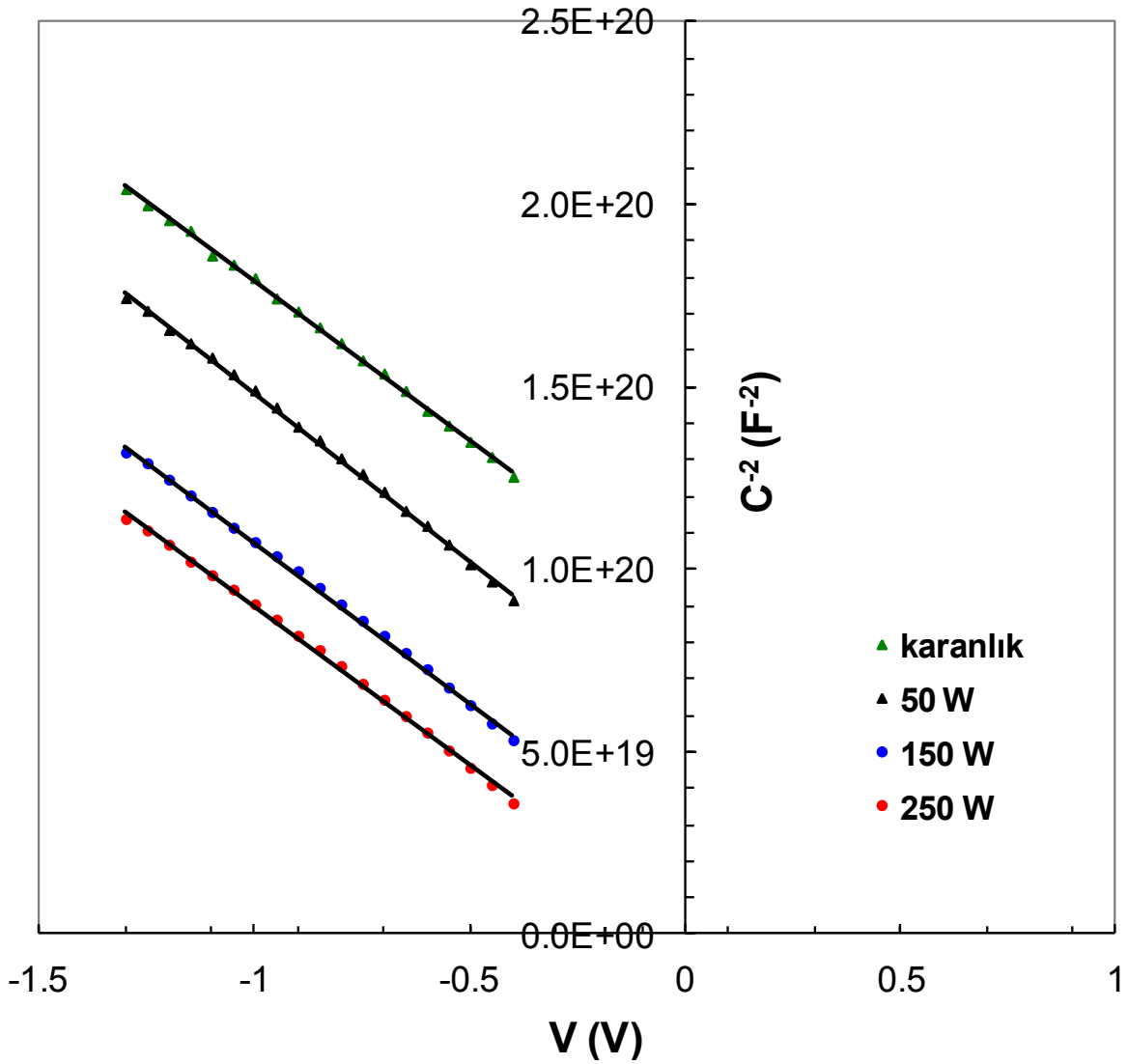


Şekil 4.24. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun a) aydınlatma şiddeti b) voltaja bağlı arayüzey durumlarının dağılımı

N_{ss} değerlerini elde etmenin bir başka yolu da Hill ve Coleman tarafından literatüre kazandırılan metodun kullanılmasıdır[66]. Eğer C - V ve G/ω - V eğrileri bir pik veriyor ise Hill-Coleman' a göre, N_{ss} değerleri, Eş. 4.22 yardımı ile kapasitans ve kondüktans değerlerinden elde edilebilir. Eş. 4.22 kullanılarak farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen arayüzey durumları Şekil 4.24'de verildi.

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{(G/\omega)_m}{\left(\left((G/\omega)_m C_i \right)^2 + \left(1 - C_m / C_i \right)^2 \right)} \quad (4.22)$$

Burada A , diyotun doğrultucu kontak alanı ($=7,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$), ω açısal frekans ($=2\pi f$), $(G/\omega)_m$ ise ölçülen kapasitansın pik değerine karşılık gelen iletkenlik ve C_i ise arayüzey tabakanın kapasitansıdır. Şekil 4.24'ten görüldüğü gibi, N_{ss} değerlerini artan aydınlatma şiddeti ile daha fazla tuzagın uyarılması sebebiyle artmaktadır. Karanlık ve düşük aydınlatma şiddetlerinde, toplam kapasitans için N_{ss} katkısı ihmal edilebilecek kadar küçüktür [35,58]. Bu davranış, yüksek aydınlatma şiddetlerinde N_{ss} değerlerinin düşük aydınlatma şiddetlerine göre daha kolay indüklendiğini göstermektedir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi N_{ss} değerleri artan aydınlatma şiddeti ile artarken R_s değerleri ise azalmaktadır. Bu durum literatürdeki diğer araştırmacıların deney sonuçlarına uygun ve beklenen bir davranıştır [21-30]. Şekil 4.24.a'da görüldüğü gibi aydınlatma şiddeti arttıkça arayüzey durumlarının yoğunluğu da uyarılan tuzak seviyeleri ile orantılı olarak artmaktadır. Şekil 4.24.b'de ise bu arayüzey durumlarının voltaja bağlı değişimi görülmektedir. Bu grafikten ise artan aydınlatma şiddeti ile giderek daha derindeki veya yüksek enerjili tuzakların uyarıldığını ve dolayısıyla arayüzey durum yoğunluğunun arttığını görülmektedir. Burada her iki grafik içinde önemli olan nokta; Bölüm 4.2'de modifiye ettiğimiz Au/PVA:Zn/n-Si diyotların N_{ss} seviyelerinin ışık altında da $10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebelerinde olması ve bu sonuçların diğer deneysel sonuçlarla uyumlu ve düşük olmasıdır [11,45-48,58,63]. Bu nedenle hazırlanan yapıların bir yarıiletken fotodiyot için oldukça uygun olduğu söylenebilir [58,61-63].



Şekil 4.25. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun aydınlatma şiddeti altında ve 1 MHz frekansta C^{-2} - V eğrileri

Au/PVA:Zn/n-Si diyotun temel elektriksel parametrelerini hesaplamak için C^{-2} - V eğrileri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için yüksek frekansta (1 MHz) elde edildi ve Şekil 4.25'te verildi. Şekil'den görüldüğü gibi, C^{-2} - V eğrileri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için geniş bir voltaj aralığında lineer bir davranış göstermektedir. Bu lineer bölgede; Au/PVA:Zn/n-Si diyotları için bazı elektriksel parametreler Bölüm 4.2.3'te verilen formülasyonlar yardımıyla hesaplandı ve Çizelge 4.5'de verildi. Diyotun artan aydınlatma şiddeti ile akseptör tipi taşıyıcı yoğunluğu ve tüketim tabakası değerleri artarken, Fermi enerji seviyesi ve potansiyel engel yüksekliği azalmaktadır. Çizelge 4.4'deki sonuçlar diyotun orta katkı seviyesine sahip olduğunu ve yeterince yüksek

aydınlatma şiddetlerinde dahi doğrultma özelliğini kaybetmediğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar elde edilen Au/PVA:Zn/n-Si yapının literatürle kıyaslandığında iyi bir fotodiyot olarak kullanılabileceğini göstermektedir [29-32,3558,61-63].

Çizelge 4.5. Farklı aydınlatma şiddeti Au/PVA:Zn/n-Si diyotun 1 MHz’de C^{-2} -V eğrilerinden hesaplanan temel elektriksel parametreler

	$N_D(\text{cm}^{-3})$	$W_D(\text{cm})$	$V_D(\text{V})$	$E_F(\text{eV})$	$\Phi_B(\text{eV})$
Karanlık	2.11×10^{15}	7.85×10^{-5}	0.95	0.24	0.76
50 W	3.52×10^{15}	6.09×10^{-5}	0.61	0.22	0.41
150 W	9.91×10^{15}	3.63×10^{-5}	0.48	0.20	0.31
250 W	6.47×10^{15}	1.42×10^{-5}	0.35	0.15	0.22

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak zayıf elektriksel iletken olan PVA polimeri literatürde olmayan %10 Zn ile katkılanarak elektriksel iletkenliği artırıldı. Daha sonra elde edilen bu çözelti su ile seyreltildi ve elektrodöndürme metoduyla yüzeyindeki doğal oksit tabakası kaldırılmış n-Si üzerine kaplandı. Au/n-Si (MS) ve Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) diyotların metalizasyon işlemleri aynı deney şartlarında ve 10^{-6} mbar basınç altında hazırlandı. Hazırlanan diyotların arka yüzü bakır levhaya, doğrultucu kontaklar ise gümüş pasta yardımıyla yapıştırıldı ve diyotlar elektriksel ölçümler için hazır hale getirildi. Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si referans diyotların temel elektriksel karakteristikleri oda sıcaklığında akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω -V) ölçüm sonuçlarından hesaplandı. Sonuçlar hem birbiri ile hemde literatürde benzer çalışmalar ile karşılaştırıldı. Deney sonuçlarına göre PVA:Zn organik arayüzey tabakası kullanımı diyotun idealite faktörü, sızıntı akımı, seri direnci, arayüzey durumlarının yoğunluğunu azaltırken; bariyer yüksekliği ve şönt direncini artırarak Au/n-Si diyotun ciddi olarak modifikasyonu görülmüştür. Ayrıca hazırlanan Au/PVA:Zn/n-Si diyotların oda sıcaklığında I-V, C-V ve G/ω -V ölçümleri ışık altında gerçekleştirilerek modifiye edilen bu diyotların fotodiyot özellikleri incelendi. Farklı aydınlatma şiddetlerinde bu MPS diyotların idealite faktörü (n), sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}), yapının seri direnci (R_s) ve arayüzey durumları (N_{ss}) gibi temel elektriksel parametreleri hesaplandı.

Optik mikroskop görüntüleründen elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- PVA:Zn tabakası n-Si üzerine elektrodöndürme metoduyla kaplandıktan sonra SEM ölçümleri ile yüzey görüntüleri incelendi. SEM görüntülerine göre lifli yapıya sahip PVA:Zn arayüzey tabakasının başarılı olarak kaplandığı ve bu liflerin 45 ile 350 nm arasında değiştiği gözlemlendi. Oluşturulan bu lifli yapı sayesinde diyotun ışığa duyarlılığının da geleneksel ayna yüzeylere göre daha fazla olduğu deneysel sonuçlarla doğrulandı.

Metalizasyon işlemlerinden sonra elde edilen Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotların oda sıcaklığında I-V ölçümleri alındı. İlk olarak dikkat çeken nokta PVA:Zn arayüzey tabakasına sahip diyotun performansının referans diyota (organik arayüzey tabakasız) göre

oldukça iyileştirdiği oldu. PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılmasıyla I-V ölçüm sonuçlarından elde edilen parametreler aşağıda sıralanmıştır[31,58].

- **Doğrultma oranı:** PVA:Zn arayüzey tabakası ile modifiye edilen Au/PVA:Zn/n-Si diyotun doğrultma oranı 7.9×10^5 olarak hesaplanırken modifiye edilmeyen Au/n-Si diyotun doğrultma oranı 2.9×10^3 olarak belirlenmiştir. Bu parametre ne kadar yüksek olursa diyot performansı veya modifikasyonu bir o kadar iyidir.
- **İdealite faktörü:** Teorik değeri 1 olan bu parametre diyotun ideal davranışa yakınlığını göstermesi sebebiyle “1” e yakın olması beklenir. İdealite faktörü 1.65 olan Au/n-Si diyot, PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılarak idealite faktörü 1.38’e düşürülmüştür.
- **Engel Yüksekliği:** Modifiye edilen bir diğer parametre ise Φ_B , engel yüksekliğidir. Doğru beslem I-V eğrilerinin lineer olduğu bölgenin “Akım” eksenini kestiği noktadan hesaplanan Φ_B değerleri Au/PVA:Zn/n-Si ve Au/n-Si diyotları için sırasıyla 0.75 eV ve 0.62 eV olarak belirlenmiştir ve 130 mV modifikasyon gerçekleştirilmiştir. Norde yönteminden hesaplanan Φ_B değerleri ise Au/PVA:Zn/n-Si diyot için 0.87 eV ve geleneksel Au/n-Si diyot için 0.65 eV olarak hesaplanmıştır. Bu parametrenin modifiye edildiği iki farklı yöntemle doğrulanmıştır.
- **Seri Direnç:** Schottky diyotlarda en önemli parametrelerden birisi olan R_s üç farklı metot (Ohm yasası, Cheung fonksiyonları ve Norde yöntemi) ile hesaplandı ve elde edilen değerler birbiri ile kıyaslandı. Ohm yasası yardımıyla elde edilen R_s değerleri modifiye edilen diyot için 97.64 Ω ve geleneksel Au/n-Si diyot için 164.15 Ω olarak hesaplanmıştır. Au/PVA:Zn/n-Si yapının oda sıcaklığındaki $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafikleri bir doğru vermektedir ve bu doğruların eğiminden R_s değeri sırasıyla 126.26 Ω ve 124.96 Ω olarak elde edilmiştir. Referans numune olarak üretilen Au/n-Si diyotun $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ fonksiyonlarından elde edilen R_s değerleri ise sırasıyla 143.82 Ω ve 195.62 Ω olarak hesaplanmıştır. Ardından Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun R_s değerleri bir başka metot olan Norde fonksiyonları ile sırasıyla 124.71 Ω ve 93.67 Ω olarak elde edildi. Her üç metot ile elde edilen sonuçlar gösterdi ki; organik arayüzey tabakasına sahip Au/PVA:Zn/n-Si diyota ait R_s değerleri geleneksel Au/n-Si diyota göre daha düşüktür. Seri direncin azalması, normalde zayıf elektriksel iletken olan PVA’nın Zn ile katkılanarak elektriksel iletkenliğinin artırılmasına atfedildi.
- **Şönt Direnci:** Teoride sonsuz olması beklenen Şönt direnci R_{sh} , Schottky diyotların çok önemli bir aygıt performansıdır. Au/n-Si diyotun R_s değeri PVA:Zn arayüzey

tabakası kullanarak 340 kat artırılmış ve burada da ciddi bir modifikasyon olduğu gözlenmiştir.

- **Arayüzey Durumları:** PVA:Zn arayüzey tabakasının varlığı E_c-E_{ss} enerji aralığındaki yoğunluğunu azaltıcı yönde bir etki yapmıştır. N_{ss} 'lerin iletim bandı ile yasak enerji aralığındaki dağılımı, bir minimumdan geçerek tekrar iletim bandına doğru üstel olarak artmaktadır. Au/PVA:Zn/n-Si diyota ait N_{ss} 'lerin değerleri referans diyota göre azalarak $\sim 2 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ mertebesinde elde edildi. Bu sonuçlar mevcut literatür ile uyumlu olarak PVA:Zn arayüzey tabakasının n-Si yüzeyini pasifize ettiği ve arayüzey durumlarının yoğunluğunu deneysel olarak azalttığı söylenebilir.

PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılarak modifiye edilen Au/PVA:Zn/n-Si diyot ve modifiye edilmemiş diyot kıyaslandığında Au/PVA:Zn/n-Si diyotun açıkça performansının bütün parametrelerde daha iyi olduğu hesaplamalar ile doğrulandı. Ayrıca yapının $\ln I - \ln V$ eğrisi literatüre uygun olarak I.bölge, II. bölge ve III. bölge olmak üzere üç farklı bölgeye sahiptir. I. bölge omik bölge olarak adlandırılmakta, II. bölge uzak yük bölgesinde serbest yüklerin oluşturduğu akımı göstermekte ve III. bölgede ise tuzaklardan tamamen arınmış akım bölgesi olarak adlandırılır. Daha sonra bahsedeceğimiz arayüzey durumlarının II. bölgede baskın olacağı bu metot yardımıyla öngörülmüştür. III. bölgede gözlenen sapmanın nedeni seri direncin baskın olmaya başlamasına atfedildi. Çünkü arayüzey durumları tüketim bölgesinde etkiliyken (II. bölge) seri direnç yığılma bölgesinde (III. bölge) etkilidir.

Au/n-Si ve Au/PVA:Zn/n-Si diyotun C-V ve $G/\omega - V$ eğrileri 1 MHz frekans için çizildi. Bu eğrilerde gözlenen pik ve yarımaların uygulanan dc gerilime bağlılık göstermesinin sebebi arayüzey durumlarının özel dağılım profiline atfedildi. Her iki diyot için de çizilen $C^{-2} - V$ eğrilerinden aşağıdaki parametreler hesaplandı.

- **Verici Katkı Atomların Yoğunluğu:** Au/PVA:Zn/n-Si diyota ait N_D değeri $2.11 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ olarak elde edilirken referans Au/n-Si diyot için N_D değeri $1.68 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplandı. Au/PVA:Zn/n-Si diyota ait bu farkın sebebi PVA polimerinin Zn ile katkılanmasına atfedildi.
- **Tüketim Tabakasının Kalınlığı:** Tüketim tabakasının kalınlığı W_D doğal olarak arayüzey tabakasına sahip diyot için daha yüksek çıkmıştır ve arayüzey tabakasının varlığı doğrulanmıştır.

- **Engel Yüksekliği:** Daha önce I-V eğrilerinden elde edilen Φ_B parametresi burada Au/PVA:Zn/n-Si için 0.76 eV ve Au/n-Si diyotları için 0.66 eV olarak belirlenmiştir. Böylece, engel yüksekliğindeki modifikasyon farklı bir metotla daha doğrulanmıştır.

Şimdiye kadar elde edilen Au/PVA:Zn/n-Si diyotların klasik Au/n-Si diyotlara göre daha yüksek aygıt performansına sahip olması, bizi bu diyotların ışık altındaki özelliklerini incelemeye yöneltmiştir. Modifiye edilmiş Au/PVA:Zn/n-Si Schottky diyotların elektriksel özellikleri akım-voltaj (I - V), kapasitans-voltaj (C - V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω - V) karakteristikleri ile hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetlerinde incelenmiştir. Aydınlatma şiddetine bağlı olarak deneysel I - V ölçümlerinden n , Φ_{Bo} , R_s , R_{sh} ve N_{ss} , C - V ve G/ω - V ölçümlerinden ise R_s , N_{ss} , N_A , V_D , E_F , W_D ve Φ_B (C - V) gibi temel diyot parametreleri elde edildi. Elde edilen deneysel sonuçlar mevcut literatür ile kıyaslandı ve modifiye edilen diyotun fotodiyot olarak kullanılabileceği önerildi.

Au/PVA:Zn/n-Si diyotun ışığa duyarlı “fotodiyot” özellikleri, açık devre voltajı V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} değerleri, belirlendi. Doğru ön-gerilim I - V eğrilerine göre foto-akım (I_p) değerleri artan aydınlatma şiddeti artmaktadır. Maksimum aydınlatma şiddeti 250 W için V_{oc} ve I_{sc} değerleri sırasıyla 108.56 mA ve 230 mV olarak belirlendi. Bu davranış diyotun fotodiyot olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Buna ilaveten aygıtın ışık performansını elde etmek için maksimum verim eğrisi bir başka deyişle dolum faktörü (FF) %48 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar iyi bir güneş pili için düşük olmakla birlikte modifiye edilen diyotun “fotodiyot” olarak kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Au/PVA:Zn/n-Si diyotun idealite faktörü ve bariyer yüksekliği parametrelerinin ışığa bağlı değişimi incelendiğinde ve diyot yüksek aydınlatma şiddetlerinde ideallikten uzaklaşmakta ve bariyer engel yüksekliği azalmaktadır. Karanlıkta 1.38 olan idealite faktörü, 250 W aydınlatma şiddetinde 3.45 olarak hesaplanmıştır. Bariyer yüksekliği ise karanlıkta 0.75 eV iken 250 W aydınlatma şiddetinde 0.54 eV’a düşmüştür. Bu sonuçlara göre maksimum aydınlatma şiddetinde bile diyotun bozulmadığı ve doğrultma özelliğini kaybetmediği gözlenmiştir.

Aydınlatma şiddetine göre modifiye edilen Au/PVA:Zn/n-Si diyotun seri (R_s) ve şönt (R_{sh}) dirençleri detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle uygulanan ışık şiddeti ile R_{sh} değerinin

etkilendiği gözlemlendi. Bu durum ters ön-gerilimde diyotun tüketim tabakasının genişlemesi ve daha fazla tuzağın uygulanan aydınlatma şiddetiyle uyarılmasına atfedildi. Au/PVA:Zn/n-Si diyotun seri direncinin ise uygulanan ışık şiddetiyle daha az etkilendiği gözlemlendi. Bu davranış literatürde yayınlanmış fotodiyot özellikleri ile uyum içindedir.

Arayüzey durumlarının (N_{ss}) ışığa bağlı değişimleri biraz daha detaylı incelendi ve daha önceki sonuçlara benzer olarak aydınlatma şiddeti arttıkça daha fazla tuzağın aktif olduğu deneysel sonuçlarla doğrulandı. Ayrıca arayüzey durumları ile R_s arasındaki ilişkiyi göz önüne sermek için N_{ss} hesaplamaları hem R_s göz önüne alınarak hemde ihmal edilerek hesaplandı. Elde edilen sonuçlardan R_s ihmal edildiğinde tüm aydınlatma şiddetleri için N_{ss} değerleri $\sim 5 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ olarak elde edilmektedir. Bu durum seri direncin ihmal edilmediği durumdaki N_{ss} değerleri ile yaklaşık bir mertebe fark etmekte ve R_s 'nin ihmal edilemeyecek bir parametre olduğunu göstermektedir.

Doğru ön-gerilim altında C - V eğrilerinin aydınlatma şiddeti ile bir pik vermesi literatürde anormal bir durum olarak isimlendirilir ve bu piklerin varlığı genelde yapıdaki arayüzey tabakasının varlığına ve R_s 'ye atfedilmektedir. C - V eğrilerindeki $\sim 1.6 \text{ V}$ civarında gözlenen bu piklerin artan aydınlatma şiddetine bağlı olarak azalması ve pozisyonunun kayması ise aygıt üzerine düşürülen ışık şiddetinin artmasıyla farklı enerji seviyelerindeki arayüzey durumlarının ve yüzey yüklerinin yeniden yapılanması ve düzenlenmesine atfedilebilir. C - V eğrilerindeki bu pik artan aydınlatma şiddeti ile G/ω - V eğrilerinde yine yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı yarılmalara yol açmaktadır.

C - V ve G/ω - V eğrileri yardımıyla farklı aydınlatma şiddetlerinde hesaplanan R_s değerlerinin tıpkı I - V sonuçlarından elde edilen değerler gibi ışığa az duyarlı olduğu gözlemlendi. Ayrıca önceki metotlarla uyum içinde olan, Nicollian ve Brews tarafından geliştirilen metotla $R_s \sim 90 \Omega$ olarak elde edildi.

Au/PVA:Zn/n-Si yapının arayüzey durumları (N_{ss}), farklı ışık şiddetlerinde ölçülen C - V ve G/ω - V değerleri kullanılarak Hill-Coleman metoduyla elde edildi. Işığa bağlı C - V ve G/ω - V değerlerinden ölçülen N_{ss} 'ler artan ışık şiddetine bağlı olarak artmaktadır. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların N_{ss} seviyelerinin ışık altında da $10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebelerinde olan sonuçlar literatürle ve daha önceki deneysel sonuçlar ile uyum içindedir.

Işık altında Au/PVA:Zn/n-Si diyot için elde edilen C^{-2} -V eğrilerinden hesaplanan;

- **Verici Katkı Atomların Yoğunluğu:** Au/PVA:Zn/n-Si diyota ait N_D değeri karanlıkta $2.11 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ olarak elde edildi. Artan aydınlatma şiddetlerinde N_D değerlerinin artması daha önce açıkladığımız “yüksek aydınlatma şiddetlerinde daha fazla taşıyıcının M/S arayüzeyinden salınarak toplam yükü değiştirmesi” prensibi ile açıklanmaktadır.
- **Engel Yüksekliği:** Artan aydınlatma şiddeti ile ϕ_B değerleri azalmaktadır. Bu davranış I-V metodundan hesaplanan sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Maksimum aydınlatma şiddetinde diyotun 0.22 eV bariyere sahip olması Au/PVA:Zn/n-Si diyotun bu ışık şiddetlerinde “fotodiyot” olarak kullanılabileceğini doğrulamaktadır.

Hazırlanan bu tez sonucunda

1. Geleneksel metal yarıiletken kontakların (Au/n-Si) PVA:Zn arayüzey tabakası kullanılarak modifiye edilebileceği,
2. Polimerlerin katkılanarak elektriksel karakteristiklerinin oldukça değiştirilebileceği ve birçok yüzey parametresinin pasivize/nötrale edilebileceği,
3. Elektro-döndürme metoduyla kaplanan PVA:Zn tabakaların geleneksel oksitli tabaka kaplama metotlarına göre daha basit ve ucuz bir yöntemle kaplanabileceği,
4. Uygun deney ortamında hazırlanacak Au/PVA:Zn/n-Si diyotların geleneksel olanlara oranla daha yüksek performans gösterebileceği,
5. PVA'nın Zn vb geçiş metalleri ile katkılanmasıyla oluşturulacak MPS diyotların seri direncinin azaltılabileceği, doğrultma oranı ve şönt direncinin artırılabilceği,
6. Au/PVA:Zn/n-Si diyotların en yüksek aydınlatma şiddetinde bile fotodiyot olarak kullanılabileceği
7. Polimer katkılama üzerine detaylı kimyasal çalışmalar yapılması, katkılama optimizasyon şartlarının belirlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Welker, H. (1976) "Walter Schottky". *Physics Today* **29** (6): 63.
2. Sze, S. M. (1981) "Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.", *John Wiley & Sons*, New York, 362-390.
3. Rhoderick, E. H., Williams R. H. (1988) "Metal Semiconductor Contacts", *Oxford Press*, 257-264.
4. Ziel, A. (1968) "Solid State Physical Electronics", *Prentice-Hall International Inc.*, Minnesota.
5. Neamen, D. A. (1997) "Semiconductor Physics and Devices 2nd ed.", *Mc Graw-Hill*, New York, 420-450, 517-523.
6. Cooke, M. J. (1990) "Semiconductor Devices", *Prentice Hall*, New York, 294-308.
7. Cowley, A.M., Sze, S.M. (1965) "Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems", *J. Appl. Phys.*, 36 (10): 3212-3221.
8. Tyagi, M. S. (1991) "Introduction to Semiconductor Materials and Devices", *John Wiley & Sons*, New York, 271 – 291.
9. Yu, A. Y. C., Snow, E. H. (1968) "Surface Effects on Metal-Silicon Contacts", *J. Appl. Phys.*, 39: 3008.
10. Sharma, B.L. (1984) "Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their Applications", *Plenum Press*, New York.
11. Nicollian, E. H., Brews, J. R. (1982) "MOS Physics and Technology", *John Wiley & Sons*, New York, 40-175, 222-226, 288, 423-439.
12. Aydemir, U., Şafak, Y., Altındal, Ş., Agasiyev, A.A. (2009) "Frequency Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures" *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials - Symposia* 1, 3 258.
13. Şafak, Y., Aydemir, U., Altındal, Ş., Mammadov T.S., Tataroğlu, A. (2009) "Temperature Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures" *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials - Symposia* 1, 3 266.
14. Korucu, D., Asar, T., Kınacı, B., Aydemir, U., Mammadov, T.S., Özçelik, S. (2009) "Series Resistance Effect on I-V Characteristics of Au/n-InP Schottky Barrier Diodes (SBDs) in the Temperature Range of 80-400 K", *FİZİKA*, Cilt: XV, No: 2, 195.
15. Altuntaş, H., Bengi, A., Aydemir, U., Asar, T., Çetin, S. Ş., Kars, İ., Altındal, Ş., Özçelik, S. (2009) "Electrical Characterization of Current Conduction in Au/TiO₂/n-Si at Wide Temperature Range" *Materials Science in Semiconductor Processing* 12 (6), 224-232.

16. Altuntas, H., Bengi, A., Asar, T., Aydemir, U., Sarıkavak, B., Ozen, Y., Altındal, Ş. (2010) Interface state density analyzing of Au/TiO₂ (rutile)/n-Si Schottky barrier diode, *Surface and Interface Analysis* 42 (6–7), **1257-1260**.
17. Taşcıoğlu, İ., Aydemir, U., Şafak, Y., Özbay, E. (2010) “Temperature dependent Profile of the surface states and Series Resistance in (Ni/Au)/AlGaIn/GaN Heterostructures”, *Surface and Interface Analyses* 42 (6–7), **812-815**.
18. Uslu, H., Altındal, Ş., Aydemir, U., Dökme, İ., Afandiyeva, I.M. (2010) The interface states and series resistance effects on the forward and reverse bias I–V, C–V and G/ω–V characteristics of Al–TiW–Pd₂Si/n-Si Schottky barrier diodes, *Journal of Alloys and Compounds* 503 (1), **96-102**.
19. Bengi, A., Aydemir, U., Altındal, Ş., Özen, Y., Özçelik, S. (2010) A comparative study on the electrical characteristics of Au/n-Si structures with anatase and rutile phase TiO₂ interfacial insulator layer, *Journal of Alloys and Compounds* 505 (2), **628-633**.
20. Gökçen, M., Altındal, Ş., Karaman, M., Aydemir, U. (2011) Forward and reverse bias current–voltage characteristics of Au/n-Si Schottky barrier diodes with and without SnO₂ insulator layer *Physica B: Condensed Matter* 406 (21), **4119-4123**.
21. Çakar, M., Yıldırım, N., Karataş, Ş., Temirci, C., Turut, A. (2006) “Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Sn/rhodamine-101/n-Si and Sn/rhodamine-101/p-Si Schottky barrier diodes ” *J. Appl. Phys.* 100(7): **74505-74510**.
22. Özdemir, A.F., Gök, A., Türüt, A. (2007) “The electrical measurements in poly(2-chloroaniline) based thin film sandwich devices” *Thin Solid Films* 515 (18): **7253-7258**.
23. Kılıçoğlu, T., Aydın, M.E., Topal, G., Ebeoğlu, M.A., Saygılı, H. (2007) “The effect of a novel organic compound chiral macrocyclic tetraamide-I interfacial layer on the calculation of electrical characteristics of an Al/tetraamide-I/p-Si contact”, *Synth. Met.* 157 (13-15): **540-545**.
24. Güllü, Ö., Türüt, A. (2009) “Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structures” *J. Appl. Phys.* 106 (10): **103717-103722**.
25. Akkılıç, K., Aydın, M.E., Uzun, İ., Kılıçoğlu, T. (2006) “The calculation of electronic parameters of an Ag/chitin/n-Si Schottky barrier diode”, *Synth. Met.*, 156 (14-15): **958-962**.
26. Aydın, M.E., Kılıçoğlu, T., Akkılıç, K., Hoşgören, H. (2006) “The calculation of electronic parameters of an Au/β-carotene/n-Si Schottky barrier diode” *Physica B*, 381 (1-2): **113-117**.
27. Güllü, Ö., Aydoğan, Ş., Türüt, A. (2008) “Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure” *Semicond. Sci. Technol.* 23 (7): **075005**.

28. Abthagır, P.Syed, Saraswathi, R. (2001) "Junction properties of metal/polypyrrole Schottky barriers" *J. Appl. Polym. Sci.* 81 (7): 2127-2135.
29. Taşcıoğlu, İ., Aydemir, U., Altındal, Ş. (2010) "The explanation of barrier height inhomogeneities in Au/n-Si Schottky barrier diodes with organic thin interfacial layer" *J. Appl. Phys.* 108 (6): 064506-064511.
30. Dökme, İ., Altındal, Ş., Tunç, T., Uslu, I. (2010) "Temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni,Zn-doped)/n-Si Schottky diodes" *Microelectron Reliability* 50 (1): 39-44.
31. Taşcıoğlu, İ., Aydemir, U., Altındal, Ş., Kınacı, B., Özçelik, S. (2011) "Analysis of the forward and reverse bias *I-V* characteristics on Au/PVA:Zn/n-Si Schottky barrier diodes in the wide temperature range" *J. Appl. Phys.* 109 (5): 054502-054510.
32. Demirezen, S., Sönmez, Z., Aydemir, U., Altındal, Ş. (2012) Effect of series resistance and interface states on the *I-V*, *C-V* and *G/ω-V* characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature, *Current Applied Physics* 12 (1), 266-272.
33. Campbell, I.H., Rubin, S., Zawodzinski, T.A., Kress, J.D., Martin, R.L., Smith, D.L., Barashkov, N.N., Ferraris, J.P. (1996) "Controlling Schottky energy barriers in organic electronic devices using self-assembled monolayers", *Phys. Rev. B.* 54(20): 14321-14324.
34. Kang, K.S., Chen, Y., Lim, H.K., Cho, K.Y., Han, K.J., Kim, J. (2009) "Performance enhancement of polymer Schottky diode by doping pentacene", *Thin Solid Films*, 517(21): 6096-6099.
35. Uslu, H. (2010) "Au/(Co, Zn-Katkılı) Polivinil Alkol/n-Si Schottky Engel Diyotlarının Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin Aydınlatma Şiddetine Bağlı İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*, 36-40.
36. Card, H.C., Rhoderick, E.H. (1971) "Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes", *J. Phys. D-Appl. Phys.* 4(10): 1589-1601.
37. Tung, R. T. (1992) "Electron-Transport at Metal-Semiconductor Interfaces-General Theory", *Physical Review B*, 45 (23): 13509-13523.
38. Singh, A. (1985) "Characterization of interface states at Ni/nCdF₂ Schottky barrier type diodes and the effect of CdF₂ surface preparation", *Solid State Electron.*, 28 (3): 223-232.
39. Altındal, S., Dökme, I., Bülbül, M.M., Yalçın, N., Serin, T. (2006) "The role of the interface insulator layer and interface states on the current-transport mechanism of Schottky diodes in wide temperature range", *Microelectron. Eng.*, 83 (3): 499-505.
40. Ejderha, K., Yildirim, N., Türüt, A., Abay, B. (2010) "Influence of interface states on the temperature dependence and current-voltage characteristics of Ni/p-InP Schottky diodes", *Superlattice Microst.* 47 (2): 241-252.

41. Bülbül, M.M., Zeyrek, S., Altındal, Ş., Yüzer, H. (2006) “On the profile of temperature dependent series resistance in Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Schottky diodes”, *Microelectron. Engin.* 83(3): 577-581.
42. Altındal, S., Parlaktürk, F., Tataroğlu, A., Parlak, M., Sarmasov, S.N., Agasiev, A.A., (2008) “The temperature profile and bias dependent series resistance of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/n-Si (MFIS) structures”, *Vacuum*, 82(11): 1246-1250.
43. Özavcı, E., Demirezen, S., Aydemir, U., Altındal, Ş. (2013) A detailed study on current–voltage characteristics of Au/n-GaAs in wide temperature range - *Sensors and Actuators A: Physical* 194, 259-268.
44. Ho, P.S., Yang, E.S., Evans, H.L., Wu, X. (1986) “Electronic states at silicide-silicon interfaces”, *Phys. Rev. Lett.* 56(2): 177-180.
45. Werner, J., Levi, A.F.J., Tung, R.T., Anzlowar, M., Pinto, M. (1988) “Origin of the Excess Capacitance at Intimate Schottky Contacts”, *Phys. Rev. Lett.* 60(1): 53-56.
46. Chattopadhyay, P., Raychaudhuri, B. (1993) “Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes” *Solid State Electron.* 36 (4): 605-610.
47. Tataroğlu, A., Altındal, Ş. (2006) “Characterization of current–voltage (I–V) and capacitance–voltage–frequency (C–V–f) features of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes”, *Microelectron. Engin.* 83(3): 582-588.
48. Tung, R.T. (2001) “Recent advances in Schottky barrier concepts”, *Mater. Sci. Eng. R* 35(1-3): 1-138.
49. Reddy, S.P.M., Kumar, A.A., Reddy, R.V. (2011) “Electrical transport characteristics of Ni/Pd/n-GaN Schottky barrier diodes as a function of temperature”, *Thin Solid Films* 519 (11): 3844-3850.
50. Sah, C., Noyce, R.N., Shockley, W. (1957) “Carrier generation and recombination in p-n junction and p-n junction characteristics”, *Proc. Inst. Radio Eng.*, 45: 1228.
51. Saxena, A.N. (1969) “Forward Current-Voltage Characteristic of Schottky Barriers on Type Silicon”, *Surface Science*, 13: 151-171.
52. Dimitriadis, C.A., Logothetidis, S., Alexandrou, I. (1995) “Schottky barrier contacts of titanium nitride on n-type silicon”, *Appl. Phys. Lett.*, 66: 502.
53. Tubbs, R. K. (1966) “Sequence distribution of partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)”, *Journal of Polymer Science, A-1-Polymer Chemistry*, 4: 623.
54. Marten, F.L. (2000) “Vinly Alcohol Polymers” Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology”, *John Wiley&Sons Inc.*, New York, 1-16.

55. Ünlü, A. (1987) “Sulu poli(vinil alkol) ve poli(N-vinil pirolidon) çözeltilerinden, potasyum klorür iletkenliğinin, iç (lokal) viskozitenin ve assosiyasyonun incelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, **33-40**.
56. Kozanoğlu, G.S. (2006) “Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, **35**.
57. Ramaseshan, R., Sundarrajan, S., Jose, R., Ramakrishna, S. (2007) “Nanostructured ceramics by electrospinning”, *J. Appl. Phys.*, 102(11): **111101**.
58. Aydemir, U., Taşcıoğlu, İ., Altındal, Ş., Uslu, İ. (2013) “A detailed comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si and Au/PVA:Zn/n-Si Schottky barrier diodes” *Materials Science in Semiconductor Processing* 16 (6), **1865-1872**.
59. Cheung, S. K., Cheung, N. W. (1986) “Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics”, *Appl. Phys. Lett.* 49(2): **85-87**.
60. Norde, H. “A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance” *J. Appl. Phys.*, 50 (1979) **5052**.
61. Taşcıoğlu, İ., Aydemir, U., Altındal, Ş., Tunç, T. (2011) Illumination Dependent Admittance Characteristics of Au/Zinc Acetate Doped Polyvinyl Alcohol (PVA: Zn)/n-Si Schottky Barrier Diodes (SBDs) - INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN APPLIED PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE 1400, **307-311**.
62. Alialy, S., Tecimer, H., Uslu, H., Altındal, H. (2013) A Comparative Study on Electrical Characteristics of Au/n-Si Schottky Diodes with and without Bi-doped PVA Interfacial Layer in Dark and Under Illumination at Room Temperature, *J. Nanomed Nanotechnol* 4, **3**.
63. Gökçen, M., Tunc, T., Altındal, Ş., Uslu, I. (2012) Electrical and photocurrent characteristics of Au/PVA (Co-doped)/n-Si photoconductive diodes, *Mater Sci EngB-Adv* 177, **416**.
64. Chand, S. (2004) “On the intersecting behaviour of current-voltage characteristics of inhomogeneous Schottky diodes at low temperatures”, *Semicond. Sci. Technol.*, 19: **82-86**.
65. Nicollian, E.H., Brews, J.R. (1967) “The Si-SiO₂ interface-electrical properties as determined by the metal-insulator-silicon conductance technique”, *Bell Syst. Techn. J.*, 46: **1055 1133**.
66. Hill, W.A., Coleman, C.C. (1980) “A single-frequency approximation for interface-state density determination”, *Solid State Electronics*, 23(9): **987-993**.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :AYDEMİR, Umut
 Uyruğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :13.05.1985, Ankara
 Medeni hali :Bekâr
 Telefon :0(312) 394 30 50
 Faks :0(312) 394 30 77
 e-mail :umutaydemir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yükseklisans	Gazi Üniversitesi/Fen Bil. Ens.	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi/Fizik Bölümü	2007
Lise	Ankara Kurtuluş Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Mono Kristal Teknolojileri	Genel Müdür

Yabancı Dil

İngilizce-İleri Düzey (Okuma: Çok iyi, Yazma: Çok iyi Konuşma: Çok iyi)
 İspanyolca-Başlangıç Düzeyi

Hobiler

Kayak yapmak, Ata binmek, Klarnet çalmak, Yüzmek

Uzmanlık Alanları

İnce film büyütme, aygıt fabrikasyonu, hacimli tek kristal üretme, güneş pilleri, doğrusal olmayan optik kristaller, aygıt modifikasyonu ve karakterizasyonu

Yayınlar (Uluslararası Hakemli Dergilerde)

1. **U. Aydemir**, Y. Şafak, T.S. Mammadov, Ş. Altındal, “On the Frequency and Voltage Dependent Interface States and Series Resistance in Au/SrTiO₃/n-Si Structures” *Balkan Physics Letters* 16, 161050 (2009).
2. Y. Şafak, **U. Aydemir**, Ş. Altındal, T.S. Mammadov, “The Barrier Height Distribution in Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures” *Balkan Physics Letters* 16, 161056 (2009).
3. **U. Aydemir**, Y. Şafak, Ş. Altındal, A.A. Agasiyev, “Frequency Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures” *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials - Symposia* 1, 3 **258** (2009).
4. Y. Şafak, **U. Aydemir**, Ş. Altındal, T.S. Mammadov, A. Tataroğlu, “Temperature Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures” *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials - Symposia* 1, 3 **266** (2009).
5. D. Korucu, T. Asar, B. Kınacı, **U. Aydemir**, T.S. Mammadov, S. Özçelik, “Series Resistance Effect on I-V Characteristics of Au/n-InP Schottky Barrier Diodes (SBDs) in the Temperature Range of 80-400 K”, *FİZİKA, Cilt: XV, No: 2*, **195** (2009).
6. H. Altuntaş, A.Bengi, **U. Aydemir**, T.Asar, S. Ş. Çetin, İ.Kars, Ş.Altındal, S.Özçelik, “Electrical Characterization of Current Conduction in Au/TiO₂/n-Si at Wide Temperature Range” *Materials Science in Semiconductor Processing* 12 (6), 224-232 (2009).
7. H Altuntas, A Bengi, T Asar, **U Aydemir**, B Sarıkavak, Y Ozen, Ş Altındal, Interface state density analyzing of Au/TiO₂ (rutile)/n-Si Schottky barrier diode, *Surface and Interface Analysis* 42 (6- 7), 1257-1260 (2010).
8. İ. Taşçıoğlu, **U. Aydemir**, Y. Şafak, E. Özbay, “Temperature dependent Profile of the surface states and Series Resistance in (Ni/Au)/AlGaIn/GaN Heterostructures”, *Surface and Interface Analyses-WILEY*, baskıda (2010).
9. H Uslu, Ş Altındal, **U Aydemir**, İ Dökme, IM Afandiyeva, The interface states and series resistance effects on the forward and reverse bias I-V, C-V and G/ω-V characteristics of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si Schottky barrier diodes *Journal of Alloys and Compounds* 503 (1), 96-102 (2010).
10. A Bengi, **U Aydemir**, Ş Altındal, Y Özen, S Özçelik, A comparative study on the electrical characteristics of Au/n-Si structures with anatase and rutile phase TiO₂ interfacial insulator layer *Journal of Alloys and Compounds* 505 (2), 628-633 (2010).
11. İ Taşçıoğlu, **U Aydemir**, Ş Altındal, The explanation of barrier height inhomogeneities in Au/n-Si Schottky barrier diodes with organic thin interfacial layer *Journal of Applied Physics* 108 (6), 064506 (2010).
12. H Uslu, A Bengi, SŞ Çetin, **U Aydemir**, Ş Altındal, ST Aghaliyeva, Temperature and voltage dependent current-transport mechanisms in GaAs/AlGaAs single-quantum-well lasers, *Journal of Alloys and Compounds* 507 (1), 190-195 (2010).
13. İ Taşçıoğlu, **U Aydemir**, Ş Altındal, B Kınacı, S Özçelik- Analysis of the forward and reverse bias IV characteristics on Au/PVA: Zn/n-Si Schottky barrier diodes in the wide temperature range *Journal of Applied Physics* 109 (5), 054502 (2011).

14. M Bosi, G Attolini, C Ferrari, C Frigeri, M Calicchio, E Gombia, T Asar, **U Aydemir** - Epitaxial growth and electrical characterization of germanium Crystal Research and Technology 46 (8), 813-817 (2011).
15. M Gökçen, Ş Altındal, M Karaman, **U Aydemir**, Forward and reverse bias current–voltage characteristics of Au/n-Si Schottky barrier diodes with and without SnO₂ insulator layer Physica B: Condensed Matter 406 (21), 4119-4123 (2011).
16. İ Taşçıoğlu, **U Aydemir**, Ş Altındal, T Tunç, Illumination Dependent Admittance Characteristics of Au/Zinc Acetate Doped Polyvinyl Alcohol (PVA: Zn)/n- Si Schottky Barrier Diodes (SBDs) - INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN APPLIED PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE 1400, 307-311 (2011).
17. S Demirezen, Z Sönmez, **U Aydemir**, Ş Altındal, Effect of series resistance and interface states on the I–V, C–V and G/ω–V characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature Current Applied Physics 12 (1), 266-272 (2012).
18. E Özavcı, S Demirezen, **U Aydemir**, Ş Altındal, A detailed study on current–voltage characteristics of Au/n-GaAs in wide temperature range - Sensors and Actuators A: Physical 194, 259-268 (2013).
19. **U Aydemir**, İ Taşçıoğlu, Ş Altındal, İ Uslu, A detailed comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si and Au/PVA:Zn/n-Si Schottky barrier diodes - Materials Science in Semiconductor Processing 16 (6), 1865-1872 (2013).
20. Y Azizian Kalandaragh, **U Aydemir**, Ş Altındal, Dielectric and Optical Properties of CdS–Polymer Nanocomposites Prepared by the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) Method, Journal of Electronic Materials, 43, 4, 1226-1231 (2014)

Katıldığı Uluslararası Kongreler

U. Aydemir, Y. Şafak, Ş. Altındal, A.A. Agasiyev, “Frequency Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures”, **Poster**, Mugla University-CMPC-BC 2008, Muğla-2008.

Y. Şafak, **U. Aydemir**, Ş. Altındal, T.S. Mammadov, A. Tataroğlu, “Temperature Dependent Electrical Characteristics of Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures”, **Poster**, Mugla University-CMPC-BC 2008, Muğla-2008.

U. Aydemir, Y. Şafak, T.S. Mammadov, Ş. Altındal, “On the Frequency and Voltage Dependent Interface States and Series Resistance in Au/SrTiO₃/n-Si Structures”, **Poster**, International 25.Turkish Physics Society, Bodrum-2008.

Y. Şafak, **U. Aydemir**, Ş. Altındal, T.S. Mammadov, “The Barrier Height Distribution in Metal-Ferroelectric-Semiconductor (Au/SrTiO₃/n-Si) Structures”, **Poster**, International 25.Turkish Physics Society, Bodrum-2008.

U. Aydemir, Y. Şafak, Ş. Altındal, “Deep Level Transient Spectroscopy of SrTiO₃”, **Sözlü**, International 26.Turkish Physics Society, Bodrum-2009.

İ. Taşcıoğlu, **U. Aydemir**, Y. Şafak, E. Özbay, “Temperature dependent Profile of the surface states and Series Resistance in (Ni/Au)/AlGaIn/GaN Heterostructures”, **Poster**, ECASIA’09 Antalya-2009.

T.Asar, A.Bengi, **U. Aydemir**, T.S. Mammadov, Ş. Altındal, S. Özçelik, “Characterization of MBE Grown InGaAs/GaAs Quantum Well Solar Cells (QWSCs)” **Poster**, ECASIA’09 Antalya-2009.

H. Altuntaş, A.Bengi, T.Asar, **U. Aydemir**, B. Sarıkavak, Y. Özen, Ş. Altındal, S. Özçelik, “Interface States Density Analyzing of Au/TiO₂(Rutile)/n-Si Schottky Barrier Diode” **Poster**, ECASIA’09 Antalya-2009.

Yer Aldığı ve Yürüttüğü Projeler

Proje Kodu/Türü : FEF.05/2008-24 / BAP (Gazi Üniversitesi)

Başlık : Metal/Yarıiletken (MS) Yapıların Hazırlanması Ve Elektriksel Karakteristiklerinin Tavlama Sıcaklığına Bağlı İncelenmesi

Görevi : Araştırmacı

Proje Kodu/Türü : FEF.05/2009-57 / BAP (Gazi Üniversitesi)

Başlık : InGaAs/GaAs Yapıların Optiksel ve Yapısal Özelliklerinin Tavlama Sıcaklığına Bağlı İncelenmesi

Görevi : Araştırmacı

Proje Kodu/Türü : FEF.05/2009-56 / BAP (Gazi Üniversitesi)

Başlık : Au/n-CdTe Schottky Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Karanlık ve Işık Altında İncelenmesi

Görevi : Araştırmacı

Proje Kodu/Türü : FEF.05/2009-34 / BAP (Gazi Üniversitesi)

Başlık : Au/n-GaN ve Al/p-GaN Schottky Diyotların Hazırlanması, Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklık ve Frekansa Bağlı İncelenmesi

Görevi : Araştırmacı

Proje Kodu/Türü : FEF.05/2009-15 / BAP (Gazi Üniversitesi)

Başlık : Au/SrTiO₃/n-Si Yapıların Elektriksel Özelliklerin Frekans ve Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi

Görevi : Araştırmacı

Proje Kodu/Türü : 108T018 / TUBİTAK

Başlık : Kızılötesi AlGaAs Lazer Diyot Malzemelerinin Epitaksiyel Üretimi ve Karakterizasyonu

Görevi : Bursiyer öğrenci

Proje Kodu/Türü : 0958.TGSD.2013 / BİLİM SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

Başlık : Teknolojik ve Stratejik Öneme Sahip Yarıiletken Tek Kristallerin Üretimi

Görevi : Yürütücü

Proje Kodu/Türü : KOBİ ARGE BAŞLANGIÇ / KOSGEB

Başlık : Teknolojik ve Stratejik Öneme Sahip Yarıiletken Tek Kristallerin Üretim Sürecinin Araştırılması

Görevi : Yürütücü

Proje Kodu/Türü : 7141148 / TÜBİTAK (Devam ediyor)

Başlık : Stratejik ve Teknolojik Öneme Sahip Yarıiletken Kristallerin Üretimi için Bridgman Sisteminin Geliştirilmesi ve Seri Üretimi

Görevi : Yürütücü

Proje Kodu/Türü : Borlu Malzemeler ve Bor Kimyasalları PÇ.2014/1 / BOREN (Yeni)

Başlık : Baryum Borat Tek Kristalinin Üretimi

Görevi : Araştırmacı



GAZİ GELECEKTİR..