

**Au/(Bi-KATKILI) POLİVİNİL ALKOL/n-Si SCHOTTKY ENGEL
DİYOTLARININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA
VE AYDINLATMA ŞİDDETİNE BAĞLI İNCELENMESİ**

H. Gökçen ÇETİNKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2011
ANKARA**

H. Gökçen ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “Au/(Bi-KATKILI) POLİVİNİL Alkol/n-Si SCHOTTKY ENGEL DİYOTLARININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA ve AYDINLATMA ŞİDDETİNE BAĞLI İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

.....

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbilge DÖKME

.....

Fen Bilg. Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

.....

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Doç.Dr.AdemTATAROĞLU

.....

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Tarih: 21/10/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

H. Gökçen ÇETİNKAYA

**Au/(Bi-KATKILI) POLİVİNİL ALKOL/n-Si SCHOTTKY ENGEL
DİYOTLARININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA VE
AYDINLATMA ŞİDDETİNE BAĞLI İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

H. Gökçen ÇETİNKAYA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2011**

ÖZET

Bu çalışmada, Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotun elektriksel karakteristikleri akım-voltaj (I - V) ölçümleri kullanılarak doğru ve ters ön-gerilimlerde, karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde (50-250 W) 80 K, 160 K, 240 K ve 320 K için incelendi. Doğru ön-gerilim I - V ölçümlerinden, aydınlatma şiddetine bağlı olarak deneysel doyum akımı (I_o), sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{Bo}), idealite faktörü (n), seri direnç (R_s) ve şönt direnci (R_{sh}) gibi temel diyot parametreleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için elde edildi. Tüm bu parametrelerin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu gözlemlendi. n ve Φ_{Bo} 'nin aydınlatma şiddeti altındaki düzgün değişimi ve R_s ve R_{sh} 'ın üstel değişimi farklı sıcaklıklardaki ölçümlerde gözlemlendi. Farklı sıcaklıklarda dn/dP ve $d\Phi_{Bo}/dP$ hesaplamalarındaki aydınlatma katsayısı sırasıyla pozitif ve negatif değerdedir. Doğru ön-gerilim I - V karakteristikleri bize düşük sıcaklıklarda doyum akımına ulaşamadığını gösteriyor ve bu durum 320 K için geçerliliğini yitiriyor. Aynı zamanda 50 W aydınlatma şiddeti altında 320 K de diyotun dolum oranı (FF) 0,40 olarak hesaplandı. Denesel sonuçlar bize diyotun optoelektronik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabileceğini gösteriyor.

Bilim Kodu : 202.1.147
Anahtar Kelimeler : PVA/n-Si diyot; sıcaklık ve aydınlatma etkisi; I-V karakteristikleri
Sayfa Adedi : 57
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

**ILLUMINATION EFFECT ON CURRENT-VOLTAGE (I-V)
CHARACTERISTICS OF AU/PVA/N-SI SCHOTTKY BARRIER DIODES
(SBDS) AT VARIOUS TEMPERATURES
(M.Sc. Thesis)**

H. Gökçen ÇETİNKAYA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2011**

ABSTRACT

In this study, the illumination dependence of forward and reverse bias current-voltage (I-V) characteristics of the PVA (Bi-Doped)/n-Si Schottky barrier diodes (SBDs) have been investigated at 80, 160, 240 and 320 K. The main diode parameters such as reverse-saturation current (I_o), zero-bias barrier height (Φ_{Bo}), ideality factor (n), series resistance (R_s) and shunt resistance (R_{sh}) were obtained from the I - V measurements for each temperature both in dark and under various illumination intensities (50-250 W). All of these parameters were found to be strong function of illumination and temperature. While the change in n and Φ_{Bo} with illumination was found to change linearly, the change in R_s and R_{sh} was found to change exponentially for each temperature. The illumination coefficient of dn/dP and $d\Phi_{Bo}/dP$ was found to be positive and negative for each temperature, respectively. The reverse bias I-V characteristics show considerably a non-saturating behaviour at low temperatures but it throughly began disappear at 320 K. The fill factor (FF) was found to be 0.40 at 320 K under 50 W. The forward bias I-V characteristics of the diodes have been also explained by the SCLC model. The obtained experimental results show that the fabricated diode can be used a photodiode in optoelectronic applications.

Science Code : 202.1.147
Key Words : PVA/n-Si diode; temperature and illumination effects;
I-V characteristics
Page Number : 57
Adviser : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca engin tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi saygıdeğer hocam Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmalarım boyunca yönlendirmeleriyle yaptığı katkılardan dolayı Doç. Dr. Adem TATAROĞLU, Yrd. Doç. Dr. Habibe USLU, Arş. Gör. Yasemin ŞAFAK, Barış KINACI, İlke TAŞCIOĞLU, Umut AYDEMİR ve Seda BENGİ' ye çok teşekkür ederim.

Yarıiletken Teknolojileri İleri Araştırma Laboratuvarı' nın tüm çalışanlarına desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Kullandığım numunenin yapımdaki katlılarından ötürü Kimya Eğitimi Bölümünden Prof. Dr.İbrahim USLU hocama teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana en büyük desteği sağlayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklar.....	4
2.1.1. n-tipi metal-yarıiletken doğrultucu kontak.....	5
2.2. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Yapılar	9
2.3. Metal-Yalıtkan/Polimer-Yarıiletken Schottky Diyotların Yapısı	10
2.4. İdeal MIS Schottky Diyotların Yapısı.....	11
2.5. Gerçek MIS Yapı	16
2.6. MIS Diyotlarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi	17
2.7. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Temel Akım-İletim Mekanizmaları.....	18
2.7.1. Termiyonik emisyon (TE) teorisi.....	19
2.8. Bir Yarıiletkende Fotonun Soğurulması	19

Sayfa

3. DENEYSEL YÖNTEM	21
3.1. Kristal Temizleme	21
3.2. Au/PVA/n-Si MPS Yapının Hazırlanması	21
3.3. Polivinil Alkolün Özellikleri	23
3.4. Deneysel Ölçüm Sistemi	24
3.4.1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı	24
3.4.2. Janis vpf-475 kriyostat	25
3.4.3. Newport-Oriel 67011 ışık (aydınlatma) kaynağı ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı	26
4. DENEYSEL SONUÇLAR	27
4.1. Giriş	27
4.2. Aydınlatma Şiddetine Bağlı Akım-Voltaj (I-V) karakteristikleri	27
5. SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve omik kontakların oluşumu	4
Çizelge 4.1. Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında farklı sıcaklıklar (80-320 K) için I_0 ve n değerler.....	35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ için enerji-bant diyagramı: (a) kontak edilmeden (b) kontak edildikten sonra termal denge durumu.....	6
Şekil 2.2. Metal/n-tipi Schottky diyot için (a) Termal denge durumu (b) doğru ön-gerilim (c) ters ön-gerilim.....	9
Şekil 2.3. Bir MPS (MIS) yapının şematik gösterimi	10
Şekil 2.4. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı. (a) p-tipi yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken	11
Şekil 2.5. Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi	13
Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması. a) Yığılım b) Tükenim c) Tersinim	15
Şekil 2.7. İdeal bir MIS yapının devre şeması. a) Yığılım b) Tükenim c) Tersinim.....	16
Şekil 2.8. . İdeal olmayan MIS yapıda arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması	17
Şekil 2.9. Yarıiletken tarafından bir fotonun optik soğrulması.....	20
Şekil 3.1. (a) Omik ve (b) doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan maskeler	22
Şekil 3.2. Au/PVA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi	22
Şekil 3.3. Deneysel ölçüm sisteminin şematik görünümü	24
Şekil 4.1. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I-V$ eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için Φ_{Bo} - P eğrileri	38
Şekil 4.3. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için n - P eğrileri	38
Şekil 4.4. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti altındaki $\ln I$ - $\ln V$ eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K	41
Şekil 4.5. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_i - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K	46
Şekil 4.6. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için R_s - P eğrileri	47
Şekil 4.7. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için R_{sh} - P eğrileri	47
Şekil 4.8. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti için verim eğrileri (a) 80 K (b) 320 K	49

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı	25
Resim 3.2. Janis vpf-475 kriyostat	25
Resim 3.3. Newport-Oriel 67011 ışık (aydınlatma) kaynağı ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan
$\text{\AA}$	Angstrom
A^*	Etkin Richardson sabiti
C	Kapasitans
C_o	Yalıtkan tabakanın sığası
C_{ox}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C_m	Ölçülen kapasitans değeri
C_c	Düzeltilmiş kapasitans değeri
G_c	Düzeltilmiş kondüktans değeri
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_i	Saf durumdaki enerji seviyesi
ϵ_o	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
Hz	Frekans birimi (Hertz)
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
k	Boltzmann sabiti
m_e^*	Elektronun etkin kütlesi
m_o	Serbest elektron kütlesi
N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_A	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu

Simgeler**Açıklama**

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_i	Direnç
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Kısa devre direnci
T	Mutlak sıcaklık
V	Gerilim
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru ön-gerilim
V_R	Ters ön-gerilim
V_y	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
V_{yi}	Yarıiletken üzerine düşen gerilim
V_G	Metal plakaya uygulanan gerilim
W_D	Tüketim tabakasının genişliği
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
Φ_n	n- tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	Ohm
ρ	Öz direnç

Simgeler**Açıklama** 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

MS

Metal-Yarıiletken

MIS

Metal-Yalıtkan-Yarıiletken

MPS

Metal-Polimer-Yarıiletken

MOS

Metal-Oksit-Yarıiletken

PVA

Polivinil alkol

SBD

Schottky engel diyotu

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS) kontaklarda veya diğer adıyla Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasına ince bir yalıtkan tabaka veya polimer yerleştirildiğinde bu MS yapı metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS/MPS) yapıya dönüşür. Bu arayüzey tabaka hem metal ve yarıiletkenin birbirinden izole eder hem de aralarındaki yük geçişlerini düzenler. Bu tür yapılar modern elektronik endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapılar ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma olmasına rağmen onlarda özellikle farklı ışık şiddetleri altındaki akım iletim mekanizmaları henüz net biçimde aydınlığa kavuşturulmamıştır. Son zamanlarda bu yapılarla ilgili çok sayıda hem deneysel hem de teorik çalışmalar yoğunluk kazanmıştır [1-23] ve yalıtkanlar yerini organik arayüzey tabaka kullanılmaktadır. Çünkü organik materyaller yalıtkanlara göre daha düşük maliyetli, kolay üretilibilmeleri, esnek olmaları gibi önemli özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca iletken polimerler metalle kontak haline getirildiği zaman foto-voltaik, elektrolüminesans ve doğrultucu etki gösterdiğinden son zamanlarda elektronik endüstrisinde önemli bir yere sahip olmaya başlamışlardır.

MS veya MIS/MPS yapıların hazırlanmasında metal doğrultucu kontaklarda (ön kontak) ve omik kontaklarda (arka kontak) kullanılacak metalin tipini yarıiletkenin iş fonksiyonu belirler. N tipi yarıiletkenlerde metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu için doğrultucu kontak olarak genelde altın (Au) kullanılmaktadır. P tipi yarıiletkenlerde ise metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olduğu için doğrultucu kontak olarak genelde alüminyum (Al) kullanılmaktadır. Kullanılan bu metallerin en az %99.999 saflıkta olması tercih edilir. Çünkü elektronik aygıtlarda nano mertebesinde ölçümler gerçekleştirildiği için metalin safsızlığı aygıtın performansını olumsuz yönde etkiler. Arka omik kontak olarak da yine yüksek saflıkta metaller veya alaşımlar önce kaplanır ve daha sonra yaklaşık 500 C' de tavlansarak metalin yarıiletken içine çöktürülmesi sağlanır. Gerek metal gerekse arayüzey tabakası seçiminde, yüzeyi pasivize edecek, sızıntı akımını en aza indirecek, kontrol edilebilir akım-iletim mekanizması gerçekleştirecek ve

doğrultucu özelliğe yaklaşacak yüksek dielektrik sabitli malzemelerin seçimine dikkat edilir.

Polimerlerin temel avantajı üretim masraflarını ciddi ölçüde düşüren spin kaplama gibi basit metotla büyük miktarlarda üretilebilmesinden gelmektedir [4,5]. Polyvinil alkol (PVA) gibi organik malzemelerin niteliği OH gruplarını ve hidrojen bağının rolünden kaynaklanmaktadır [5,6]. Organik malzemeler genelde zayıf elektriksel iletkenlerdir. Ancak bunların içerisine belirli oranlarla metal atomlarının katkılanması ile onların iletkenliği önemli ölçüde artırılabilir. Yani bu polimerler Co, Zn, Ni ve Bi gibi katkı metallerle katkılanarak iletimleri artırılabilir. Bu katkılama işlemi moleküler hareketliliği değiştirir ve dolayısıyla kimyasal yapıyı, kristali ve polimerin çapraz bağlantı derecesini etkiler [5]. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, organik materyal olarak PVA kullanıldı ve PVA' nın iletkenliğini arttırmak için metal olarak bizmut (Bi) kullanıldı.

MPS yapıların elektriksel özellikleri MIS tipi Schottky engel diyotların davranışına benzemektedir. Bu yapılarda akım iletimi özellikle arayüzeyel yalıtkan/polimer tabakanın oluşumu ve homojenliğine, metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey yüklerinin miktarı ve dağılımına, yapının seri direncine (R_s) ve Schottky engel yüksekliklerindeki homojenliğine bağlıdır [3,24-29].

MS ve MIS tipi Schottky diyotların farklı ışık şiddetleri altındaki elektriksel karakteristikleri karanlıktakinden oldukça farklıdır. Özellikle polimer arayüzey tabakalı bu yapılar foto-diyot özelliği göstermektedir. Bu nedenle bu tür yapıların hem farklı sıcaklıklarda hem de farklı aydınlatma şiddetleri altında gerçekleştirilecek akım-voltaj ($I-V$) ölçümleri bize yapının temel fiziksel parametreleri ve performansı hakkında önemli bilgiler verebilir. Bu nedenle hazırlanan Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotların elektriksel karakteristikleri, akım-voltaj ($I-V$) ölçümleri kullanılarak, hem karanlıkta hem de geniş bir aydınlatma şiddeti aralığında (50-250 W) dört farklı sıcaklık için gerçekleştirildi. İnce arayüzey tabakalı bir MIS yapı üzerine enerjileri ($E(h\nu)=hc/q\lambda$) yarıiletkenin yasak enerji aralığından (E_g) büyük olan fotonlar düşürüldüğünde, yarıiletkenin valans bandındaki atomlarının dış

yörüngelerdeki valans (değerlik) elektronlarını kopararak iletim bandına çıkaracaktır (uyaracaktır). Yasak enerji aralığından büyük enerjiye sahip bu fotonlar, yarıiletken ile metal arayüzeyine (eklem bölgesi) düşürüldüğünde yapıda çok sayıda elektron-hol çiftleri oluşturur. Bu oluşan elektron-hol çiftleri metal ile yarıiletken arasında yük geçişlerinden dolayı eklem (kavşak) bölgesinde yüklerin difüzyon yoluyla ayrışmasından dolayı oluşan doğal elektrik alan altında farklı yönlerde harekete zorlanırlar. Eğer yapının iki ucu bir dış devreye bağlandığında devrede net bir foto-akım oluşacaktır. Bu foto-akımın büyüklüğü artan aydınlatma şiddeti ile artacaktır. Yarıiletkenin valans bandından iletim bandına bir foton demeti altında oluşan uyarma, izinli enerji seviyeleri arasındaki yük geçişleri veya bu seviyeler ile iletim bandı arasında ki yük geçişleri yarıiletkenin iletkenliğini önemli ölçüde artıracaktır. Bu geçişler artan sıcaklık ve aydınlatma şiddeti ile daha da artmaktadır. Dolayısıyla yarıiletkenin öz direnci ise iletken veya öz-iletkenliğin tersi olduğu için önemli ölçüde azalmaktadır. Başka bir deyişle bir yarıiletken aygıt üzerine ışık düşürüldüğü zaman özellikle yüzey yükleri ve arayüzey durumlarının yeri yeniden yapılacaktır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, MS ve MIS tipi benzeri MPS Schottky diyotların önemi, kullanım alanları, çalışma prensibi ve bunların aydınlatma şiddeti altındaki davranışları hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, MS ve MIS Schottky diyotların yapısı, akım-iletim mekanizmaları, kontak oluşumları anlatıldı. Üçüncü bölümde, numunenin hazırlanma aşamalarından bahsedildi. Dördüncü bölümde, akım-voltaj ($I-V$), ölçümlerinden elde edilen verilerden faydalanarak temel diyot parametreleri hesaplanarak çizelgeler ve grafikler şeklinde verilerek yorumlandı. Beşinci bölümde ise elde edilen tüm deneysel ölçüm sonuçları mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak değerlendirildi.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Metal-Yarıiletken (MS) Kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklar tüm yarıiletken tabanlı devre elemanlarının temelini teşkil eder. Schottky diyotlar bir metal ile yarıiletkenin sıkı kontak edilmesiyle oluşturulur ve bu diyotların yapımında alt (omik) ve üst (doğrultucu) metal kontakların seçimi son derece önemlidir. Diyotun tam ilettime geçtiği voltaj değerinde, doğru ön-gerilim altındaki akımın (I_F), ters ön-gerilim altındaki akıma (I_R) oranı “doğrultma oranı”dır ve bu oran diyotun kalitesini belirler. Yani metal-yarıiletken kontakta iletkenliği sağlayan yük taşıyıcıları (holler ve elektronlar) bir yönden diğer yöne (metalden yarıiletkene ya da yarıiletkenden metale doğru) daha kolay iletiliyorsa bu tür davranışa doğrultma denir ki İdeal diyotlarda bu oran (I_F/I_R) yaklaşık olarak 10^8 - 10^{10} civarındadır.

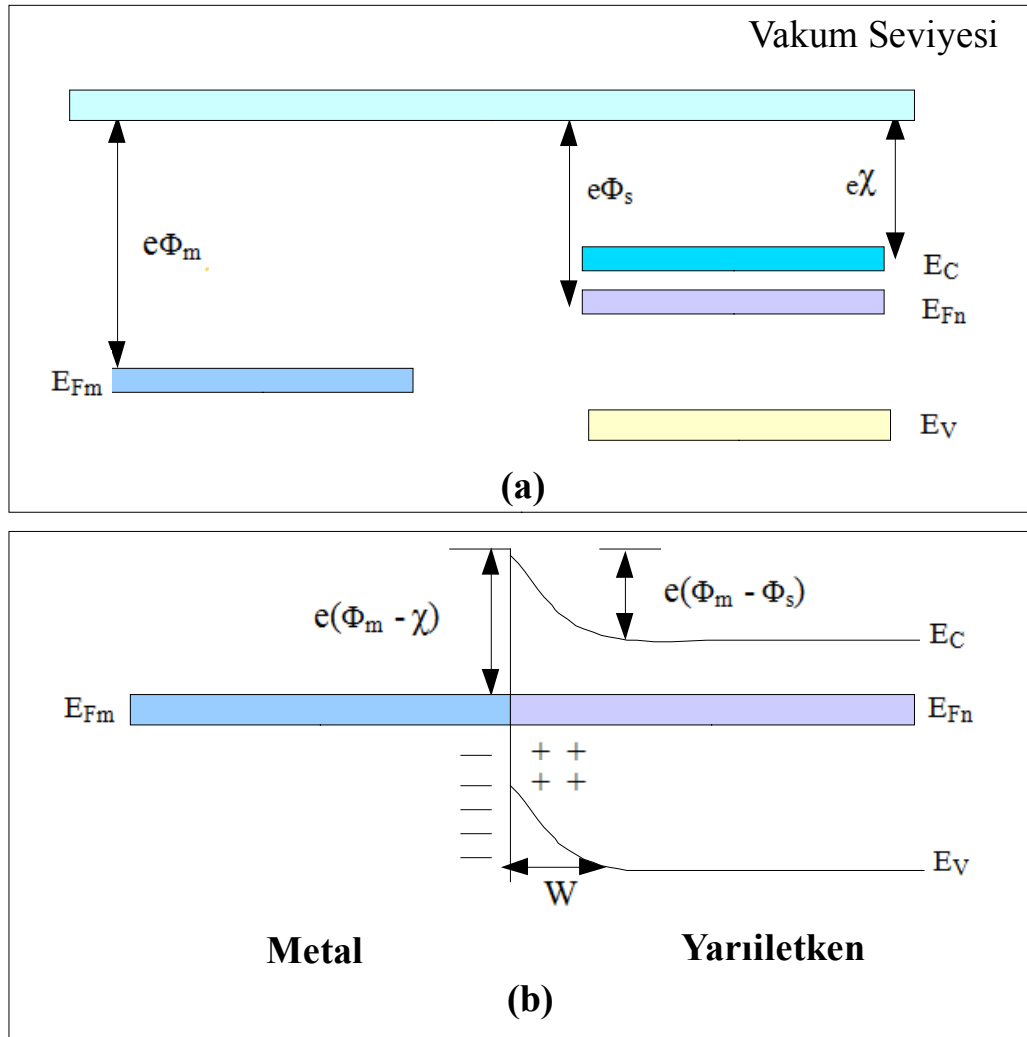
Omik kontakta ise, metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engeli oluşmadığı için taşıyıcılar metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolaylıkla geçerler. Kontakın omik veya doğrultucu olması, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere, doğrultucu ve omik kontakların oluşumu Çizelge 2.1’ de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.1. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve omik kontakların oluşumu

İş fonksiyonlarının durumu	Yarıiletken türü	Kontak türü
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu

2.2.1. n-tipi metal-yarıiletken doğrultucu kontak

Metal, yarıiletken ile sıkı kontak edildiğinde metal-yarıiletken arayüzeyinde yüklerin ayrışmasından dolayı potansiyel engeli oluşur. n-tipi yarıiletkende çoğunlukta olan elektronlar difüzyon yoluyla metalin ön yüzeyine geçerken arkalarında holler bırakarak yarıiletkende elektron konsantrasyonunun azalmasına neden olurlar. Aynı şekilde p-tipi yarıiletkende ise difüzyon ile yük geçişi sonucunda elektron konsantrasyonu artar. Metal ile yarıiletken arasında bu yük geçişleri nedeniyle Şekil 2.1' de görüldüğü gibi, metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel farkı veya diğer adıyla bir doğal elektrik alan oluşur. Yük geçişleri sonucunda metal ile yarıiletken arasında hareketli yüklerden arınmış yüksek dirençli bir bölge (tüketim tabakası) oluşur ve bu konudaki ilk çalışan bilim adamına atfen bu tabakaya Schottky tabakası denilir.



Şekil 2.1. Metal/n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji bant diyagramı (a) Birbirinden ayrılmış nötral materyaller (b) kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu

Burada temsil edilen bazı temel fiziksel parametreleri aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

Fermi Enerjisi: İletkenlerde mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0$ K), elektronlar tarafından taban durumundan itibaren işgal edilen en yüksekteki dolu seviyenin enerjisine denir. Yarıiletkenlerde ise iletkenlik ve valans bandındaki taşıyıcı sayısına ve sıcaklığa bağlı olarak, yasak enerji bölgesinde yer alan izafi seviye *Fermi enerjisi* olarak tanımlanır. N tipi yarıiletkenlerde Fermi enerjisi iletim bandından itibaren ölçülürken p tipinde ise valans bandından itibaren ölçülür.

Vakum seviyesi: Bir metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi veya bir elektronu yüzeyden koparıp serbest hale gelmesi için ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarı olup şekil 2.2 de referans olarak alınmıştır.

Metalin iş fonksiyonu (ϕ_m): Bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak veya serbest hale getirmek için ihtiyaç duyulan minimum enerji miktarıdır.

Yarıiletkenin iş fonksiyonu(ϕ_s): Yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Fermi enerjisi katkılanan madde atomlarının yoğunluğu ile değiştiğinden dolayı Φ_s de değişen bir niceliktir.

Elektron yakınlığı (χ) : Vakum seviyesi ile iletkenlik bandı kenarı arasındaki bir elektronun enerji farkı olarak tanımlanır.

Metal ile yarıiletken sıkı kontak edilmeden önce yüzey durumları içermediğinden dolayı yüzeyin bant yapısı yarıiletken gövde bant yapısı ile aynıdır; yani, bantlarda bir bükülme yoktur bu durum şekil 2.1' de görülmektedir. Metal ile yarıiletken kontak yapıldıktan sonra, dengeye ulaşmış yani termal denge durumunun enerji-bant diyagramını Şekil 2.1.b' de görülmektedir. Metal yarıiletkenle sıkı kontak edildiği zaman, yarıiletken tarafında metal elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip olan elektronlar, yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi metalin Fermi enerji seviyesine eşit olana kadar yarıiletkenden metale doğru akarlar ve bunun sonucunda yarıiletkenin sınırında serbest elektron konsantrasyonu azaldığından yarıiletkendeki Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının ortasına doğru kayacaktır. Yani, yarıiletkenin Fermi enerjisi ile iletkenlik bandı arasındaki yarıılma artacaktır ($E_c - E_F$). Termal dengede E_F tamamen sabit kaldığı ve yasak enerji aralığı değişmediğinden dolayı iletkenlik ve valans bant kenarları Yarıiletkenin vakum seviyesi ve yarıiletkenin elektron yakınlığı χ_s Şekil 2.1.b' de görüldüğü gibi yukarı doğru bükülürler. Yarıiletkenden metale geçen yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar arkalarında pozitif yüklü verici (donor) iyonları bırakırlar ve bunun sonucunda yarıiletkenin metale bakan ön

yüzeyinde ince bir pozitif yük tabakası oluşur ki bu tabakaya pozitif uzay yük bölgesi denir. Aynı şekilde metalin yarıiletkenle bakan yüzeyinde ise ince bir negatif yük tabakası oluşur ve bu tabakaya da negatif uzay yük bölgesi denilir ve bu iki yük tabakasının toplam genişliği ise tüketim tabakası olarak adlandırılır.

Termal denge durumunda, metal ile yarıiletken arasında yük geçişleri durur ve kurulma voltajı (built-in) qV_i , metal ile yarıiletken materyallerin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir. Yani yarıiletkenden metale geçecek olan yüklerin gördüğü potansiyel engel yüksekliği qV_i kadardır. Aynı zamanda metalden yarıiletkene geçecek olan yüklerin gördüğü potansiyel engel yüksekliği, yarıiletken tarafından gözüken engel yüksekliğinden büyüktür ve

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.1)$$

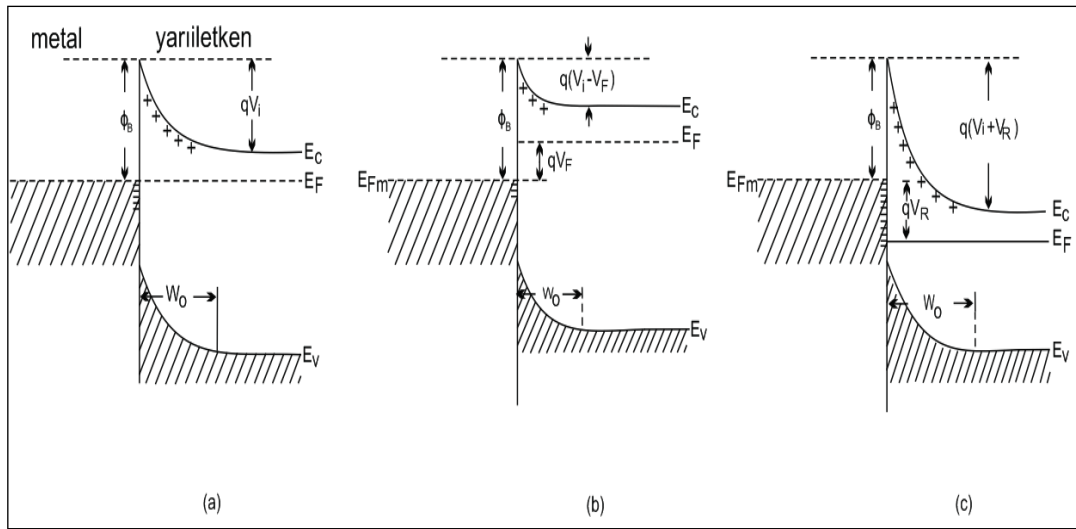
ile verilir [1-4]. Eş. 2.1 hem Schottky hem de Mott tarafından birbirlerinden bağımsız olarak verilmiştir [2].

Şekil 2.1.b' de $\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ ve $\Phi_m = qV_i + \Phi_s$ oldukları dikkate alınır. Aynı zamanda $\Phi_n = (E_c - E_F)$ olup iletim bandının alt kenarı E_c referans alındığında $\Phi_n = E_F$ olan yarıiletkenin Fermi enerji seviyesidir ve Eş. 2.1 ifadesi.

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir. Termal denge durumunda metal ile yarıiletken arasında yük geçişi durur fakat esas olan yük geçişinin sürekli olmasıdır. Bu nedenle devrede sürekli bir yük akışını sağlamak için Şekil 2.1.b veya Şekil 2.2.a' da gösterildiği gibi metal yarıiletken kontağı doğru veya ters olarak ön-gerilimlemek gerekir. Bu nedenle, metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda metal pozitif ve yarıiletken negatif olacak şekilde ön-gerilimlenirse buna doğru ön-gerilim aynı şekilde Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda metal negatif ve yarıiletken pozitif olacak şekilde ön-gerilimlenmesi duruma ise ters ön-gerilim denir ve bu durumlar sırasıyla Şekil 2.2.b ve Şekil 2.2.c' de verilmiştir.

Şekil 2.2.a' da termal denge halinde, yarıiletken metalden geçen elektronlar metalden yarıiletkene geçen elektronlar ile dengelenir yani net yük akışı sıfır olur. Yarıiletkenin tüketim bölgesi çok az hareketli taşıyıcı içerdiğinden dolayı tüketim tabakasının direnci metalin ve yarıiletkenin nötral kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir. Bu nedenle diyota uygulanan pozitif veya negatif dış gerilimin neredeyse tamamı bu bölgeye düşer.



Şekil 2.2. Metal/n-tipi Schottky diyot için; (a) Termal denge durumu (b) doğru ön-gerilim ve (c) ters ön-gerilim

Diyota uygulanacak olan doğru veya ters bir ön-gerilim voltajı termal denge durumundaki enerji-bant diyagramını değiştirecektir. Diyota bir doğru ön-gerilim uygulandığında oluşan yeni potansiyel engel yüksekliği V_F kadar azalacak ($q(V_i - V_F)$) ve ters ön-gerilim durumunda ise V_R kadar artacaktır ($q(V_i + V_R)$). Yani, diyot doğru ön-gerilimlendiğinde engel yüksekliğinin azalması nedeniyle tam olarak iletme geçecek (doğrulturken) ve ters ön-gerilimlendiğinde neredeyse hiç akım geçirmeyecektir. Diyotların bu davranışı “doğrultma oranı” olarak isimlendirilir.

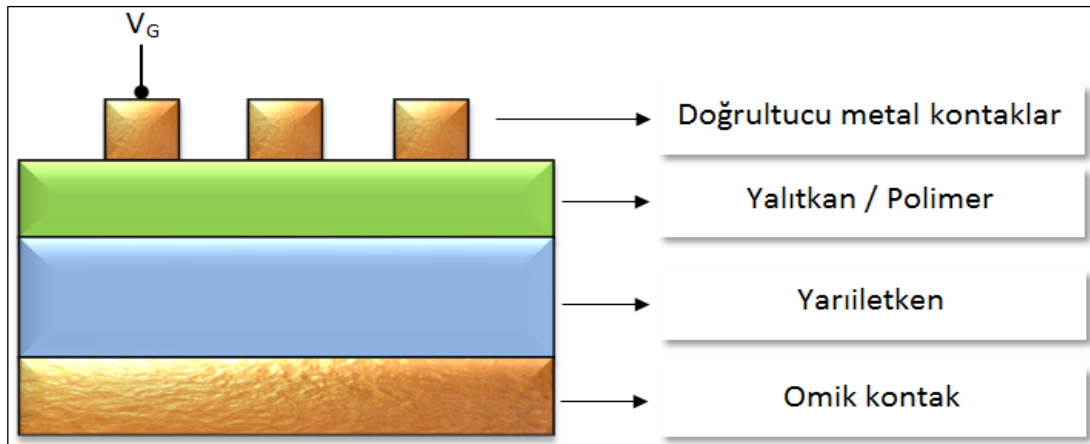
2.2. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Yapılar

Metal ile yarıiletken arasında yalıtkan oksit tabakası doğal yollarla oluşabileceği gibi farklı yöntemlerle de oluşturulabilir. Bu yöntemlerin başında termal oksidasyon,

buharda oksidasyon, anodik oksidasyon ve püskürtme gelir. M/S arayüzeyinde yalıtkan yada diğer bir adıyla oksit tabakası, metal ile yarıiletken arasında izolasyon görevi yaptığı gibi birçok yüzey durumunu pasivize edebilir. Eğer metal ile yarıiletken arasına yalıtkan ya da polimer bir tabaka kaplanır ise metal/yarıiletken (MS) yapı, metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) yapıya dönüşür. Bu yalıtkan veya polimer arayüzey tabakanın varlığı hem metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler yani MIS veya MPS yapılarda akım-iletimi MS yapılardan oldukça farklı olacaktır.

2.3. Metal-Yalıtkan/Polimer-Yarıiletken Schottky Diyotların Yapısı

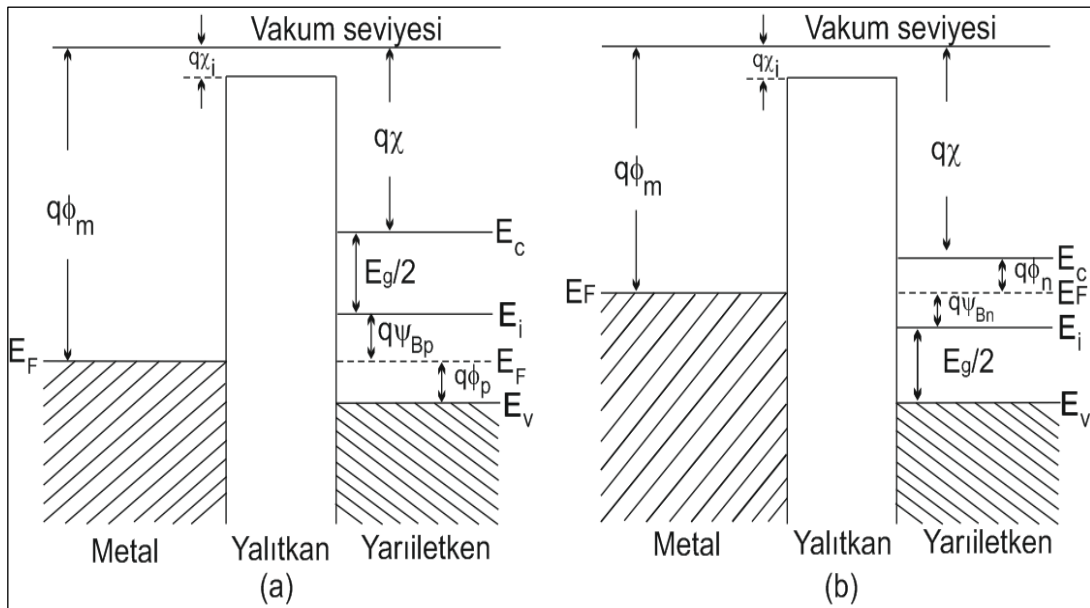
Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan veya polimer bir tabaka kaplandığı zaman metal/yarıiletken (MS) yapı, metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) yapıya dönüşür. Metal ile yarıiletken arasındaki polimer arayüzey veya yalıtkan tabakanın varlığı, metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder ve aralarındaki yük geçişini düzenler. Arayüzey tabakaya ve seri dirence sahip olan MS Schottky diyot üzerine uygulanan voltaj (V_G); bu arayüzey tabaka, yapının seri direnci ve diyot tarafından ($V_G = V_D + V_{R_s} + V_i$) bölüşülecektir. Bu nedenle MIS veya MPS yapılarda akım-iletimi MS yapılardan oldukça farklı olacaktır. Bir MIS/MPS yapının şematik diyagramı Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bir MPS/MIS yapının şematik gösterimi

2.4. İdeal MIS Tipi Schottky Diyotların Yapısı

İdeal MIS olarak tanımlanan yapının, seri direnç ve arayüzey durumları ihmal edilecek kadar küçük ve kısa devre direncinin ise $M\Omega$ lar mertebesinde olması gerekir [2-4]. Bu tür yapılarda diyot sıfır ön-gerilimde iletme geçerken ters yönde hemen hemen hiç akım geçirmez ve idealite faktörü 1' dir. İdeal bir MIS tipi Schottky diyotun $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.4' te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. $V=0$ da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı. (a) p-tipi yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken

Burada;

q : Temel elektronik yük ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

ϕ_m : Metalin iş fonksiyonu

ϕ_B : Metal ve yalıtkan arasında oluşan potansiyel engeli

χ : Yarıiletkenin elektron yakınlığı

χ_i : Yalıtkanın elektron yakınlığı

E_V : Valans (değerlik) bandı enerji seviyesi

E_C : İletkenlik bandı enerji seviyesi

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

E_F : Fermi enerji seviyesi

ψ_B : Fermi ile saf Fermi enerji seviyesi arasındaki fark

Bir dış ön-gerilim olmadığı durumda, metalin iş fonksiyonu ϕ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu ϕ_s arasındaki fark sıfırdır.

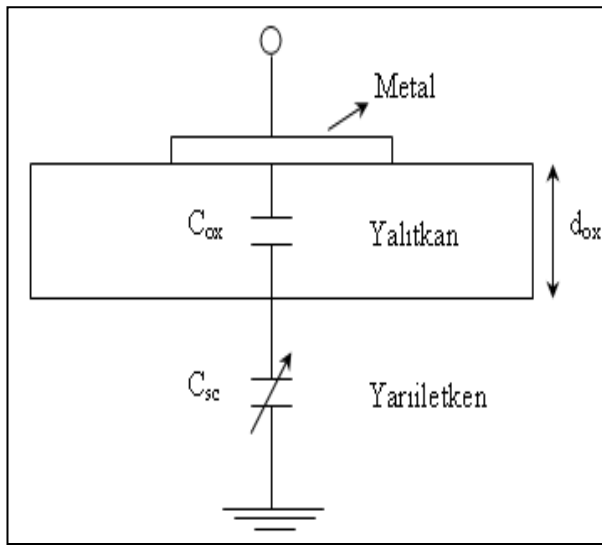
$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_{Bn} \right) = 0 \quad (\text{n-tipi}) \quad (2.3)$$

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_{Bp} \right) = 0 \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.4)$$

Burada χ yarıiletken elektron yakınlığı, E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır. Herhangi bir ön-gerilim altında yapıdaki yükler, yalıtkan ile bitişik metal yüzeyindekiler ile yarıiletkendekiler eşit miktarda fakat zıt yönlüdür. D.C. ön-gerilim şartları altında, yalıtkana doğru taşıyıcı geçişi yoktur, yani yalıtkanın öz direnci sonsuzdur ve Yalıtkan bant aralığı o kadar büyüktür ki, yalıtkanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Aynı zamanda yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz.

İdeal bir MIS yapıda, metal elektroda bir dış ön-gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymalarına neden olur ve böylece yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine sebep olan uzay yükü Q_{sc} oluşur ve bu arayüzey bölgesindeki Q_{sc} termal denge durumunda potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. İletkenlerde olduğu gibi yarıiletken diyotlarda akım iletimi sadece elektronlarla olmayıp hem elektronlar hem de holler tarafından sağlanır ve bu nedenle çoğunluk ve azınlık taşıyıcıların oluşturduğu akıma da çoğunluk ve azınlık taşıyıcı akımı denir. Bir yarıiletkende katkı atomlarının türüne göre çoğunluk ve azınlık taşıyıcıları vardır ve metallerdeki gibi serbest olmayan yükler vardır bu nedenle uygulanan gerilime bağlı olarak arayüzey bölgesi veya uzay yük bölgesinde yığılmalara neden olur.

Metal-yarıiletken kontaklar bir paralel plakalı kondansatöre benzetilebilir. Çünkü metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan/polimer tabakanın varlığından dolayı metal ve yarıiletken arasında kapasitans (C) oluşur. Bu kapasitansa MIS kapasitansı denilmektedir. Eğer MIS yapının toplam kapasitansı uygulanan gerilimde küçük diferansiyel değişimler varsa yalıtkan tabakanın kapasitansı C_i veya C_{ox} ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} ’ den oluşur. MIS kapasitansa karşılık gelen eşdeğer elektronik devresi Şekil 2.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi

Toplam kapasitansı Eş. 2.5 ile verilir [4,30].

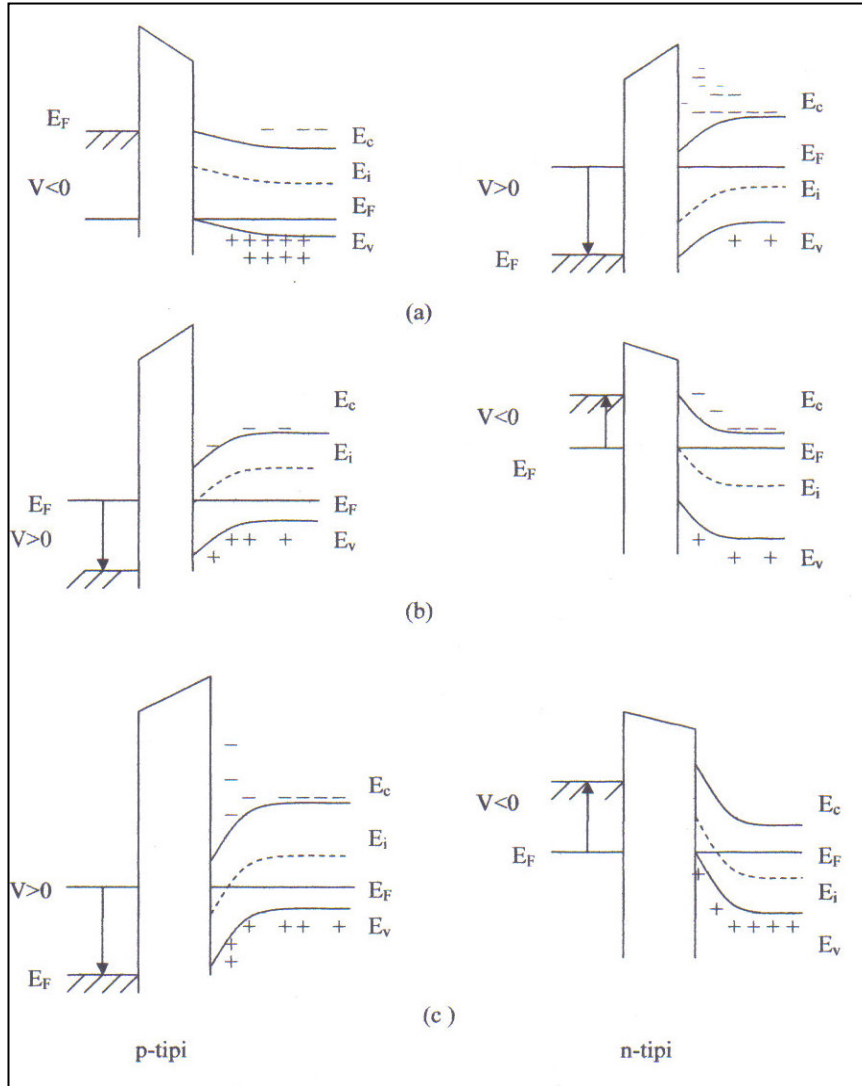
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_i} \quad (2.5)$$

MIS yapının eşdeğer kapasitansı, C_{sc} ve C_i kapasitanslarının seri bağlanmasının eşdeğeridir. Polimer arayüzey tabakanın veya yalıtkan tabakanın kapasitansı C_i Eş. 2.6 ile verilir [1-4].

$$C_i = \frac{\epsilon_{ox}}{d_i} A \quad (2.6)$$

Yukarıdaki bağıntıda ϵ_{ox} yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti, A doğrultucu kontağın alanı ve d_i ise arayüzey tabakanın kalınlığıdır. MIS yapının kapasitansındaki değişimi sadece Q_{sc} uzay yükü kapasitansı belirler. Bir MIS yapının kapasitans-voltaj ($C-V$) eğrisi; yığılma, tüketim ve terslenim bölgeleri diye üçe gruba ayrılabilir.

Yığılma: P-tipi yarıiletkenli MIS yapılarında metale negatif gerilim ($V < 0$) uygulandığında, yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı olan deşikler yarıiletkenin arayüzeyine doğru, uygulanan gerilimden dolayı oluşan elektrik alan nedeniyle çekilirler ve yarıiletkendeki değerlik (valans) elektronları bandının tepesi yukarı doğru bükülür ve Fermi seviyesine yükselir (Şekil 2.6a). Fermi enerji seviyesi ideal bir diyotta yük akışı olmadığı zaman yarıiletkende sabit kalır. Bant bükülmesi yarıiletken yüzeyinin yakınında çoğunluk taşıyıcısı olan deşiklerin yığılmasına sebep olur. Yarıiletkenin arayüzeyinde valans bandının Fermi seviyesine yaklaştığı ve buna bağlı olarak iletim bandının da yukarı büküldüğü bu duruma *yığılma (accumulation)* durumu denir. Bu durumda arayüzeyde biriken yükün yüzey yükü olması sebebiyle $C_{sc} \rightarrow \infty$, dolayısıyla $C \rightarrow C_{ox}$ olur.

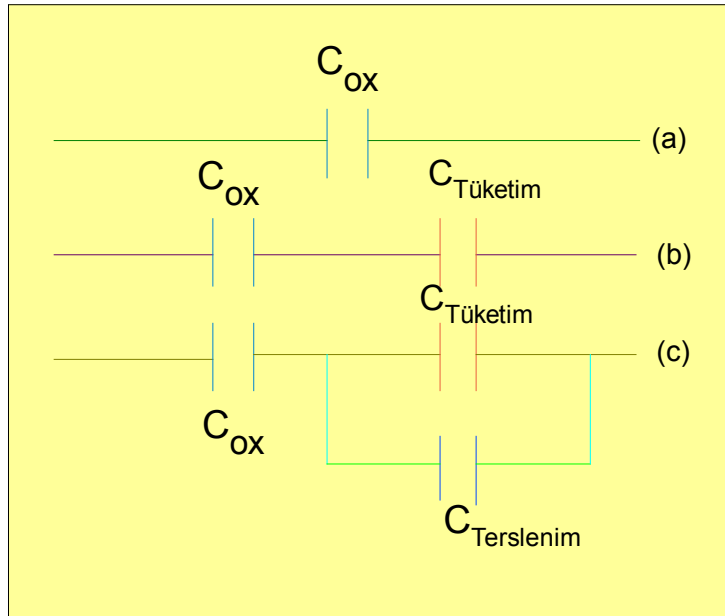


Şekil 2.6. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması. a) Yığılım
b) Tüketim c) Tersinim

Tüketim: P-tipi yarıiletkenli MIS yapılarında metale küçük bir pozitif gerilim ($V > 0$) uygulandığında yarıiletken arayüzeyindekideşikleriyalıtkan içinde oluşan elektrik alan yüzeyden uzaklaştırır. Yarıiletken yüzeyindekideşikyoğunluğu, yarıiletkenin iç kısımlarındakideşikyoğunluğundan küçük olmaya başlar dolayısıyla bantlar aşağı doğru bükülür.(Şekil 2.6b) Bunun sonucunda iletim bandının yarıiletken yüzeyine yakın bölgelerinde, elektronlar toplanmaya başlar. Uygulanan gerilimle değişen w genişliğinde bir bölgede yarıiletken yüzeyinde,deşiklerin azaldığı bir tüketim bölgesi oluşur. Bu duruma *tüketim (depletion)* durumu denir. Bu durumda bantlar aşağı doğru bükülür ve çoğunluk yük taşıyıcısıdeşikler arayüzey bölgesinde tükenirler.

Tersinim: P-tipi yarıiletkenli MIS yapılarında metale büyük bir pozitif gerilim ($V \gg 0$) uygulandığında bantlar aşağı doğru bükülür ve saf durumdaki enerji seviyesi E_i , Fermi enerji seviyesi E_f 'nin altına düşer (Şekil 2.6c). Bu durumda yarıiletken yüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan elektronlar artmaya başlar ve böylece elektron yoğunluğu deşik yoğunluğundan büyük olur. Bu aşamadan sonra p-tipi yarıiletken yüzeyi n-tipi yarıiletken gibi davranır. Bu duruma *tersinim(inversion)* durumu denir.

İdeal bir MIS yapıda yığılım, tüketim ve tersinim durumları için devre şeması Şekil 2.7'deki gibidir [3].

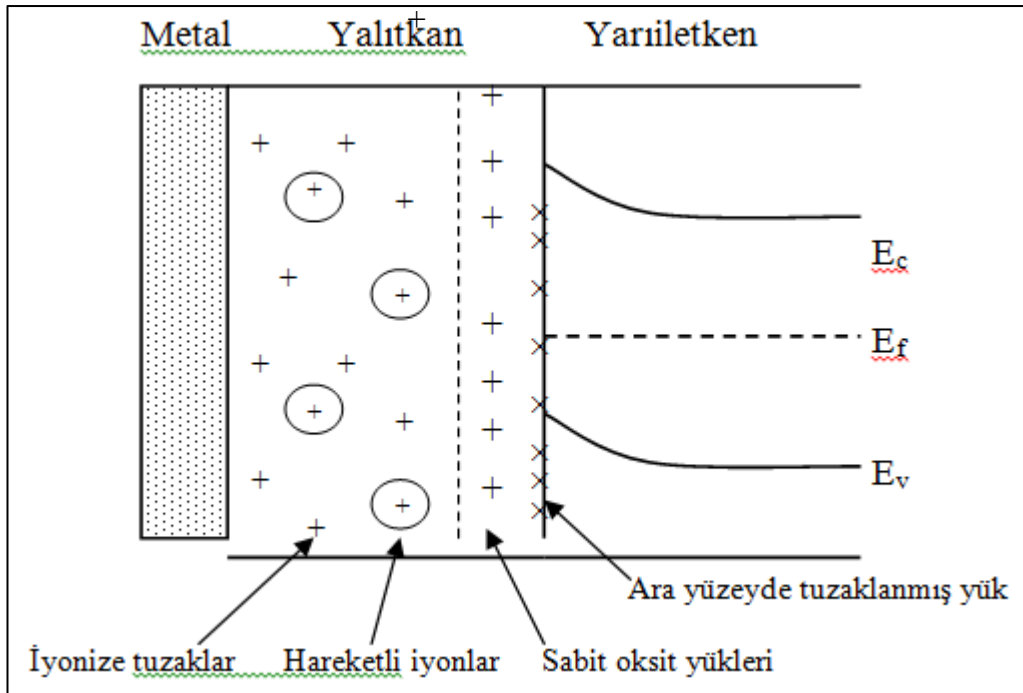


Şekil 2.7. İdeal bir MIS yapının devre şeması. a) Yığılım b) Tüketim c) Tersinim

2.5. Gerçek MIS Yapı

Gerçek bir MIS yapıda yalıtkan ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak nötr değildir. Doymamış bağlardan veya safsızlıklardan kaynaklanan yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki arayüzey durumları olarak adlandırılan tuzaklanmış çok sayıda yük ve arayüzey tabakanın oluşturulması yönetime bağlı olarak ortaya çıkan hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit oksit ve arayüzey yüklerinin bulunması MIS yapının elektriksel özelliklerini oldukça değiştirerek ideal durumdan sapmasına yol açar [3].

Gerçek bir MIS yapıda birçok arayüzey durumu ve yükler mevcuttur. Bu arayüzey durumları sırayla; yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içinde enerji seviyeleri gibi tanımlanan “arayüzey durumları”, yarıiletken yüzeyinde veya yakınında yerleşmiş olan ve uygulanan elektrik alan altında hareketsiz olan “sabit yüzey yükleri” ve yalıtkan içindeki “hareketli iyonlar” dır ve bunlar Şekil 2.7’ de gösterilmiştir.



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

2.6. MIS Diyotlarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi

Gerçek bir MIS yapıda yalıtkan ve yarıiletken arayüzeyin hiçbir zaman elektriksel olarak nötr olmadığını, arayüzey tuzakların ve oksit yüklerinin varlığından dolayı MIS yapının ideal durumdan sapacağını biliyoruz. Bu nedenle bir MIS yapıda metal ile yarıiletken arayüzeyi yakınında yasak enerji bandında lokalize olmuş çok sayıda izinli enerji seviyeleri oluşur bu durum, yarıiletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom veya fabrikasyon sırasında yapıya bulaşan çok sayıda organik kirlere kaynaklanmaktadır. Bunlar diyotun performansını olumsuz yönde etkiler.

Yani bir MIS fabrikasyonu sırasında yarıiletkenin yüzeyi ne kadar temizlense de giderilemeyen ve yarıiletken örgünün son bulduğu kristal yüzeyindeki düzensizlikler sonucunda da yasak enerji bölgesinde birim alan başına ortaya çıkan enerji seviyelerinin yoğunluğu teorik olarak $10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ civarında olması beklenir. Fakat deneysel sonuçlar bunların yaklaşık 10^{12} - $10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ mertebesinde olduğunu göstermektedir [3]. Yavaş ve hızlı olmak üzere yüzey durumları kendi aralarında iki gruba ayrılırlar. Arayüzey tabakanın metal tarafındaki yüzeyinde yavaş yüzey durumları bulunur. Bunlar yüksek elektrik alan altında yalıtkan içerisinde göç etmeye yatkın, hareketli iyonlar tarafından ve yalıtkan yapısındaki hareketsiz yüklere neden olan bozukluklar tarafından meydana getirilir. Yavaş yüzey durumları MIS kapasitesini hemen hemen hiç etkilemez.

Arayüzey tabaka ile yarıiletken arayüzeyi yakınında ise hızlı yüzey durumları yer alırlar ve yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjilere sahiptirler. Dolayısıyla bükülmeyen Fermi seviyesine göre bant bükülmesi ile yüzey durumları da aşağı yukarı hareket edeceğinden iletkenlik veya valans bandı ile ani yük alışverişi yapar.

2.7. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Temel Akım-İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontakların bir dış elektrik alan altındaki akım-iletim mekanizmalarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Kontakta arayüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya polimer tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerin Schottky diyotlara etkisini dikkate alarak, hangi durumda hangi iletim mekanizmasının etkili olacağını belirlemek oldukça zordur. Ancak MS ve MIS/MPS yapılı kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [1-4]:

- ✓ Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- ✓ Difüzyon Teorisi
- ✓ Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- ✓ Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE), Alan Emisyonu (AE) ve Çok katlı tünelleme)

- ✓ Uzay yük bölgesinde rekombinasyon
- ✓ Elektron veya deşik enjeksiyonu
- ✓ T_o etkili akım iletimi
- ✓ Gaussian Dağılımı

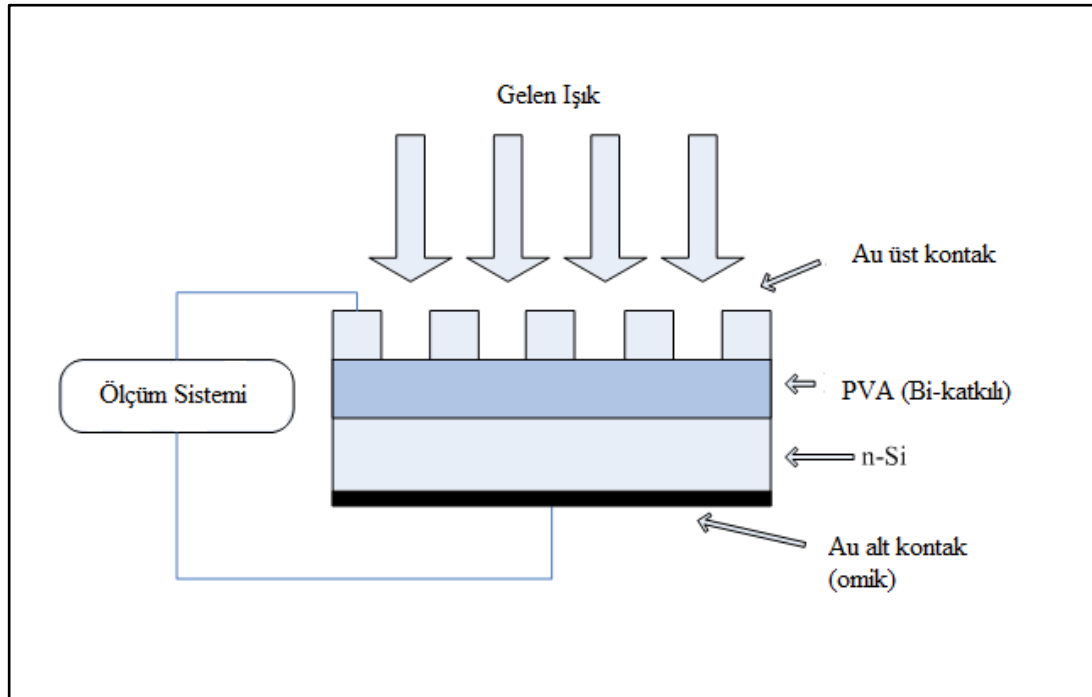
Bu çalışmada, hazırlanan diyotların karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altındaki farklı sıcaklıklar için alınan akım-voltaj ($I-V$) ölçümleri kullanıldığından bu akım-iletim mekanizmalarından TE ile teorisi açıklanacaktır.

2.7.1. Termiyonik emisyon (TE) teorisi

Termiyonik emisyon; sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması anlamına gelir. Schottky kontaklarda yeterli termal enerjiyi kazanan taşıyıcıların potansiyel engel üzerinden yarıiletken metale veya metalden yarıiletkene geçmeleri TE olayı olarak bilinir. Bu olay metal/n-tipi yarıiletken yapılarda elektron, metal/p-tipi yarıiletken yapılarda deşikler tarafından sağlanır [3,31]. MS kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul eden Bethe' nin kurduğu TE teorisinin temel varsayımlarına göre taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin genişliğinden büyüktür, hayali kuvvetlerin etkisi ihmal edilerek akımın engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır ve Potansiyel engelinin yüksekliği (Φ_B), kT/q enerjisinden çok büyüktür [2,3].

2.8. Bir Yarıiletkende Fotonun Soğurulması

Yarıiletken üzerine ışık (foton) düşürüldüğü zaman foton soğurulabilir veya soğurulmadan geçebilir bu durum gelen ışığın enerjisine ve yarıiletkenin yasak enerjisine bağlıdır. Yarıiletken üzerine düşen ışığın bir kısmı yüzeyinden geri saçılabilir. Gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından büyük ise foton bir valans elektronu ile etkileşir ve gelen fotonun enerjisini alarak iletkenlik bandına uyarılır ve iletkenlik bandına uyarılan elektron valans bandında bir boşluk meydana getirir. Yani yarıiletken üzerine foton düştüğü sürece elektron-hol çiftleri oluşmaya devam ederek bir foto-akımı oluşturacaktır.



Şekil 2.9. Yarıiletken tarafından bir fotonun optik soğrulması

3. DENEYSEL YÖNTEM

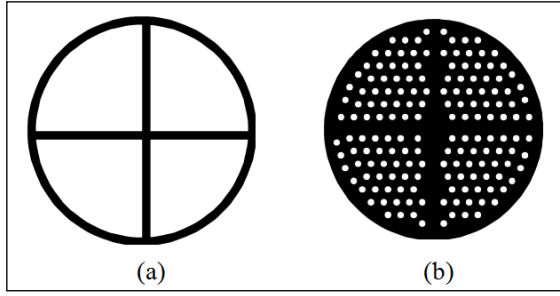
3.1. Kristal Temizleme

Metal-yarıiletken (MS), metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ve metal-polimer-yarıiletken Schottky diyotları hazırlarken birçok yüzey kusurunu ortadan kaldırmak için yarıiletken kristalin mekanik ve kimyasal olarak çok iyi temizlenmesi gerekmektedir. Yarıiletkenin kristal yüzeyinde tüm kimyasal temizleme ve durulama işlemleri ultrasonik banyoda gerçekleştirildi. Yarıiletken kristalin temizlenmesinde öncelikle; Water Purification System’ de hazırlanan yüksek dirençli ($\sim 16-18 \text{ M}\Omega$) deiyonize su kullanılarak temizleme esnasında kullanılacak beher, cımbız v.b. araç ve kaplar asetonla iyice yıkanıp deiyonize su ile durulandıktan sonra etüv fırınında yaklaşık 80°C ısıtılarak sterilize edildi ve yarıiletken kristaller ultrasonik banyoda yaklaşık yıkandıktan sonra deiyonize su (H_2O) ile durulandı. Aynı şekilde Si yapraklarda deiyonize suda ultrasonik olarak durulandı. Son olarak kimyasal olarak temizlenmiş p-tipi silisyum kristal yüzeyde oksitlenme olasılığını önlemek için kurutma işlemi kuru azot (N_2) ile yapıldı.

3.2. Au/PVA/n-Si MPS Yapının Hazırlanması

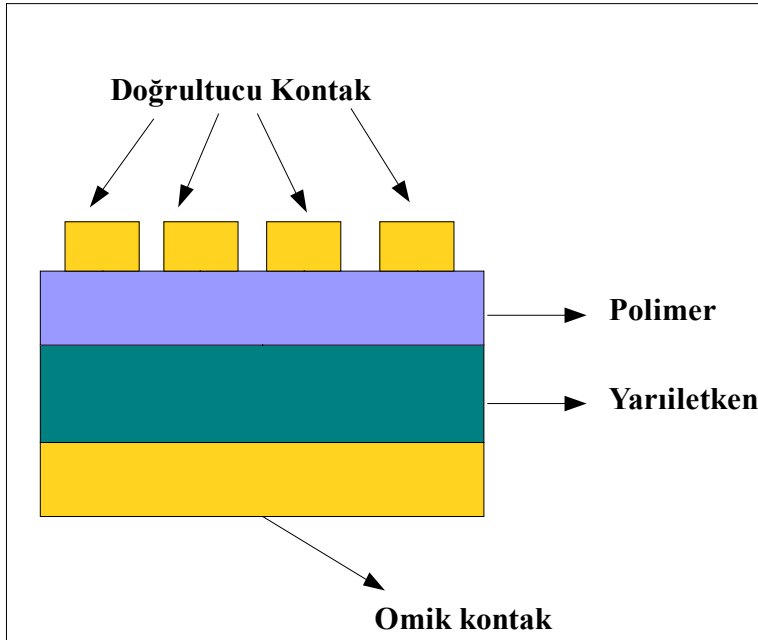
Kimyasal olarak temizlenen yarıiletkenin mat yüzeyi, omik kontağı oluşturmak için aşağı gelecek şekilde maske üzerine yerleştirildi. Omik kontakların oluşturulmasında Şekil 3.1.a’ ya benzer bir maske kullanıldı. Vakum sistemi ile elde edilen $\sim 10^{-6}$ Torr basınç altında üzerinden akım geçirilen tungsten flaman yardımı ile oldukça saf altın (Au) ($\sim 99,999\%$) buharlaştırılarak Si yaprağın arka yüzeyine $\sim 2000 \text{ \AA}$ Au tabaka oluşturuldu. Buharlaştırma ile elde edilen arka kontağın, Si yaprağın üzerine çöktürülmesi ile omik kontak elde edilmiş oldu [32].

Omik kontağın oluşturulmasından sonra PVA yalıtkan tabakayı oluşturmak için elektrospinning yöntemi kullanıldı.



Şekil 3.1. (a) Omik ve (b) doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan maskeler

Doğrultucu kontağın oluşturulmasında Şekil 3.1.(b)' ye benzer bakır bir maske kullanıldı. Üzeri PVA kaplanmış yüzey aşağı gelecek şekilde bakır maske üzerine yerleştirildi ve altın (Au) $\approx 10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (1 mm çaplı) şeklinde ve ≈ 1500 Å kalınlığında altın kaplanması sağlandı [32]. Au/PVA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Au/PVA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi

3.3. Polivinil Alkolün (PVA) Özellikleri

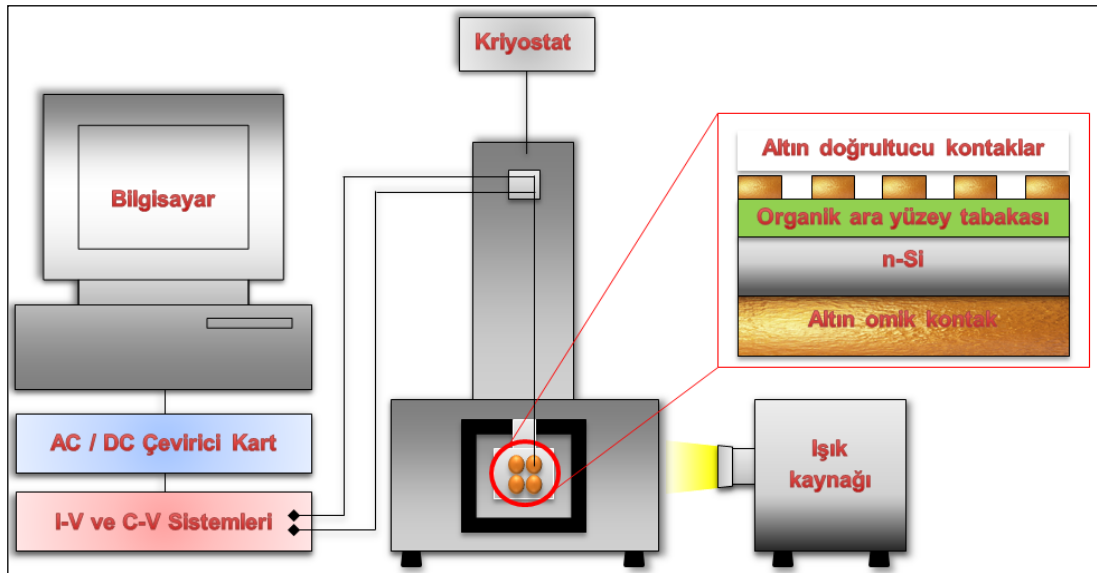
Polivinil alkol (PVA) suda çözünen sentetik reçinelerin içinde en geniş hacimli polihidroksi polimerdir. PVA' nın fiziksel özellikleri üretiliş metoduna göre değişiklik gösterir ve özellikleri polivinil asetatın polimerizasyon koşulları, hidroliz koşulları, kurutma ve öğütme işlemleriyle etkilenir. Hidroliz derecesinin PVA özellikleri üzerine etkileri sabit molekül ağırlığı için geçerlidir. Aynı şekilde; molekül ağırlığı değişirken PVA özelliklerinde değişimler sabit hidroliz derecesi için geçerlidir [33].

PVA' nın en önemli fiziksel özelliği kristalleşme kabiliyetidir. Bu özellik suda çözünürlüğünü, su duyarlılığını, gerilme kuvvetini, oksijen bariyer özelliklerini ve termoplastik özelliklerini kontrol eder [33]. Kristalleşmeyi birkaç dakikalık ısı uygulaması veya kurutma artırır ve bu durum çözünürlük ve su duyarlılığını büyük ölçüde azaltır.

PVA hidroksil grupları ile reaksiyona giren multi-fonksiyonel bileşiklerle doğrudan çapraz bağlanabilir. Bu tip reaksiyonlar PVA' ya gelişmiş su dayanımı sağlayacak bir yol olmalarından veya viskoziteyi hızlıca artıracak için çok büyük endüstriyel öneme sahiptirler. Güçlü halkalı yapı oluşturan bakır ve nikel gibi metallerin tuzları, organik titanatlar ve dikromatlar, bakır-amonyum kompleksleri ve krom kompleksleri PVA' yı çözünmez hale getirmekte etkin olabilir [33] PVA çapraz bağlama ile çözünmez hale getirilebilse de tam olarak su dayanımı başarılamamıştır PVA' nın bozunma sıcaklığı erime noktasının altında olduğu için termoplastik polimer olarak düşünülmez. Dolayısıyla PVA' nın endüstriyel uygulamaları sulu çözeltilerinin kullanımı ile sınırlıdır. PVA' yı sulu çözeltide tamamen çözünür hale getirmek için çözeltinin sıcaklığını 70-90 °C' ye çıkarmak gerekmektedir ve PVA çözeltileri depolanırken paslanmaz çelik veya plastik kaplar tercih edilir [5].

3.4. Deneysel Ölçüm Sistemi

Şekil 3.3’ de verilen deneysel ölçüm sisteminin tamamı ile numunenin elektriksel karakteristikleri için gerekli ölçümlerin hepsi Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yarıiletken (Starlab) Laboratuvarında gerçekleştirildi. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı, Hewlett Packard 4192A LF Empedans Analizörü (5 Hz-13 MHz), Janis vpf-475 kriyostat ve Newport-Oriel 67011 aydınlatma kaynağı ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Deneysel Ölçüm Sisteminin Şematik Görünümü

3.4.1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı

Aydınlatma şiddetine bağlı akım-voltaj ölçümlerini almak için Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı kullanıldı. Keithley 2400 akım-gerilim ölçüm cihazı $\pm 1 \mu V$ ’ 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 veri yoluna sahiptir. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı resim 3.4’ de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı

3.4.2. Janis vpf-475 kriyostat

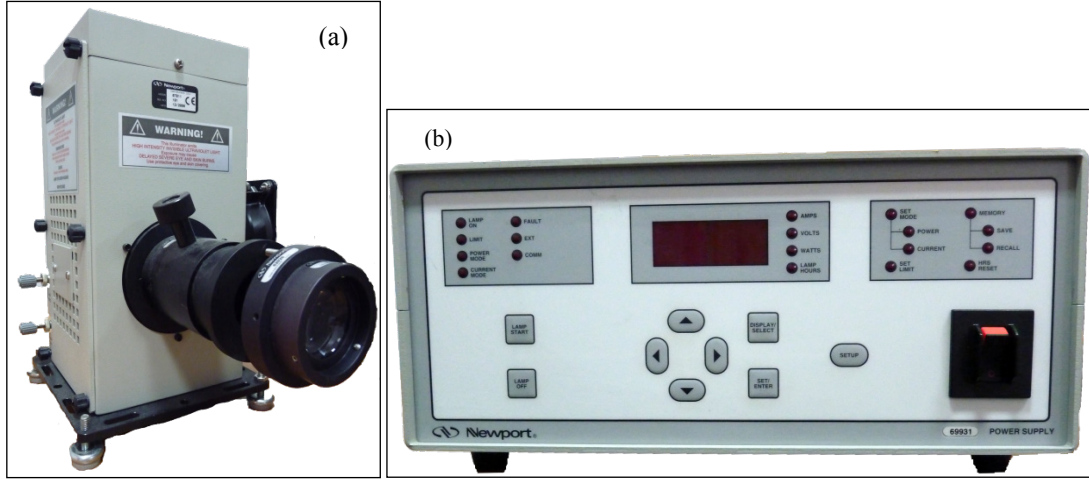
Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotların I - V ölçümleri dış etkenlerin ölçümler üzerindeki etkisini azaltmak için Janis vpf-475 kriyostat içinde yaklaşık 10^{-2} mbar basınçta gerçekleştirildi. Bu kriyostat, Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemine sahip olup, 79 K ile 425 K sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Janis vpf-475 kriyostat resim 3.5' de gösterilmiştir.



Resim 3.2. Janis vpf-475 kriyostat

3.4.3. Newport-Oriel 67011 ışık (aydınlatma) kaynağı ve Newport-Oriel 69931güç kaynağı

Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotların aydınlatma şiddetine bağlı $I-V$ ölçümleri Resim 3.6.a ve Resim 3.6.b’ de sırasıyla verilen Newport-Oriel 67011 aydınlatma kaynağı (halojen lamba) ve Newport-Oriel 69931 güç kaynağı kullanılarak gerçekleştirildi. Işık kaynağından çıkan 400-700 nm arasında dalga boyuna sahip fotonlar diyot üzerine odaklandıktan sonra ölçümler alındı ve bu aydınlatma sistemi 0-250 W’ lık geniş bir aydınlatma şiddeti aralığına sahip olup ± 1 W’ lık adımlarla ölçüm almamızı sağlar.



Resim 3.3 (a)Newport-Oriel 67011 aydınlatma kaynağı ve (b) Newport-Oriel 69931 güç kaynağı

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Bu çalışmada, Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotun akım-voltaj (I - V) ölçümleri hem karanlık hem de beş farklı aydınlatma şiddeti (0-250 W) için, - 4 V ile +5 V aralığında, sırasıyla 80 K, 160 K, 240 K ve 320 K sıcaklıklarında gerçekleştirildi. Doğru ve ters ön-gerilim I - V ölçümlerinden aydınlatma şiddetine bağlı olarak diyotun I_o , Φ_{Bo} , n , R_s ve R_{sh} gibi temel elektriksel parametreleri elde edildi. Deneysel sonuçlar mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak incelendi. Ayrıca metal ile yarıiletken arasında büyütülen PVA arayüzey tabakanın bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi araştırıldı.

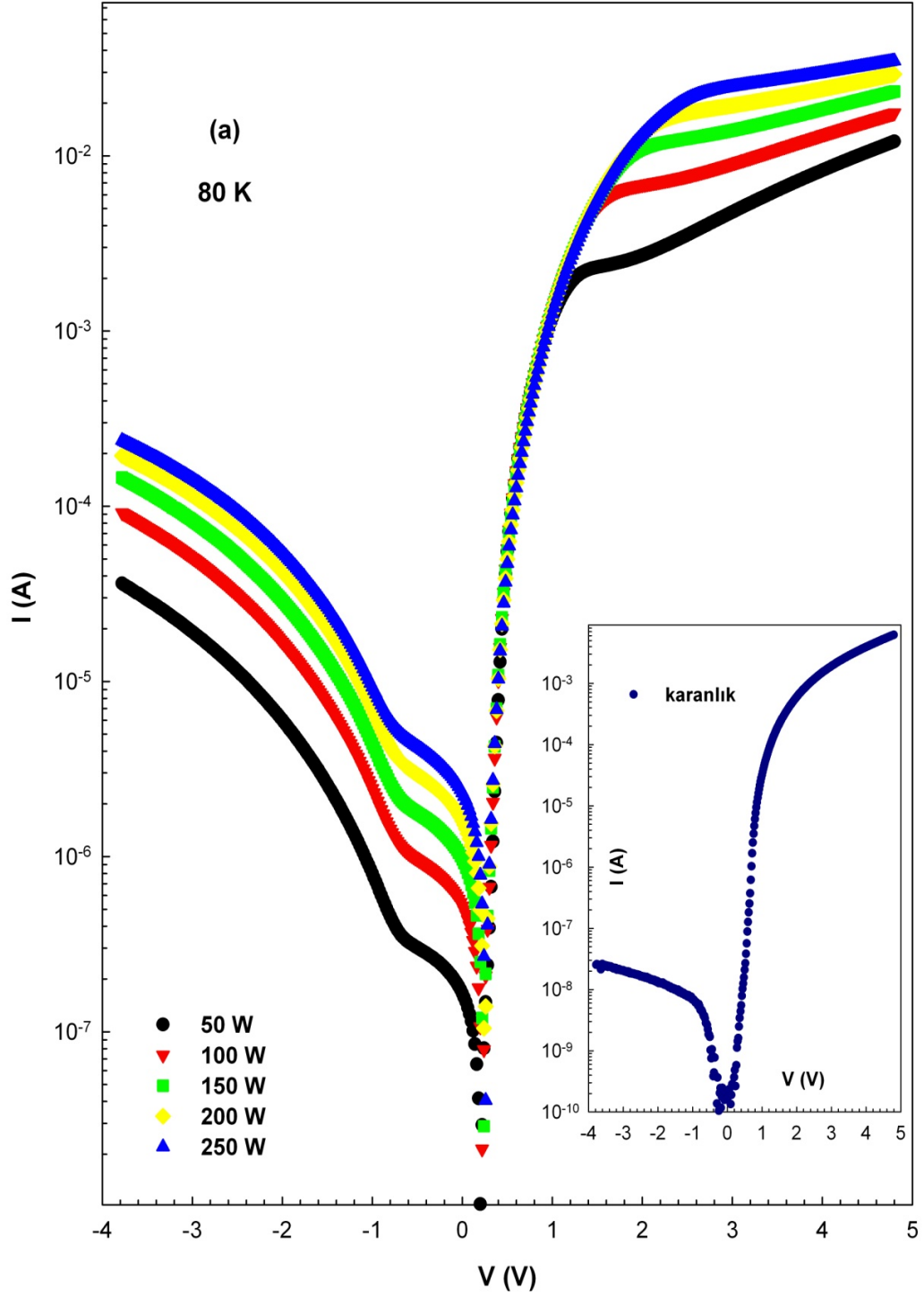
4.2. Aydınlatma Şiddetine Bağlı Akım-voltaj (I - V) Karakteristikleri

Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotun yarı-logaritmik akım-voltaj (I - V) ölçümleri, doğru ve ters ön-gerilimlerde, karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde (50-250 W) 80 K, 160 K, 240 K ve 320 K için elde edilerek Şekil 4.1 (a)-(d)' de verildi. Şekil 4.1' de görüldüğü gibi diyot özellikle düşük sıcaklık ve düşük aydınlatma şiddeti altında iyi doğrultma davranışı sergilemiştir. Özellikle yarı logaritmik I - V grafiği, doğru ön-gerilim altında farklı eğimlere sahip geniş bir lineer bölge aralığına sahiptir ($0.1 \leq V \leq 0.8$) Schottky diyotlarda $\ln(I)$ - V grafiği, genelde lineer bir doğru olması beklenir [36]. Ancak deneysel sonuçlar göstermiştir ki yüksek voltajlar da $\ln(I)$ - V eğrisi özellikle seri direnç ve arayüzey tabakasından dolayı lineerlikten sapar. Yarıiletken aygıtların gerçek direnci mümkün olduğu kadar ileri pozitif voltajlar için elde edilen değerdir. Ayrıca ters ön gerilim altında özellikle düşük sıcaklıklarda diyodun doyum akımına ulaşamadığı görülmektedir. Doyum akımına ulaşamaması Schottky bariyer engel yüksekliğindeki hayali kuvvetin azalmasına ve metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey polimer tabakanın varlığından kaynaklanabilir.

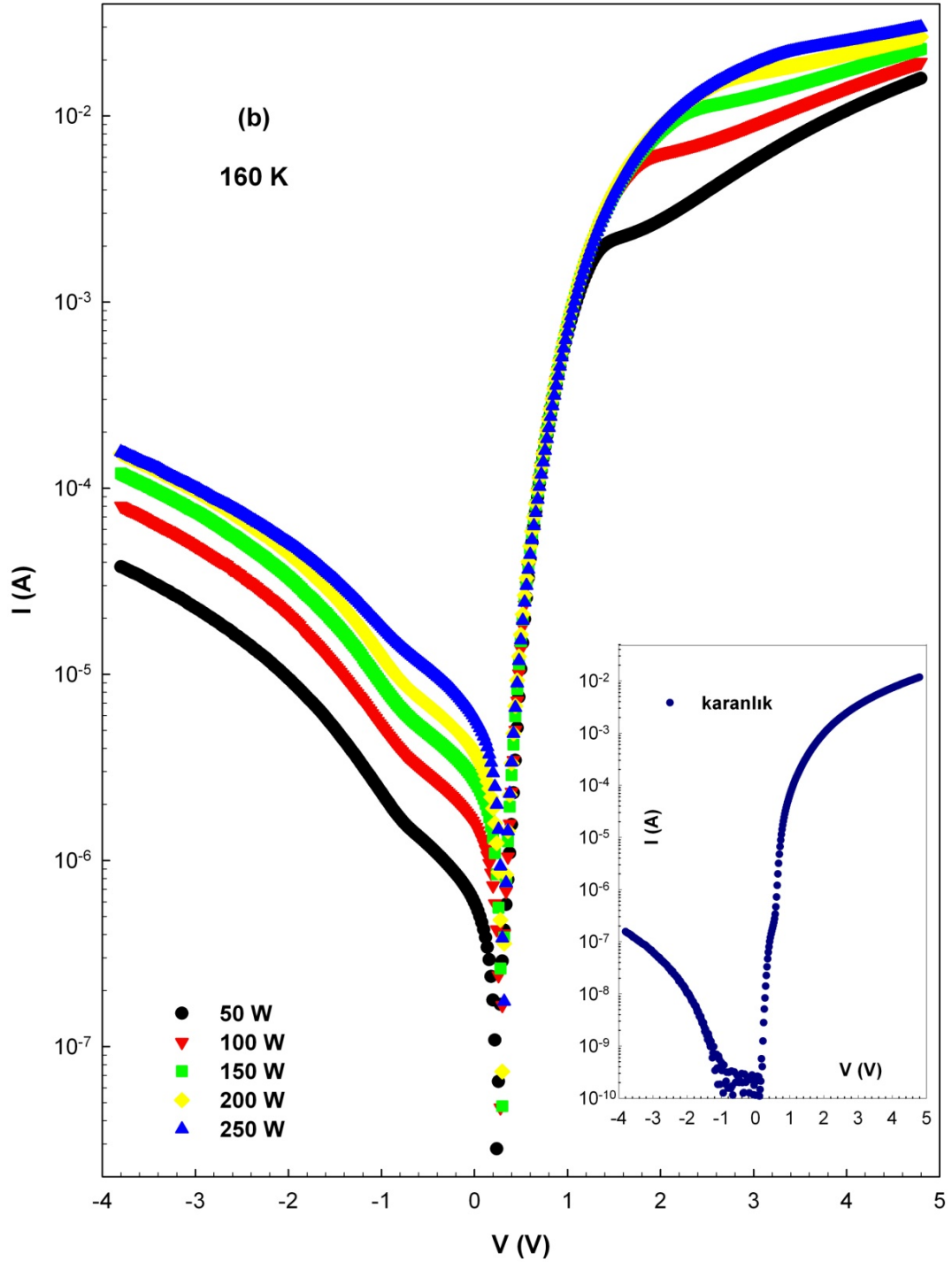
Çünkü yasak enerji aralığı artan sıcaklık ile küçülür bu durum eşitlik 4.1' de net bir şekilde görülebilmektedir ve taşıyıcılar termal hız kazanırlar yani iletkenlik artar, diyot fotoiletkenlik özelliği göstermiş olur bu nedenle 320 K gibi yüksek sıcaklıklarda ters ön-gerilim altında doyum akımına ulaşıldığı Şekil 4.1.(d)' de görülmektedir. Sıcaklığa bağlı yasak enerji ifadesi Eş. 4.1' de verilmiştir.

$$E_g(T) = E_g(0K) + \alpha \frac{T^2}{(\beta + T)} \quad (4.1)$$

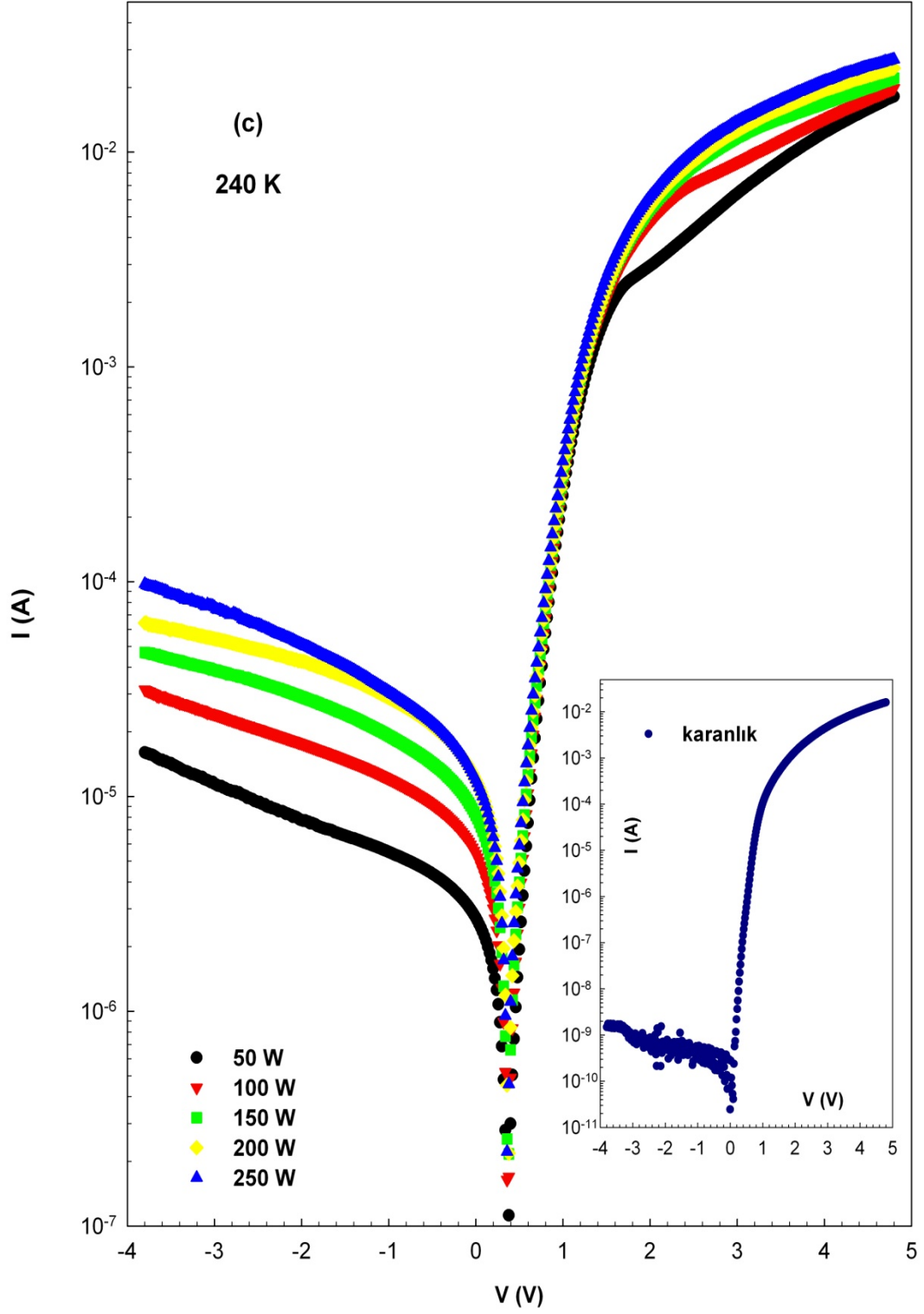
Diyotun fotoiletkenlik özelliği gösterebilmesi için aydınlatma şiddeti altında, fotonun enerjisi ($hc/q\lambda$) yarıiletkenin yasak enerji bant aralığından (E_g) daha yüksek enerjiye sahip olduğu zaman, bu yasak enerji aralığında elektron hol çiftleri oluşur. Bu elektrik alan ile elektronlar ve holler zıt yönlerde doğru sürüklenerek dış devre üzerinde bir elektrik alan oluşturur. Elde edilen bu akıma fotovoltaiik akım, bu akımı oluşturan olaya da fotovoltaiik olay denir.



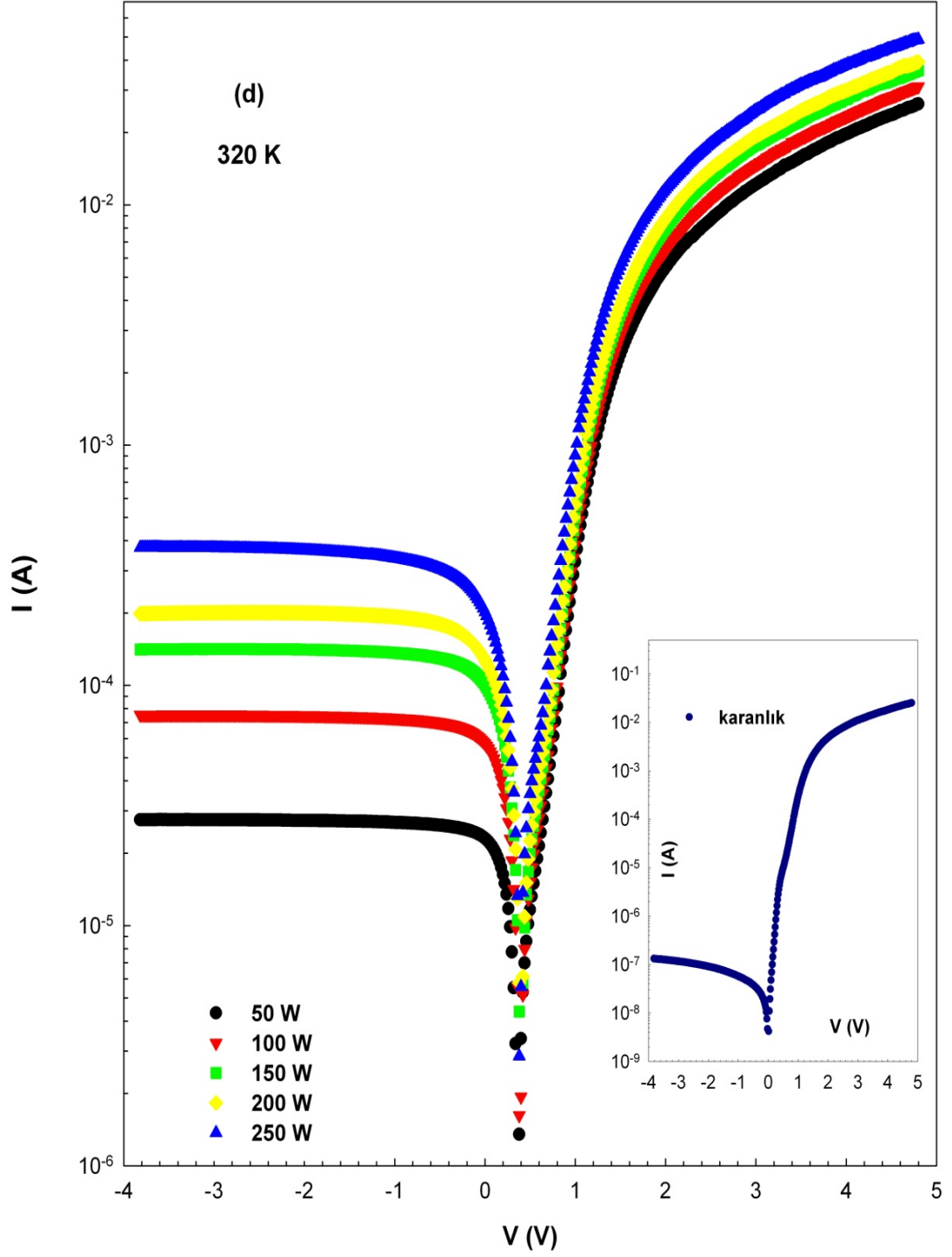
Şekil 4.1. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I$ - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



Şekil 4.1. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I$ - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



Şekil 4.1. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I$ - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



Şekil 4.1. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $\ln I$ - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K

Bir MS/MIS tipi Schottky engel diyotu veya güneş pili için akım-voltaj ilişkisi, $V \geq 3kT/q$ için, aşağıdaki şekilde verilir [3,34].

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.2)$$

Burada V diyot üzerine uygulanan gerilim, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve IR_s terimi ise diyotun seri direnci üzerine düşen voltajdır. IR_s terimi, düşük ve orta gerilim bölgelerinde diyota uygulanan voltaj yanında ihmal edilecek kadar küçüktür. Eş. 4.3' deki I_o terimi ise ters doyum akımı olup aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \quad (4.3)$$

Burada A diyotun doğrultucu kontak alanı, A^* etkin Richardson sabiti ve Φ_{Bo} metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır-beslem (ön-gerilim) potansiyel engel yüksekliği olup değeri n-tipi Si için $120 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ dir [3]. Buna göre Eş. (4.3), Eş. (4.2)' de yerine yazılırsa ve R_s etkisi ihmal edildiğinde Eş. 4.3.,

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.4)$$

şeklini alır. Orta ve yüksek sıcaklıklarda köşeli parantez içindeki 1 rakamı üstel ifade yanında ihmal edilebilir ve $V_D (=V-IR_s)$ diyot üzerine düşen voltajdır. Saf TE teorisine göre idealite faktörünün 1 olması beklenir, fakat pratikte durum farklıdır. Yani n değeri özellikle düşük sıcaklıklarda 1' den fazla olabilir. İdealite faktörünün değeri, metal ile yarıiletken arasında oluşan yalıtkan veya polimer arayüzey tabaka ile potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliği ve biçimi, yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}), Schottky engel alçalmasına

ve numune sıcaklığına bağlıdır [3]. Eğer yapı yalıtkan kontaklardan veya arayüzey tabakasından dolayı bir seri dirence sahip ise diyot üzerine düşen voltaj,

$$V_D = V - IR_s \quad (4.5)$$

şeklindedir. Schottky diyotlarda $\ln(I)$ - V grafiği, genelde lineer bir doğru olması beklenir [35,36]. Fakat seri direnç ve arayüzey tabakanın varlığından dolayı lineerlikten sapma gözlenir. Bilindiği gibi yarıiletken aygıtların gerçek direnci mümkün olduğu kadar ileri pozitif voltajlar için elde edilen değerdir. Bu nedenle diyotun seri direnci bu bölgede hesaplanır.

Schottky diyotlarda, doğru ön-gerilim $\ln I$ - V eğrileri üç farklı bölgeye ayrılır. Bunlar sırasıyla düşük gerilim ($V \leq 0,1$ V) bölgesi, orta gerilim ($0,1 < V < 0,8$ V) bölgesi ve yüksek gerilim ($V > 0,8$ V) bölgesidir. Düşük gerilim bölgesinde kaçak akımlar etkin olup lineer bir davranış gözlenmez. Yukarıda belirtildiği gibi yüksek gerilim bölgesinde ise $\ln I$ - V eğrisinde R_s ' den dolayı bir bükülme meydana gelir. Orta gerilim bölgesinde $\ln I$ - V eğrisi genelde lineer bir davranış gösterdiği için, Eş. 4.2 ifadesinde her iki tarafın $\ln$ ' i alınırsa Eş. 4.6' de verilen bir doğru denklemi elde edilir [5].

$$\ln(I) = \ln(I_o) + \frac{q}{nkT} V_D \quad (4.6)$$

Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky diyotu için 80 K, 160 K, 240 K ve 320 K için ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki (0-250 W) doğru ve ters ön-gerilim yarı-logaritmik $\ln I$ - V eğrileri, Şekil 4.1' de görüldüğü gibi geniş bir voltaj aralığında lineer bir davranış sergilemektedir. Bu lineer bölgenin eğiminden ($\tan \theta = q / nkT$) diyotun idealite faktörü aşağıdaki bağıntıdan elde edilir.

$$n = \frac{q}{kT \tan \theta} \quad (4.7)$$

I_o değerleri ile diyotun doğrultucu kontak alanı (A) ve etkin Richardson sabiti (A^*) değerleri kullanılarak sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}) değerleri bulunur.

$$\Phi_{Bo} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_o} \right) \quad (4.8)$$

Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky diyotun karanlık ve 250 W için farklı sıcaklık değerlerinde elde edilen Φ_{Bo} ve n değerleri elde edilmiştir. Karanlıkta sırasıyla 0.23 eV ve 5.03 (80 K), 0.51 eV ve 3.60 (160 K), 0.76 eV ve 2.40 (240 K), 1.00 eV ve 1.44 (320 K) değerleri elde edilmiştir ve 250 W aydınlatma şiddeti için 0.22 eV ve 5.22 (80 K), 0.43 eV ve 4.17 (160 K), 0.67 eV ve 2.94 (240 K), 0.87 eV ve 2.13 (320 K) değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca farklı sıcaklık (80-320 K) ve farklı aydınlatma şiddetleri (0-250 W) için I_o ve n değerleri aşağıdaki tabloda elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky diyonu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında farklı sıcaklıklar (80-320 K) için I_o ve n değerleri

Aydınlatma Şiddeti (W)	80 K		160 K		240 K		320 K	
	I_o (A)	n	I_o (A)	n	I_o (A)	n	I_o (A)	n
0	4.26×10^{-13}	5.03	6.12×10^{-12}	3.60	2.62×10^{-11}	2.40	6.70×10^{-9}	1.43
50	1.47×10^{-10}	5.16	7.98×10^{-10}	3.79	2.22×10^{-10}	2.63	1.30×10^{-7}	1.51
100	1.82×10^{-10}	5.15	1.19×10^{-9}	3.82	4.44×10^{-10}	2.70	1.74×10^{-7}	1.80
150	1.45×10^{-10}	5.07	1.91×10^{-9}	3.96	6.83×10^{-10}	2.75	3.25×10^{-7}	1.86
200	7.74×10^{-11}	5.08	2.50×10^{-9}	4.04	1.03×10^{-9}	2.81	4.22×10^{-7}	1.96
250	2.02×10^{-10}	5.20	3.09×10^{-9}	4.16	1.74×10^{-9}	2.93	1.28×10^{-6}	2.12

n ve I_o değerlerinin artan aydınlatma şiddeti ile arttığı görülmektedir ve bu durum uzay yük taşıyıcılarının arayüzey bölgesinde yeniden yapılanmasından kaynaklanmaktadır. Teoride idealite faktörünün 1 olması gerektiğini biliyoruz fakat pratikte durum farklıdır ve önemli ölçüde sapmalar gözlenir. Metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey durumlarının yeniden yapılanması ve tünelleme olayı da idealite faktörünün beklenen değerden büyük çıkmasına sebep olabilir [37-39]. Yani metal ile yarıiletken arasında oluşan yalıtkan veya polimer arayüzey tabaka, potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliği, yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}), Schottky engel alçalması ve numune sıcaklığı gibi faktörlerden dolayı elde ettiğimiz n değeri beklenen değerden yüksek çıkabilmektedir. [3].

I_o ve sıfır beslem engel yüksekliği her bir aydınlatma şiddeti altında ve sıcaklıkta doğru ön-gerilim altındaki lineer bölgeden hesaplandı. n ve Φ_{Bo} 'ın değeri 4.6 ve 4.7 eşitliklerinden elde edildi ve Şekil 4.2 ve 4.3' de verildi. Şekil 4.2' de Φ_{Bo} değerinin artan aydınlatma şiddeti ile lineer bir şekilde azaldığı görüldü, Φ_{Bo} değeri aydınlatma şiddetine bağlı olarak

$$\Phi_{Bo} = \Phi_{Bo}(0) + \alpha P \quad (4.8)$$

şeklinde değişmektedir. Burada $\Phi_{Bo}(0)$ ve α sırasıyla sıfır aydınlatma şiddetine ($P=0$) karşılık gelen sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği ve bu sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliğinin aydınlatma şiddetine bağlı değişim katsayısıdır.

Φ_{Bo} değeri ve n değerinin aydınlatma şiddeti altında ki değişimi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' de görülmektedir.

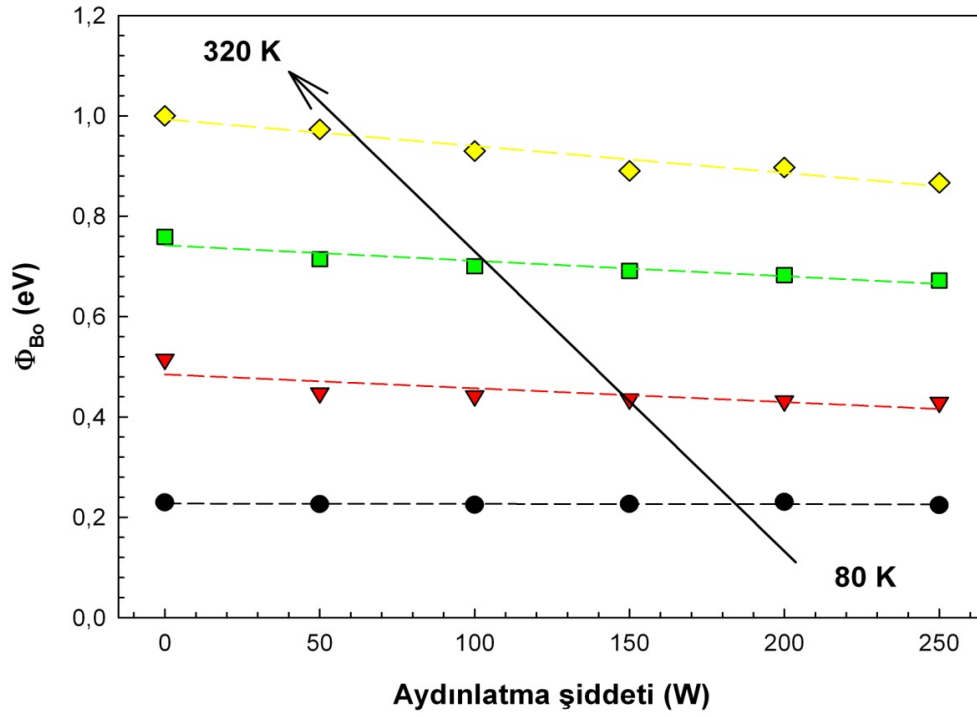
Φ_{Bo} değerinin aksine n değeri artan aydınlatma şiddeti ile artmaktadır fakat 80 K de aydınlatma şiddetine bağlı herhangi bir değişme görülmemektedir. 80 K deki bu davranış düşük aydınlatma şiddeti ve karanlıktaki uzay yük taşıyıcılarının varlığından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda düşük sıcaklıklarda çoğunluk

taşıyıcılarının donmaya başlamasından dolayı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’ de aydınlatma şiddeti altında 80 K sıcaklıkta akım iletim mekanizmasına herhangi bir katkı sağlanmıyor ve bu nedenle herhangi bir değişme gözlenmiyor olabilir.

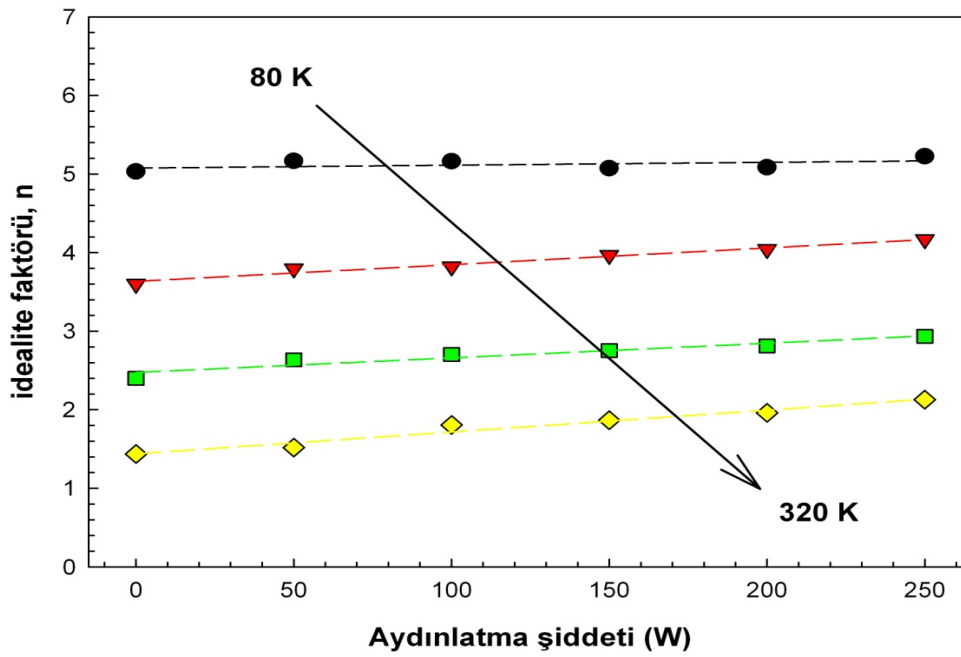
Elde edilen n ve Φ_{Bo} değerlerinde metal ile yarıiletken arasında oluşan yalıtkan veya polimer arayüzey tabaka ile potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliği ve biçimi, yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}), Schottky engel alçalmasına ve numune sıcaklığı etkilidir [3]. Aydınlatma şiddeti altında tüketim bölgesindeki taşıyıcı yoğunluğunun azalması, tuzaklar ve yeniden birleşme merkezlerinin yüksek sıcaklık ve ışık şiddeti altındaki katkısından dolayı diyotun iletkenliği artar.

Werner ve Guttler [40] bariyer yüksekliğindeki bu dağılımın M/S arayüzeyindeki özel bir homojensizliğin sonucu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu modele göre n' in ‘1’ den farklı olması ve sıcaklık ile değişimi engel yüksekliğinin dağılımına bağlıdır. Φ_{Bo} ’ in bu şekildeki sıcaklığa bağımlılığı yarıiletken ya da bariyer yüksekliğinin negatif sıcaklık katsayısının, literatürde var olan değerleri ile uyumsuz olduğu açıktır [41,42]. Sıcaklığın aktif bir etken olduğu Schottky engel diyotların akım iletim mekanizmasında, düşük sıcaklıklarda, elektronlar ancak düşük bariyer yüksekliğine sahip bölgelerden geçebilirler ve akım, etkin olarak düşük engelli bölgelerden gelen elektronlar tarafından oluşturulur. Ancak sıcaklık arttıkça, daha fazla elektron daha yüksek bariyerleri aşacak enerjiye sahip olacaktır. Bu sebeple baskın engel yüksekliği artan sıcaklık ve artan voltaj ile artar [38,40,47-49].

Düşük sıcaklıklarda Φ_{Bo} değerinin azalması ve n değerinin artmasının kaynağı engel yüksekliğinin homojensizliği, M/S yapıdaki arayüzey tabaka ve düzensiz arayüzey yüklerinden kaynaklanabilir.



Şekil 4.2. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için Φ_{B0} - P eğrileri

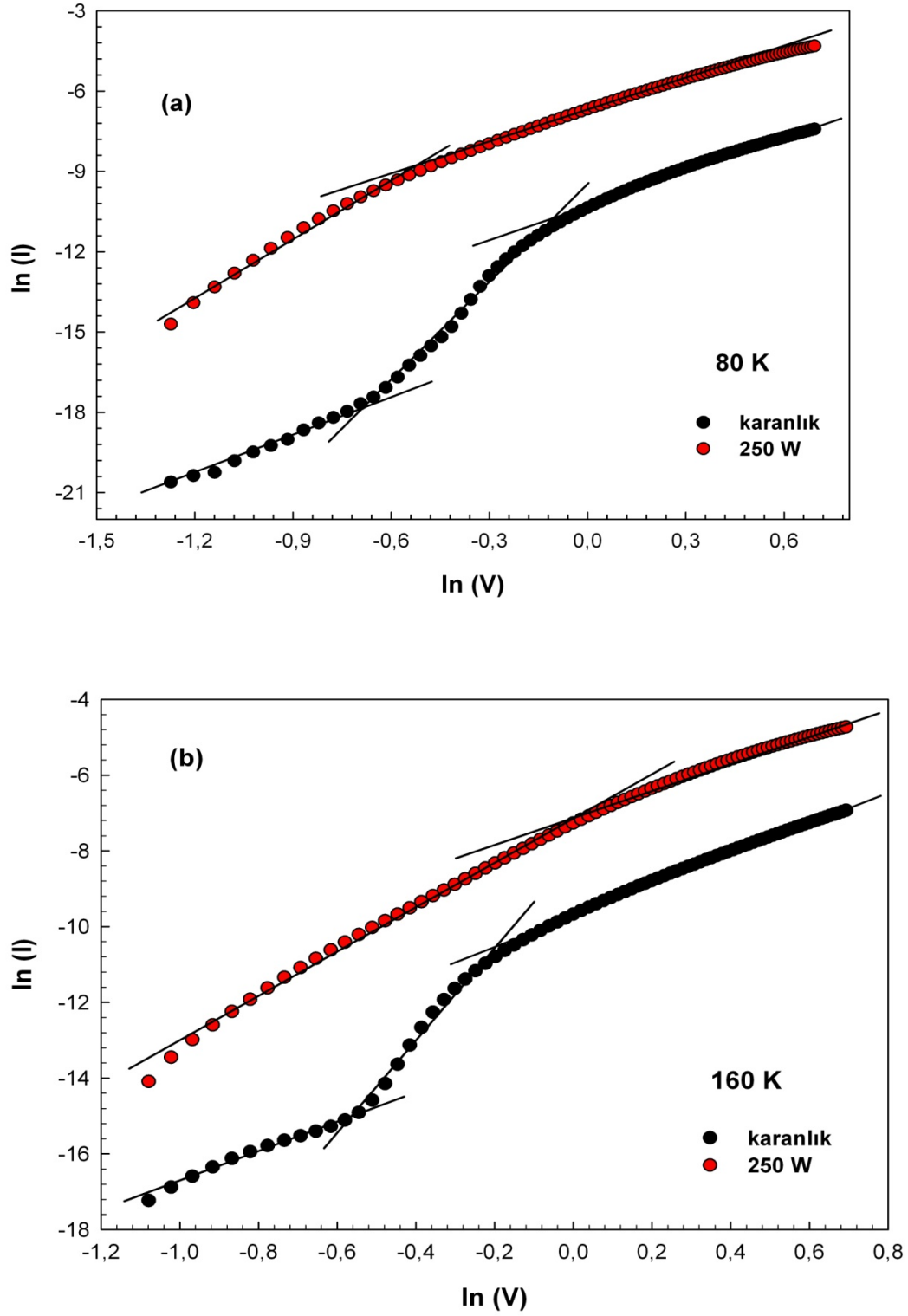


Şekil 4.3. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için n - P eğrileri

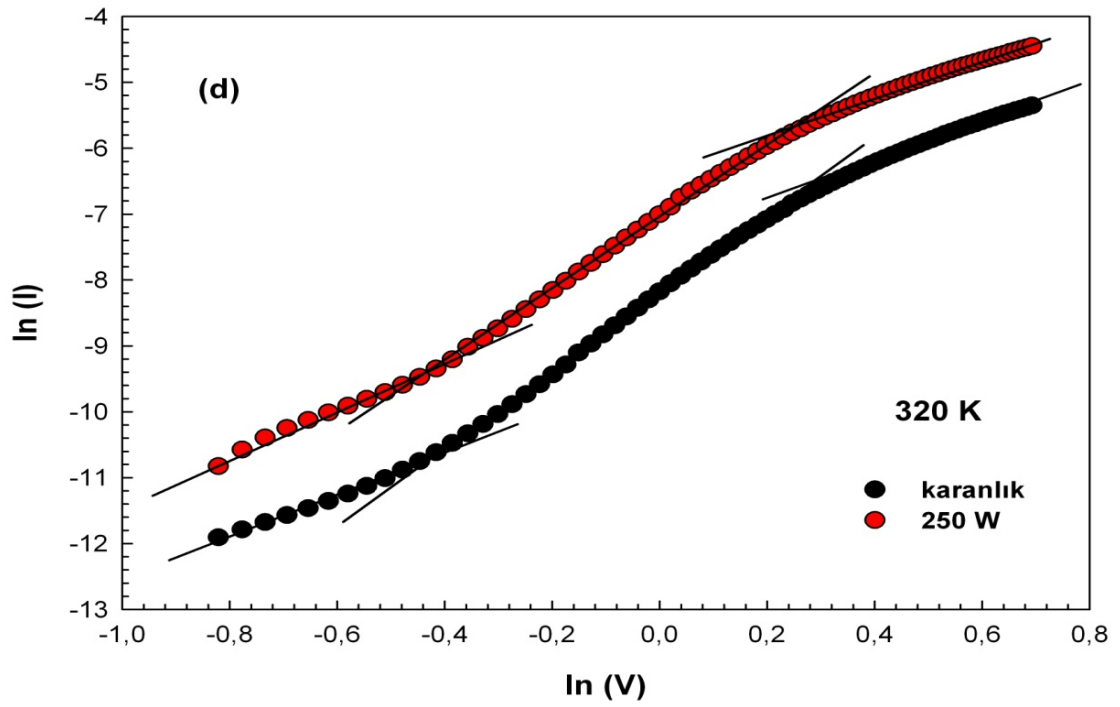
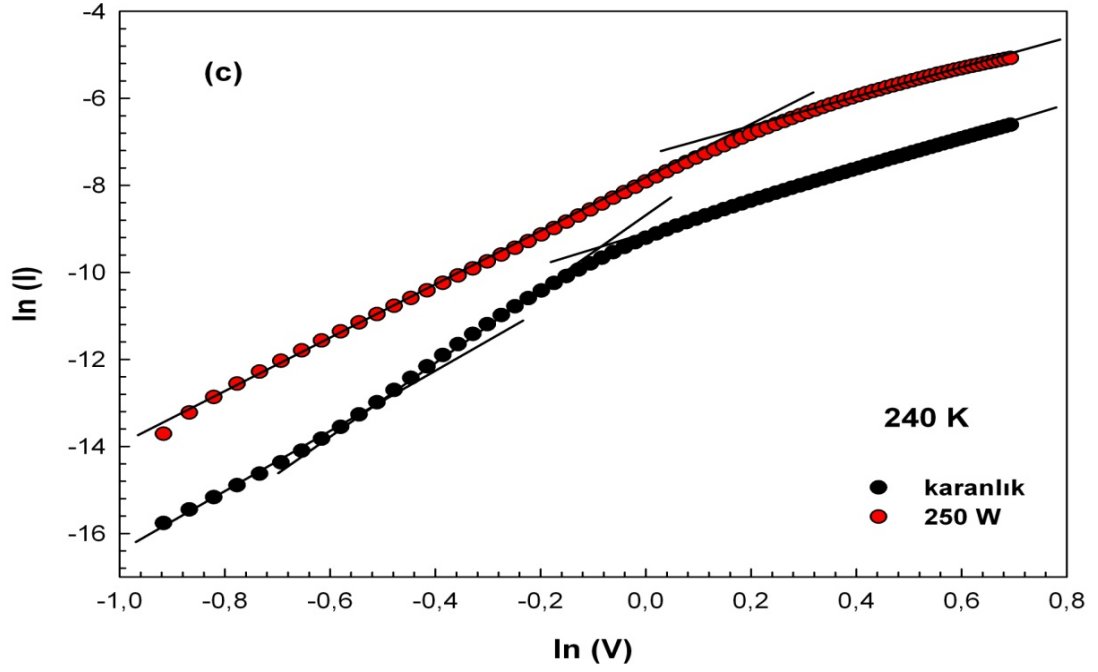
Au/PVA (Bi-doped)/n-Si SBDs yapının akım iletim mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti altında dört farklı sıcaklık (80, 160, 240 ve 320 K) için $\ln(I) - \ln(V)$ grafikleri şekil 4.4 (a)-(d) de gösterildi. $\ln(I) - \ln(V)$ grafiklerinde karanlıkta farklı eğimlerde üç farklı lineer bölge görülmektedir ki bunlar düşük orta ve yüksek doğru voltaj bölgelerinde farklı iletim mekanizmalarına sahiptirler. Karanlığın aksine 250 W da 320 K hariç düşük sıcaklıklarda iki farklı lineer bölge ve farklı eğimler mevcuttur. Bu davranış aydınlatma şiddeti altında ve sıcaklığın etkisiyle elektron hol çiftlerinin oluşumuna ve tuzakların dolup boşalmasına bağlıdır yani arayüzey durumlarının yeniden yapılanmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.4 (a)-(d) logaritmik I ya karşı logaritmik V grafikleridir. Buna göre akım $I \propto V^{m+1}$ ile verilen güç yasasına uygun bir davranış sergiler. Her bir grafikteki üs değeri farklı $(m+1)$ içindir. Yani üssün ikiden daha büyük olduğu güç yasası durumları üstel tuzak dağılımına sahip sınırlı-tuzaklanmış-yük akımlarının varlığına işaret eder. Çizelge 4.1'den görüleceği gibi, idealite faktörünün sıcaklığa bağımlılığının güçlü oluşu, akım mekanizmasının PVA (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotlarda organik tabak içinde meydana geldiğini gösterir. Bu durum ileri belsem akım mekanizmasının orta ve yüksek belsem rejimlerinin davranışlarının belirlenmesinde güçlü bir adaydır. Genel olarak düşük belsem bölgesinde (I) akım iletim mekanizması omik davranış sergiler ve bu durum bulkten üretilen taşıyıcıların oluşturduğu akımın, nüfus ettirilmiş serbest taşıyıcıların oluşturduğu akımdan daha baskın olmasına atfedilebilir. Orta belsem bölgesindeki (II) akım iletim mekanizması güç yasası ile karakterize edilebilir ve bu şekildeki bir davranış sınırlı-uzay-yük akım teorisine (SCLC) uyar. Bu durum, artan voltaj ile elektrottan nüfuz edilen serbest elektronların artmasının bir sonucudur. Nüfus ettirilen elektron sayısının artması tuzakların dolmasına ve uzay yüklerin oluşmasına sebep olur [38,43,44]. Yüksek belsem bölgesinde (III) nüfuz eden elektron sayısının artmasından dolayı elektronlar tuzaklardan kaçır ve sınırlı-uzay-yük akım teorisine katkıda bulunurlar [38,43-46]. Bu bölgede, diyot engeli içinden geçen akım başka bir işlem tarafından sınırlanmış

gibi görünür ve akımın değeri bu sınırlamanın Si bulk ya da omik kontakta kaynaklanan seri direnç etkisinden olmadığını ortaya çıkarır.

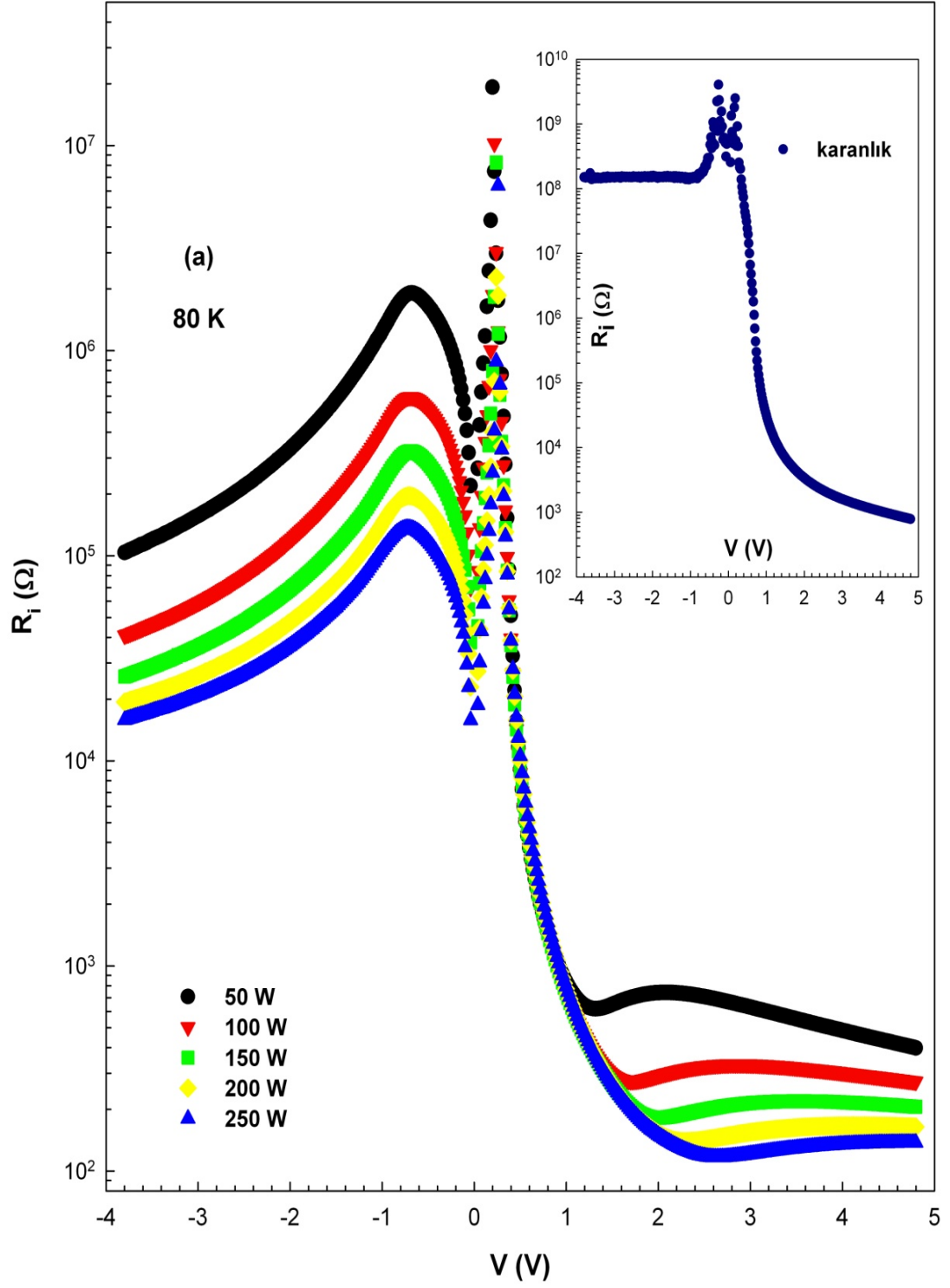


Şekil 4.4. Au polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti altındaki $\ln I$ - $\ln V$ eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K

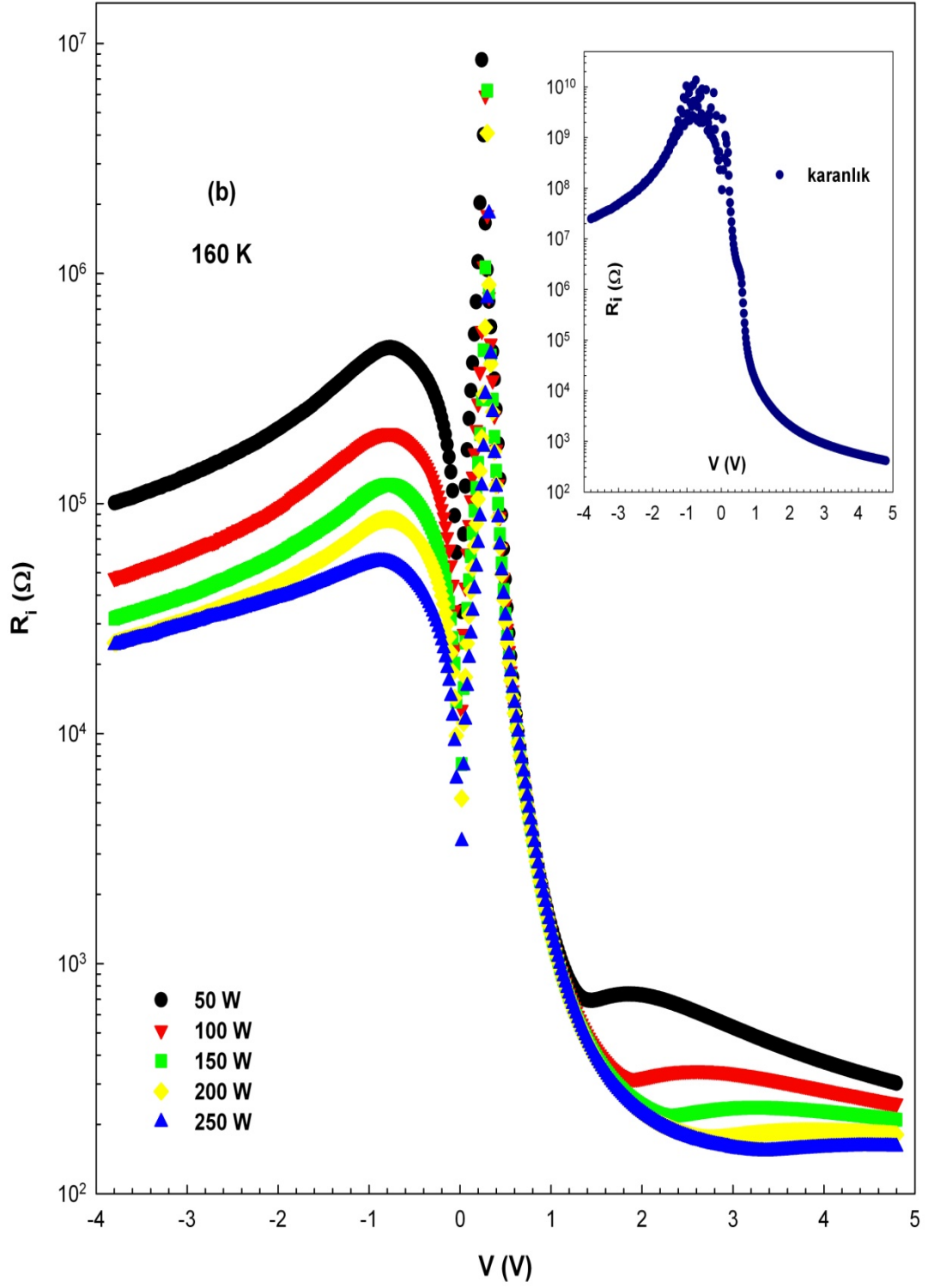


Şekil 4.4. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti altındaki $\ln I$ - $\ln V$ eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K

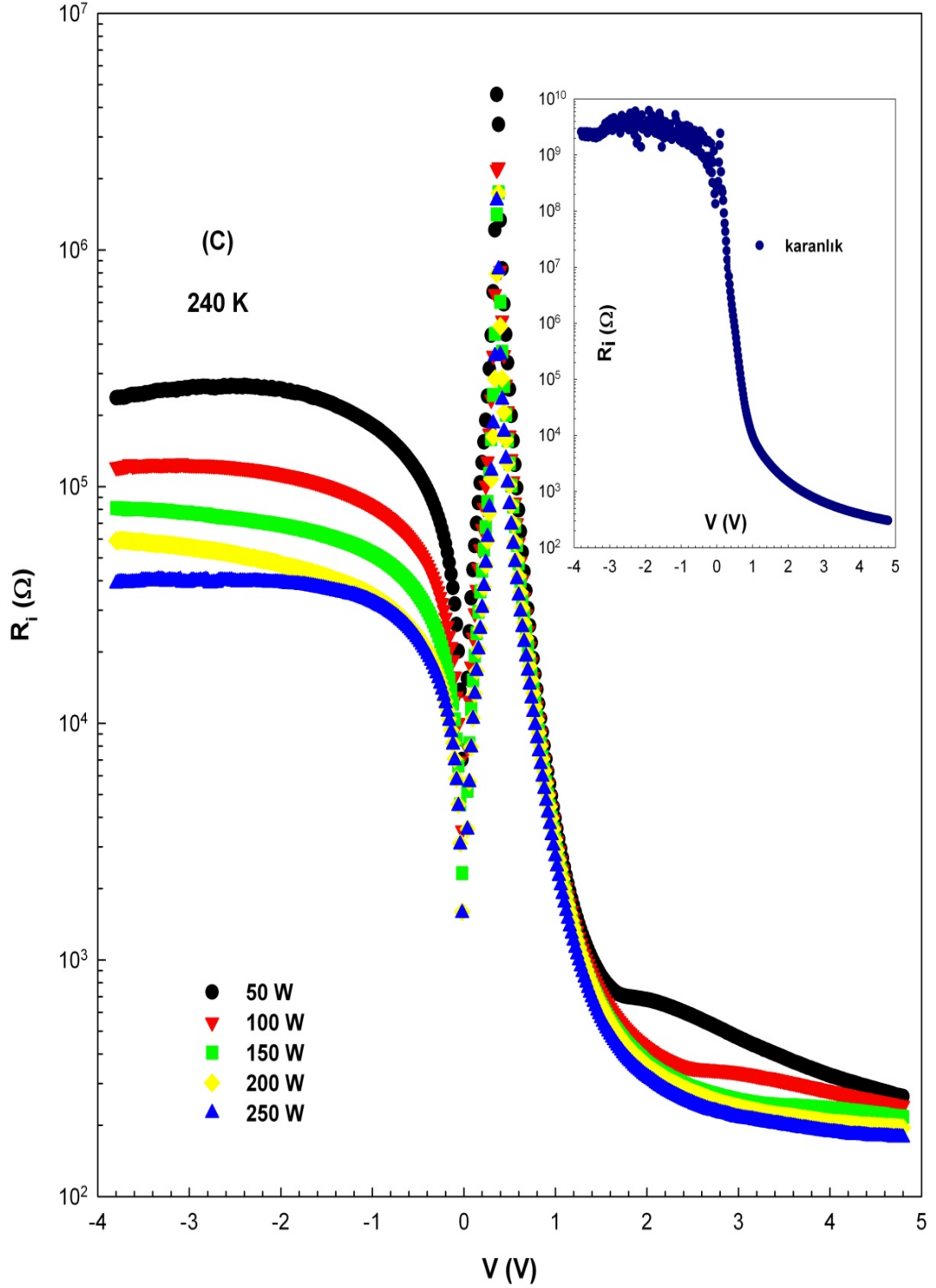
Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si SBD' un direncinin (R_i) aydınlatma şiddetine bağlı olarak voltaj ile nasıl değiştiğini göstermek amacıyla R_i değerleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında - 4 V ile +5 V aralığında Ohm yasasından hesaplandı. Karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen R_i - V eğrileri Şekil 4.4' de ve R_i - P eğrileri ise Şekil 4.5' de verildi. Şekillerden de görüldüğü gibi R_i değerleri hem voltaja hem de aydınlatma şiddetine bağlı olarak oldukça değişmektedir. Şekil 4.4' de 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. R_s ve R_{sh} değerleri artan aydınlatma şiddeti ile azalmaktadır. Şekil 4.5' de görüldüğü gibi yüksek voltaj değerleri için R_i değerinin artan aydınlatma şiddeti ile azalması beklenen bir davranıştır. Çünkü artan aydınlatma şiddeti ile valans bandındaki veya yasak enerji aralığındaki tuzaklarda bulunan taşıyıcıların çoğu $(hc/q\lambda)E_g$ durumunda iletim bandına uyarılarak öz iletkenlik (σ) veya iletkenliği (G) artıracak ve dolayısıyla özdirenci ($\rho = 1/\sigma$) veya direnci ($R = 1/G$) azaltacaktır. Yani n-Si tabakanın foto iletkenliği artar.



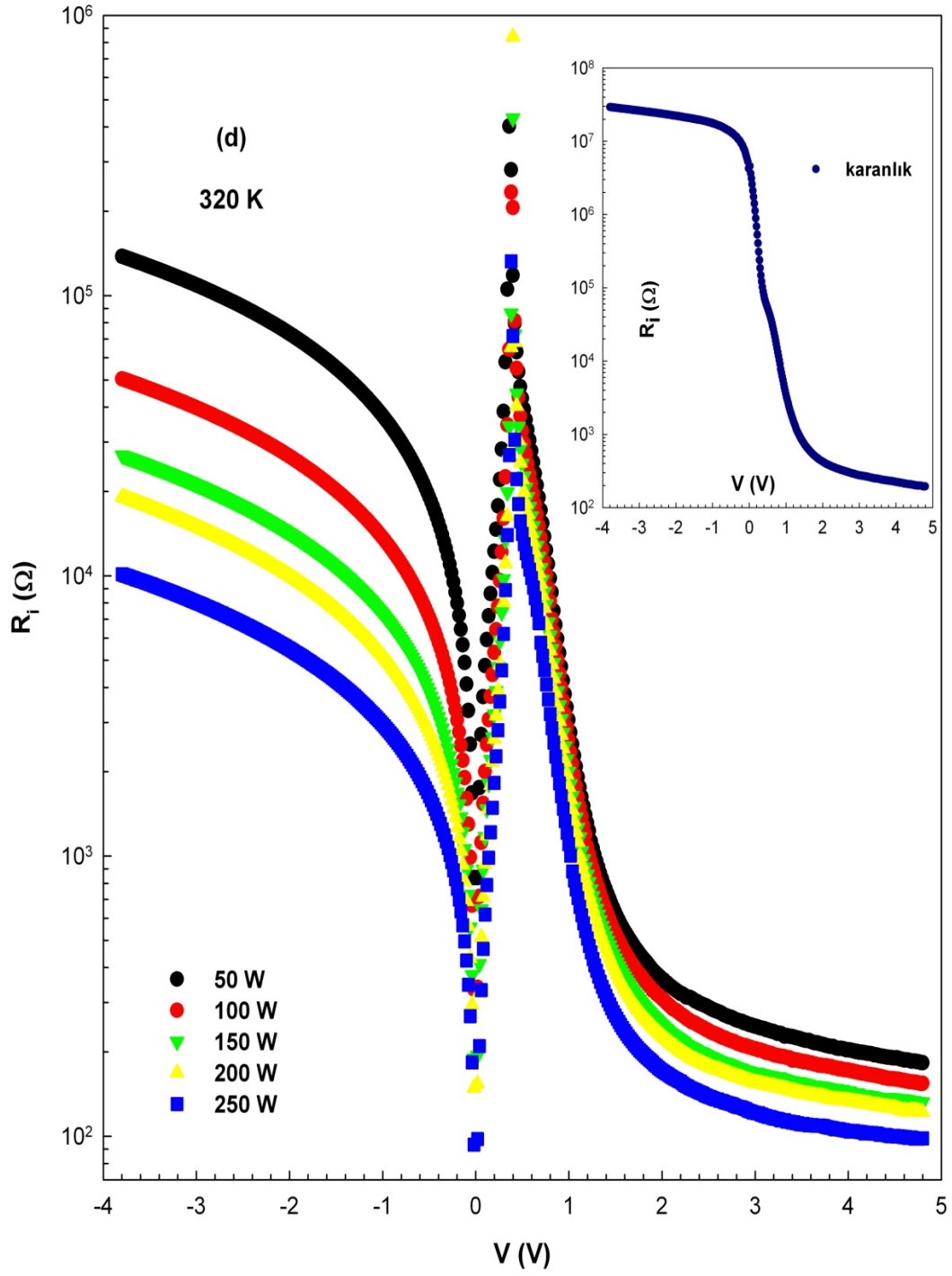
Şekil 4.5. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_i - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



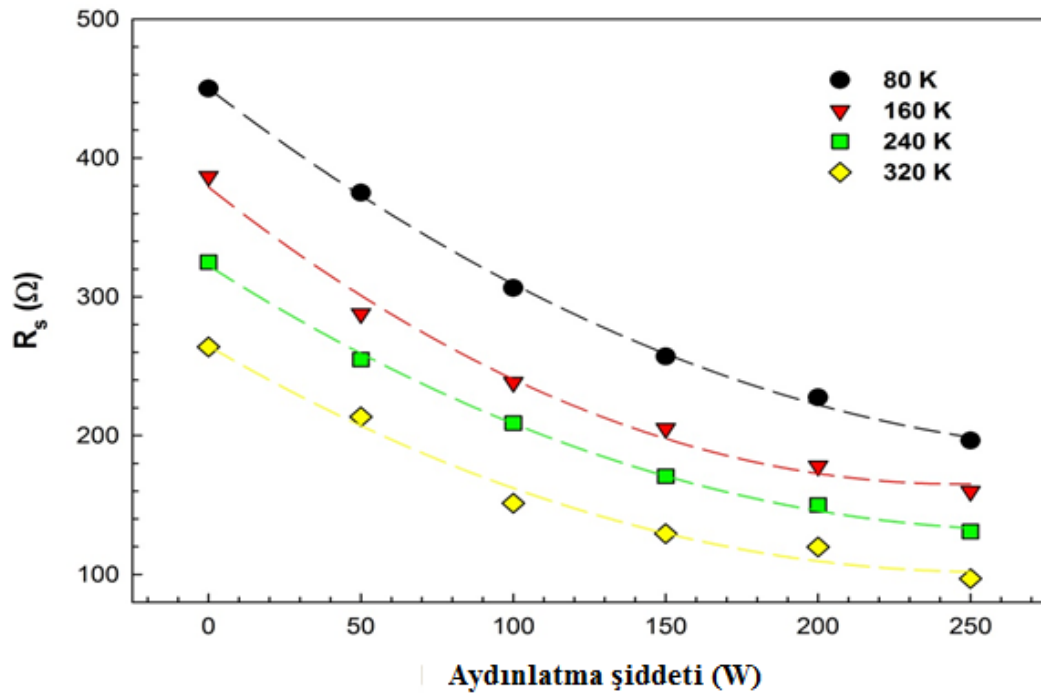
Şekil 4.5. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_d - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



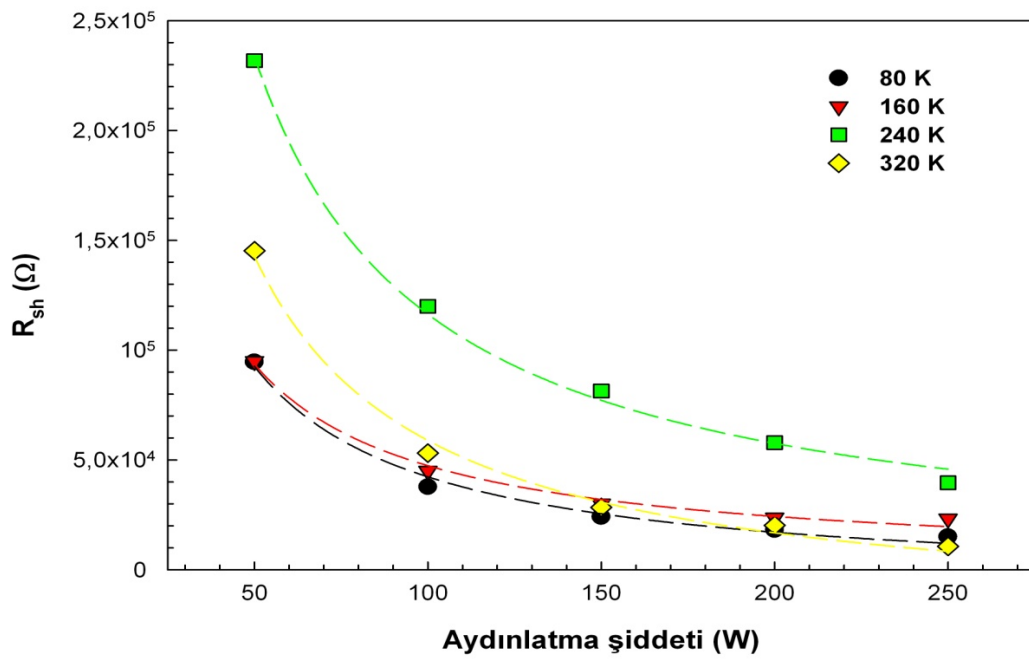
Şekil 4.5. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_i - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K



Şekil 4.5. (Devam) Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_d - V eğrileri (a) 80 K (b) 160 K (c) 240 K (d) 320 K

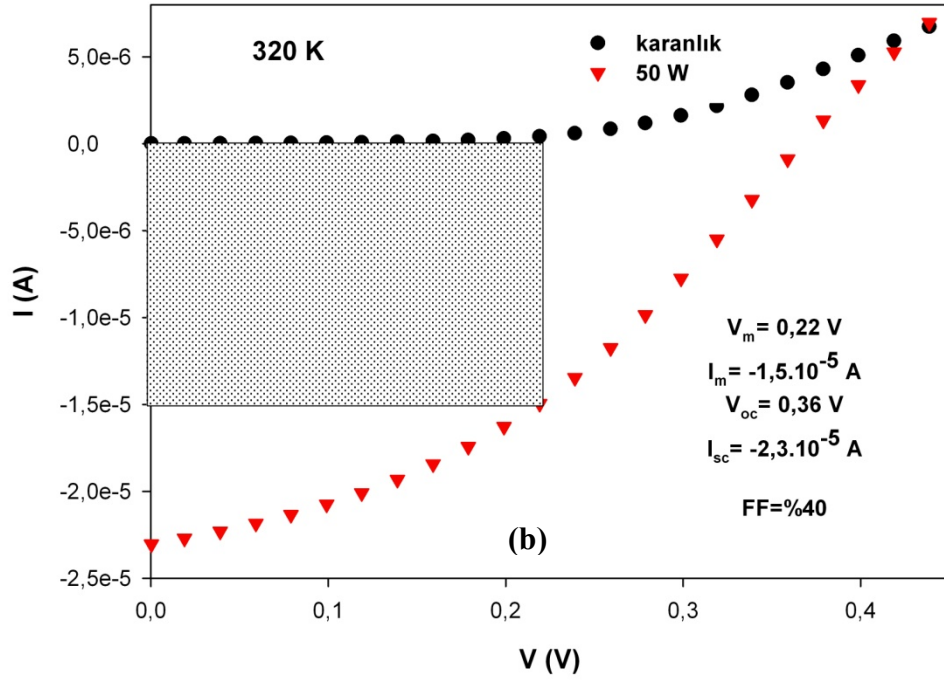
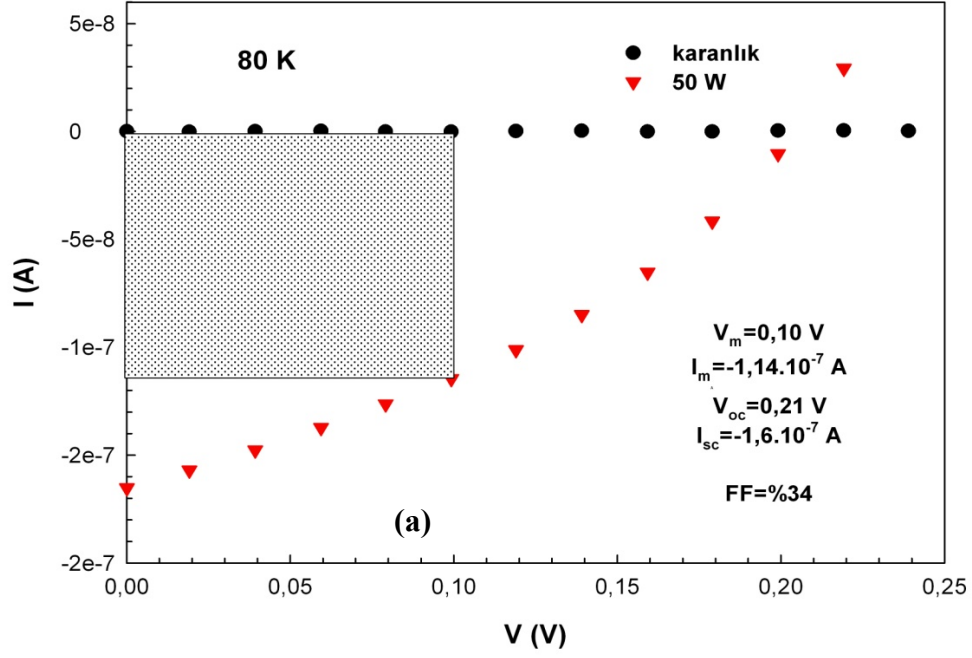


Şekil 4.6. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için R_s - P eğrileri



Şekil 4.7. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için R_{sh} - P eğrileri

Diyotun fotonik davranışını gözlemleyebilmek için karanlık ve 50 W aydınlatma şiddeti altında, 80 K ve 320 K sıcaklık da açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) değerleri belirlenerek dolum faktörü ($FF=V_m \times I_m$) hesaplandı ve fotoakım değerlerinin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu görüldü. Bu davranış artan aydınlatma şiddeti ile orantılı olarak metal-yarıiletken eklem bölgesinde daha çok sayıda elektron-hol çiftinin oluşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8. Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotu için karanlık ve 250 W aydınlatma şiddeti için verim eğrileri (a) 80 K (b) 320 K

SONUÇLAR

Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotların elektriksel karakteristikleri hem karanlık hem de beş farklı aydınlatma şiddeti (0-250 W) ile dört farklı sıcaklık (80, 160, 240, 320 K) da -4 V ile +5 V aralığında I - V ölçümleri alındı. I - V ölçümleri, aydınlatma şiddetine ve sıcaklığa bağlı olarak incelendi. Bu çalışmada özellikle aydınlatma şiddeti, sıcaklık, yapının seri direnci ve arayüzey durumları gibi temel diyot parametreleri üzerine etkisi araştırıldı. Doğru ve ters ön-gerilim I - V ölçümlerinden diyotun doyma akımı (I_o), metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}), idealite faktörü (n), seri ve kısa devre dirençleri (R_s ve R_{sh}) aydınlatma şiddetine bağlı elde edildi. Metal ile yarıiletken arasında büyütülen PVA tabakanın, seri direncin ve arayüzey durumlarının bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi incelendi.

Deneyisel I - V ölçümlerinden I_o , n ve Φ_{Bo} , gibi elde edilen temel diyot parametrelerinin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu gözlemlendi. Şekil 4.1' den de görüldüğü gibi, Schottky diyotun doğru ve ters ön-gerilim altındaki yarı-logaritmik $\ln I$ - V eğrileri dört farklı sıcaklık için karanlık ve tüm aydınlatma şiddetlerinde iyi bir doğrultma özelliği göstermektedir. Aynı zamanda doğrultma oranının aydınlatma şiddeti altında artan sıcaklık ile arttığı görülmektedir.

Doğru ön-gerilim altındaki $\ln I$ - V eğrileri; düşük ($V \leq 0,1$ V), orta ($0,1 \leq V \leq 0,8$ V) ve yüksek ($V \geq 0,8$ V) gerilim bölgesi olarak üç kısma ayrılabilir. Düşük gerilim bölgesinde kaçak akımları etkindir, orta gerilim bölgesinde $\ln I$ - V eğrileri lineer olup seri direncin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır ve yüksek gerilim bölgesinde ise $\ln I$ - V eğrileri seri direnç etkisinden dolayı lineerlikten saptığı görülmektedir. $\ln I$ - V eğrilerinin bu davranışı, R_s etkisinin düşük ve orta gerilim bölgelerinde ihmal edilebileceği fakat ileri ön-gerilim voltajları için R_s etkisinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Ohm yasası kullanılarak Schottky engel diyotun voltaja bağı direnci (R_i) elde edildi. 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. Elde edilen R_s ve R_{sh} değerleri artan aydınlatma şiddeti ile literatüre uygun olarak azalmaktadır. Çünkü artan aydınlatma şiddeti ile yarıiletkenin valans bandındaki veya tuzaklardaki yükler iletim bandına uyarılır ve iletkenliği artırır.

Artan aydınlatma şiddeti ile n değerlerin arttığı gözlemlendi çünkü metal-yarıiletken arayüzeyinde ki aydınlatma etkisiyle daha fazla enerji kazanan elektronlar, metal ile yarıiletken arasında oluşan daha düşük potansiyel engellerinden veya patikalardan (pinc-off) kolayca geçerek akımın artmasına sebep olurlar ve dolayısıyla bu durum idealite faktörünün artmasına neden olur.

Farklı aydınlatma şiddetleri için diyotun doğru ön-gerilim $\ln I-V$ eğrilerinden elde edilen deneysel n ve Φ_{Bo} değerleri arasında lineer bir ilişki mevcuttur. n değerinin ideal durumda 1 çıkması gerektiğini biliyoruz fakat bulduğumuz değerler 1 den farklıdır ve İdealite faktörünün tüm aydınlatma şiddetlerinde ve karanlıkta büyük çıkması, polimer arayüzey tabakasının ve arayüzey durumlarının varlığına, engel homojensizliğine ve seri direncin büyüklüğüne atfedildi.

Sonuç olarak Au/polivinil alkol (Bi-katkılı)/n-Si Schottky engel diyotlarının temel elektriksel parametrelerinin aydınlatma şiddetine ve sıcaklığa oldukça bağlı olduğu görülmektedir. diyotların doğrultma oranını ve kısa devre direncini Polimer arayüzey tabakası önemli ölçüde arttırırken seri direnci ise önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sharma, B.L., "Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications", **Plenum Press**, New York, 1-3 (1984).
2. Rhoderick, E.H., Williams R.H., "Metal Semiconductor Contacts", **Oxford Press**, 257-264 (1988).
3. Sze, S.M., K. Ng Kwok, "Physics of Semiconductor Devices 3rd ed.", **John Wiley & Sons**, New Jersey, 362-390 (2007).
4. Nicollian, E.H., Brews, J.R., "MOS Physics and Technology", **John Wiley & Sons**, New York, 40-175, 222-226, 423-439 (1982).
5. Uslu, H., "Au/(Co,Zn-katkılı) polivinil alkol/n-Si Schottky engel diyotların hazırlanması ve elektriksel özelliklerinin aydınlatma şiddetine bağlı incelenmesi" Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 15-45 (2010).
6. Bengi, S., "Au/PVA/n-Si (MIS) Schottky diyotların temel elektriksel parametrelerin sıcaklığa bağlı incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 8-20 (2009).
7. Soylu, M., Yakuphanoglu F., "Photovoltaic and interface state density properties of the Au/n-GaAs Schottky barrier solar cell", **Thin Solid Films**, 519:1950-1954 (2011).
8. Sakr, G.B., Yahia, I.S., "Effect of illumination and frequency on the capacitance spectroscopy and the relaxation process of p-ZnTe/n-CdMnTe/GaAs magnetic diode for photocapacitance applications", **Journal of Alloys and Compounds**, 503:213-219 (2010).
9. Uslu, H., Altındal, Ş., Aydemir, U., Dökme, İ., Afandiyeva, İ.M., "The interface states and series resistance effects on the forward and reverse bias $I-V$, $C-V$ and $G/\omega-V$ characteristics of Al-TiW-Pd₂Si/ n -Si Schottky barrier diodes", **Journal of Alloys and Compounds**, 503:96-102 (2010).
10. Bedeloglu, A., Demir, A., Bozkurt, Y., Sariciftci, N.S., "Photovoltaic properties of polymer based organic solar cells adapted for non-transparent substrate", **Renewable Energy**, 35:2301-2306 (2010).
11. Yakuphanoglu, F., Ocak, Y.S., Kılıçoğlu, T., Farooq, W.A., "Interface control and photovoltaic properties of n-type silicon/metal junction by organic dye", **Microelectronic Engineering**, 88:2951-2954 (2011).

12. Farag, A.A.M., "Influence of temperature and illumination on the characteristics of nanocrystalline Ga_{0.29}Al_{0.71}As based heterojunction prepared by MOCVD", *Journal of Alloys and Compounds*, 509:8056-8064, (2011).
13. Ocak, Y.S., Kulakcı, M., Turan, R., Kılıçoğlu, T., Gullu, O., "Analysis of electrical and photoelectrical properties of ZnO/p-InP heterojunction", *Journal of Alloys and Compounds*, 509:6631-6634 (2011).
14. Kassis, A., Saad, M., "Separation of solar cell current into its constituent parallel currents under illumination", *Renewable Energ.*, 34:965-969 (2009).
15. Farag, A.A.M., Yahia, I.S., Fadel, M., "Electrical and photovoltaic characteristics of Au/n-CdS Schottky diode", *Int. J. Hydrogen Energ.*, 34:4906-4913 (2009).
16. Farag, A.A.M., Ashery, A., Ahmed, E.M.A., Salem, M.A., "Effect of temperature, illumination and frequency on the electrical characteristics of Cu/p-Si Schottky diode prepared by liquid phase epitaxy", *J. Alloys Compd.*, 495:116-120 (2010).
17. Yakuphanoglu, F., "The current-voltage characteristics of FSS/n-Si heterojunction diode under dark and illumination", *Physica B.*, 388:226-229 (2007).
18. Yakuphanoglu, F., "Electronic and photovoltaic properties of Al/p-Si/copper phthalocyanine photodiode junction barrier", *Solar Energ. Mater. Solar Cells*, 91:1182-1186 (2007).
19. Yakuphanoglu, F., Şenkal, B.F., "Electrical conductivity, photoconductivity, and optical properties of poly (1,4-diaminoanthraquinone) organic semiconductor for optoelectronic applications", *Poly. Advanced Techn.*, 19:1193-1198 (2008).
20. Yakuphanoglu, F., Çağlar, M., Çağlar, Y., Ilıcan, S., "Electrical characterization of nanocluster n-CdO/p-Si heterojunction diode", *J. Alloys Compd.*, 506:188-193 (2010).
21. Yakuphanoglu, F., "Electrical and photovoltaic properties of cobalt doped zinc oxide nanofiber/n-silicon", *J. Alloys Compd.*, 494:451-455 (2010).
22. Akkal, B., Benamara, Z., Bouiadjra, N.B., Tizi, S., Gruzza, B., "Illumination dependence of I-V and C-V characterization of Au/InSb/InP (100) Schottky structure", *Appl. Surf. Sci.*, 253:1065-1070 (2006).
23. Özdemir, S., Altındal, Ş., "Temperature dependent electrical characteristics of Al/SiO_x/p-Si solar cells", *Solar Energ. Mater. Solar Cells*, 32:115-127 (1994).

24. Farag, A.A.M., El-Shazly, E.A.A., Rafea, M.A., Ibrahim, A., “Optical, electrical and photocoltaic characteristics of organic semiconductor based on oxazine/n-Si heterojunction”, *Solar Energ. Mater. Solar Cells*, 93:1853-1859 (2009).
25. Pakma, O., Serin, N., Serin, T., Altındal, Ş., “The double Gaussian distribution of barrier heights in Al/TiO₂/p-Si (metal-insulator-semiconductor) structures at low temperatures”, *J. Appl. Phys.*, 104:014501(1-6) (2008).
26. Chand, S., Bala, S., “Analysis of current-voltage characteristics of inhomogeneous Schottky diodes at low temperatures”, *Appl. Surf. Sci.*, 252: 358-363 (2005).
27. Zhu, S., Van Meirhaeghe, R.L., Detavernier, C., Cardon, F., Ru, G.P., Qu, X.P., Li, B.Z., “Barrier height inhomogeneities of epitaxial CoSi₂ Schottky contacts on n-Si (100) and (111)”, *Solid-State Electron.*, 44:663-671 (2000).
28. Sullivan, J.P., Tung, R.T., Pinto, M.R., Graham, W.R., “Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers: A numerical study”, *J. Appl. Phys.*, 70: 7403-7424 (1991).
29. Card, H.C., Rhoderick, E.H., “Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes”, *J. Phys D: Appl Phys.*, 4:1589-1601 (1971).
30. Altındal, Ş., “Al-SiO_x-pSi aygıtların ve güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 52-74 (1993).
31. Ray, W. P., Mabrook M.F., Nabok, A.V., “Transport mechanisms in porous silicon”, *J. Appl. Phys.*, 84:3232-3235 (1998).
32. Uslu, H., Altındal, Ş., Dökme, İ., “Illumination effect on electrical characteristics of organic-based Schottky barrier diodes”, *J. Appl. Phys.*, 108: 104501(1-6) (2010).
33. Marten, F.L., “Vinly Alcohol Polymers”, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, *John Wiley&Sons Inc.*, 1-16 (2000).
34. Balcı, H., “Akıllı (fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 35-36 (2006).
35. Hudait, M. K., Krupanidhi, S. B., “Interface states density distribution in Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge and n-GaAs substrates”, *Mater. Sci. Eng. B.*, 87:141 (2001).
36. Saxena, A.N., “Forward Current-Voltage Characteristics of Schottky Barrier on n-Type Silicon”, *Surface Science*, 13:151-171 (1969).

37. Tunç, T., Altındal, Ş., Uslu, İ., Dökme, İ., Uslu, H., “Temperature Dependent Current-Voltage (I-V) Characteristics of Au/n-Si (111) Schottky Barrier Diodes with PVA(Ni,Zn-doped) Interfacial Layer”, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 14:139 (2011).
38. Pakma, O., Serin, N., Serin, T., Altındal, Ş., “The Double Gaussian Distribution of Barrier Heights in Al/TiO₂/p-Si (metal-insulator-semiconductor) Structures at Low Temperatures”, *J. Appl. Phys.*, 104:014501 (2008).
39. Taşcıoğlu, İ., Aydemir, U., Altındal, Ş., “The explanation of barrier height inhomogeneities in Au/n-Si Schottky barrier diodes with organic thin interfacial layer”, *J. Appl. Phys.*, 108:064506 (2010).
40. Werner, J.H., Guttler, H.H., “Barrier inhomogeneities at Schottky contacts”, *J. Appl. Phys.*, 69:1552 (1991).
41. Sze, S.M., *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Ed. Willey & Sons, New York, 350-380 (1981).
42. Rhoderick, E.H., Williams, R.H., *Metal-Semiconductor Contacts*, Clarendon 2nd Ed. Oxford, 205-257 (1988).
43. Norde, H., “A modified forward *I-V* plot for Schottky diodes with high series resistance”, *J. Appl. Phys.*, 50:5052 (1979).
44. Cheung, S.K., Cheung, N.W., “Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics”, *Appl. Phys. Lett.*, 49:85 (1986).
45. Kang, W.P., Davidson, J.L., Gurbuz, Y., Kerns, D.V., “Temperature dependence and effect of series resistance on the electrical characteristics of a polycrystalline diamond metal-insulator- semiconductor diode”, *J. Appl. Phys.*, 78:1101 (1995).
46. Uslu, H., Altındal, Ş., Polat, İ., Bayrak, H., Bacaksız, E., “On the mechanism of current-transport in SnO₂/CdS/Cu structures”, *J. Alloys Compd.*, 509:5555 (2011).
47. Tung, R. T., “Numerical study of electrical transport in homogeneous Schottky diodes”, *J. Appl. Phys.*, 88:7366 (2000).
48. Hudait, M. K., Venkateswarlu, P., Krupanidhi, S. B., “Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at low temperatures”, *Solid-State Electron.*, 45:133 (2001).
49. Karataş, Ş., Altındal, Ş., Türüt, A., Özmen, A., “Temperature dependence of characteristic parameters of the H-terminated Sn/p-Si(1 0 0) Schottky contacts”, *Appl. Surf. Sci.*, 217:250 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇETİNKAYA, Hayriye Gökçen
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.01.1988 Ankara
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0505 831 63 06
e-mail : gokcen_ctnky@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik eğitimi	2010

Yabancı Dil

İngilizce