

**Au/n-GaAs METAL YARIİLETKEN KONTAKLARIN OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Döndü Eylül ERGEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2009
ANKARA**

Döndü Eylül ERGEN tarafından hazırlanan Au/n-GaAs METAL YARIİLETKEN KONTAKLARIN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

.....

Tez Danışmanı Fizik Bölümü

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

Prof. Dr. Necati YALÇIN

.....

Fen Bilgisi Öğretmenliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV

.....

Fizik Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

.....

Fizik Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: .../.../....

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

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.

D. Eylül ERGEN

**Au/n-GaAs METAL YARIİLETKEN KONTAKLARIN OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Döndü Eylül ERGEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2009**

ÖZET

Bu çalışmada, (111) yönelimli, 400 μm kalınlığında, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ taşıyıcı yoğunluğuna sahip n-tipi GaAs yarıiletken üzerine metal buharlaştırma metodu ile Au/n-GaAs yapılar oluşturuldu. Oda sıcaklığında karanlık ve aydınlıkta akım-gerilim (I-V) karakteristikleri, karanlıkta 10 KHz -1,2 MHz aralığındaki frekansa bağımlı sığa-gerilim (C-V) karakteristikleri incelendi. C-V ölçümlerinden arayüzey durum yoğunluğu değerleri hesaplandı ve frekansa bağlı olarak azaldığı görüldü. Hazırlanan bu yapıların 80K-380K sıcaklık aralığında akım-gerilim (I-V) özellikleri incelendi, idealite faktörü n , Schottky engel yüksekliği Φ_B ve diğer bazı diyot parametreleri hesaplandı. Oda sıcaklığında engel yüksekliği 0,644 eV, idealite faktörü ise 1,86 olarak bulundu. Sıcaklık artışıyla idealite faktörünün azaldığı, engel yüksekliğinin ise arttığı gözlemlendi. Ayrıca 1 MHz frekansta yukarıda belirtilen sıcaklık aralığında sıcaklığa bağlı sığa-gerilim (C-V) özellikleri incelendi. Bu verilerden difüzyon potansiyeli V_D , engel yüksekliği Φ_B , verici atomların yoğunluğu N_D , tüketim tabakası genişliği W_D hesaplandı. Oda sıcaklığında engel yüksekliği 0,91 eV olarak bulundu. Işık kaynağı kullanılarak farklı ışık kaynağı çıkış güçlerinde 5-250 W aralığında akım-gerilim (I-V) ölçümleri yapıldı. Bu ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak güneş pili parametreleri hesaplandı. Işık

kaynağından 250 W'lık çıkış gücü için doluluk faktörü 68,90 ve verim % 12,20 olarak bulundu. Schottky diyotların engel yüksekliği, idealite faktörleri farklı dalga boylarına sahip ışık filtreleri kullanılarak 50-250 W aralığında beş farklı ışık şiddeti için hesaplandı. Engel yükseklikleri ve idealite faktörlerinin ışık frekansı ile değiştiği gözlemlendi. 250 W çıkış gücü için tüm filtrelerde güneş pili parametreleri incelendi.

Bilim Kodu	: 404.05.01
Anahtar Kelimeler	: n-GaAs, Schottky engeli, idealite faktörü, güneş pili verimi
Sayfa Adedi	: 65
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Metin Özer

**INVESTIGATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF THE Au/n-
GaAs METAL SEMICONDUCTOR CONTACTS
(M.Sc. Thesis)**

Döndü Eylül ERGEN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2009**

ABSTRACT

In this study, Au/n-GaAs structures were prepared on n-type GaAs semiconductor with orientation (111) and having 400 μm thickness and carriers concentration of $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ by metal evaporation method. Characteristics of current-voltage (I-V) at room temperature under light and darkness and characteristics of capacitance-voltage (C-V) which is bound to frequency range of 10 KHz-1,2 MHz has been analyzed. Density of interface state values has been evaluated and it has been noticed that it decreases as frequency increases. Prepared structure's current-voltage (I-V) specifications have been analyzed under 80K-380K temperature changes and ideality factor n , Schottky barrier heights Φ_B and other related diode parameters has been evaluated. At room temperature, it has been calculated for barrier heights as 0,644 eV and for ideality factor as 1,86. It has been observed that ideality factor decreases barrier height increases as temperature increases. At 1 MHz frequency, capacitance-voltage (C-V) specifications with changing temperature have been analyzed. Using these data, diffusion voltage V_D , barrier height Φ_B , concentration of donor N_D and width of depletion layer W_D has been calculated. At room temperature barrier height value has been calculated as 0,91 eV. Current-voltage (I-V) has been measured with different output powers of 5-250 W using the Light Source. Solar cell parameters using data gathered from this

measurement has been evaluated. Fill factor has been found as 68,90 and efficiency as 12,20%, with the Light Source having 250 W of power output. Barrier heights and ideality factors of Schottky diodes have been analyzed using filters with different wavelengths in five different powers of light sources ranging from 50 to 250 W. It has been observed that barrier heights and ideality factor changes with changing light frequency. Solar cell parameters have been analyzed for 250 W of output power for all filters.

Science Code : 404.05.01

Key Words : n-GaAs, Schottky barrier, ideality factor, solar cell efficiency

Page Number : 65

Adviser : Assist. Prof. Dr. Metin Özer

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikirleri ve manevi katkısıyla bana yardımcı olup yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER'e teşekkür ederim.

Numune hazırlanmasında yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Tofig S. MAMMADOV'a ve yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım sayın hocam Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK ve Doç. Dr.Selim ACAR'a burada teşekkürlerimi sunmak isterim.

Deneyisel ölçümler sırasında yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarıma ve bilgilerinden yararlandığım herkese teşekkür ederim.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Elektriksel Karakterizasyon.....	3
2.1.1 Metal-yarıiletken (MS) kontaklar.....	3
2.1.2 Yüzey durumları ve yalıtkan bir arayüzey tabakasına sahip olan kontaklar.....	12
2.1.3 Metal/yarıiletken kontaklarda akım -iletim mekanizmaları.....	13
2.1.4 Schottky diyotlarında doğru beslem I-V karakteristikleri.....	16
2.1.5 GaAs in oda sıcaklığındaki ($T= 300\text{ K}$) bazı fiziksel parametreleri.....	17
2.2 Yarıiletken Güneş Pilleri.....	18
2.2.1 Yarıiletken güneş pillerinin çalışma prensipleri.....	18
2.2.2 Işık altında akım-iletim mekanizması.....	20
2.2.3 Verimi etkileyen faktörler.....	22
2.2.4 GaAs güneş pilleri.....	22

Sayfa

3. DENEYSEL YÖNTEM.....	24
3.1 Au/n-GaAs Yapıların Oluşturulması.....	24
3.1.1 Kristal temizleme.....	24
3.1.2 Omik kontakın oluşturulması.....	25
3.1.3 Doğrultucu kontakın oluşturulması.....	27
3.2 Kullanılan Ölçüm Düzenekleri.....	28
3.2.1 Akım-gerilim (I-V) ve sığa-gerilim (C-V) ölçüm düzeneği.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	31
4.1 Giriş.....	31
4.2 Elektriksel Karakterizasyon.....	31
4.2.1 Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri.....	31
4.2.2 Arayüzey durum yoğunluğunun hesaplanması.....	36
4.2.3 Kapasite-gerilim (C-V) karakteristikleri.....	38
4.3 Aydınlatma Karakteristikleri.....	43
4.4 Farklı Dalga Boylarındaki Filtreler İçin Işık Şiddetine Bağlı Akım Gerilim (I-V) Karakteristikleri.....	46
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	58
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Metal-yarıiletken kontaklarda malzemelerin iş fonksiyonlarına göre kontakların yapısı.....	5
Çizelge 2.2 Oda sıcaklığında GaAs'a ait bazı fiziksel parametreler.....	17
Çizelge 4.1 Au/n-GaAs diyot için 80K-380K sıcaklık aralığında elde edilen deneysel parametreler.....	33
Çizelge 4.2 Au/n-GaAs diyodun C-V karakteristiklerinden elde edilen deneysel parametreler.....	43
Çizelge 4.3 Au/n-GaAs diyodun I-V karakteristiklerinden elde edilen deneysel parametreler.....	45
Çizelge 4.4 Diyodun beyaz filtre ($300\text{ nm} < \lambda < 800\text{ nm}$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	49
Çizelge 4.5 Diyodun kırmızı filtre ($600\text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	50
Çizelge 4.6 Diyodun koyu kırmızı filtre ($300\text{ nm} < \lambda < 400\text{ nm}$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	50
Çizelge 4.7. Diyodun sarı filtre ($400\text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	51
Çizelge 4.8 Diyodun siyah filtre ($800\text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	51
Çizelge 4.9 Diyodun turuncu filtre ($700\text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.....	52
Çizelge 4.10 Diyodun 250 W çıkış gücünde tüm filtreler için hesaplanan deneysel parametreler.....	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Metal/yarıiletken kontağın şematik yapısı.....	3
Şekil 2.2 Metal ve yarıiletken malzemeler kontak yapılmadan önce, metal ve yarıiletken için Fermi enerjileri ve iş fonksiyonları. Her iki malzeme içinde vakum seviyesi aynıdır, fakat Fermi seviyeleri farklıdır.....	4
Şekil 2.3 Metal/n-tipi yarıiletken kontak için termal denge enerji –bant diyagramı.....	6
Şekil 2.4 Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için (a) doğru beslem ve (b) ters beslem altında enerji-bant diyagramı.....	9
Şekil 2.5 Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak enerji bant diyagramı. (a) Kontak oluşmadan önce metal ve yarıiletkenin enerji-bant diyagramı. (b) Kontak oluştuktan sonraki termal denge durumu.....	11
Şekil 2.6 Arayüzey durumlarına ve arayüzey tabakasına sahip metal-yarıiletken kontağın (a) kontak yapılmadan önce, ve (b) kontak yapıldıktan sonra enerji-bant diyagramı.....	13
Şekil 2.7 Metal/n-tipi yarıiletkende doğru beslem altında akım iletim mekanizması: (a) potansiyel engelin tepesini aşan elektronların iletimi, (b) elektronların kuantum mekaniksel tünellemesi, (c)Uzay yük bölgesinde birleşme, (d)doğal bölgede deşik enjeksiyonu.....	14
Şekil 2.8 GaAs kristal yapısı (çinko sülfür kristal yapısında).....	18
Şekil 2.9 Işık altındaki bir güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiği.....	22
Şekil 3.1 Omik kontak maskesi.....	26
Şekil 3.2 Omik ve doğrultucu kontak oluşturmakta kullanılan buharlaştırma sistemi.....	26
Şekil 3.3 Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.....	27
Şekil 3.4 Au/n-GaAs diyodun şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.5 Akım-gerilim ölçümleri için kullanılan düzenek.....	29
Şekil 3.6 Farklı ışık filtreleri ile akım-gerilim (I-V) ölçümleri için kullanılan düzenek.....	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. Işık kaynağının şeması.....	30
Şekil 4.1 Au/n-GaAs yapısının karanlıkta deneysel doğru beslem akım-gerilim karakteristikleri.....	32
Şekil 4.2 Sıfır beslem bariyer yüksekliğinin T ile değişimi.....	34
Şekil 4.3 İdealite faktörünün T ile değişimi.....	34
Şekil 4.4 Diyot idealite faktörünün $1000/T$ ile değişimi.....	35
Şekil 4.5 Diyodun sıcaklığa bağlı nT değişimi.....	36
Şekil 4.6 Ess-Ev)'nin fonksiyonu olarak arayüzey durumlarının sıcaklığa bağımlı yoğunluk dağılım profili.....	38
Şekil 4.7 Au /n-GaAs diyodun frekansa bağımlı sığa-gerilim karakteristikleri.....	39
Şekil 4.8 Au /n-GaAs diyodun oda sıcaklığında ara yüzey durum yoğunluğunun frekansa bağımlılığı grafiği.....	40
Şekil 4.9 Au/n-GaAs diyodu için 1 MHz frekansa farklı sıcaklıklar için $C^{-2} - V$ karakteristikleri.....	41
Şekil 4.10 Au/n-GaAs diyodun ışık şiddetine bağlı akım-gerilim (I-V) karakteristikleri.....	44
Şekil 4.11 Işık kaynağının 200 watt çıkış gücü için I-V grafiğinden güneş pilinin V_{oc} , I_{sc} , V_m , I_m değerlerinin bulunması.....	45
Şekil 4.12 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 50 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.....	47
Şekil 4.13 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 100 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.....	47
Şekil 4.14 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 150 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.....	48
Şekil 4.15 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 200 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 250 watt cihaz çıkış gücü için akım- gerilim karakteristikleri.....	49
Şekil 4.17 Oda sıcaklığında farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için idealite faktörü (n) ışık kaynağı çıkış gücü karakteristikleri.....	52
Şekil 4.18 Farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için potansiyel engel yüksekliği-ışık kaynağı çıkış gücü karakteristikleri.....	53
Şekil 4.19 Kırmızı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	53
Şekil 4.20 Siyah filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	54
Şekil 4.21 Beyaz filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	54
Şekil 4.22 Koyu kırmızı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	55
Şekil 4.23 Turuncu filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	55
Şekil 4.24 Sarı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.....	56
Şekil 4.25 250 watt çıkış gücünde tüm filtrelerin I-V karakteristikleri.....	57

RESİMLERİN LİSTESİ**Resim****Sayfa**

Resim 3.1 Elektriksel karakterizasyon için kullanılan deney düzeneği: Keithley 2400 elektrometre, Janes 475 kriyostat, Kriyostat için sıcaklık kontrolcüsü, HP 4192 LF empedans analizörü.....	28
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Diyotun etkin alanı
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Etkin Richardson sabiti
ac	Alternatif akım
C	Sığa
C_m	Güçlü akümülayon bölgesinde ölçülen sığa
C_{ox}	Yalıtkan oksit tabakanın sığası
d_{ox}	Yalıtkan oksit tabakanın kalınlığı
E_c	İletkenlik bant kıyısı enerjisi
E_g	Yasak bant aralığı
E_F	Fermi enerji seviyesi
E_{Fm}	Metalin Fermi seviyesi
E_{Fs}	Yarıiletkenin Fermi seviyesi
E_i	Saf yarıiletkenler için Fermi seviyesi
E_{ss}	Arayüzey durumlarının enerjisi
E_v	Valans bant kıyısı enerjisi
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
G	İletkenlik
G_m	Güçlü akümülayon bölgesinde ölçülen iletkenlik
I_0	Doyum akımı
I_{sc}	Güneş pilinin kısa devre akımı
I_{max}	Maksimum akım

Simgeler**Açıklama**

$J_{\max}$	Maksimum akım yoğunluğu
J_0	Doyum akım yoğunluğu
k	Boltzman sabiti
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
m_{hh}	GaAs için ağır deşik etkin kütlesi
m_{lh}	GaAs için hafif deşik etkin kütlesi
N_c	İletkenlik bandındaki efektif durum yoğunluğu
N_v	Valans bandındaki efektif durum yoğunluğu
n	Diyot idealite faktörü
N_A	Akseptör konsantrasyonu
N_D	Donor konsantrasyonu
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
f	Foton frekansı
W	Tüketim bölgesi genişliği
P_{in}	Güneş pili üzerine düşen ışığın gücü
$P_{\max}$	Maksimum güç
R_s	Seri direnç
T	Sıcaklık (K)
V_D	Engel tabakası boyunca gerilim düşmesi
V_i	Eklem (kontak) potansiyel farkı
$V_{\max}$	Maksimum gerilim
V_F	Doğru beslem gerilimi
V_R	Ters beslem gerilimi
$\Phi(C-V)$	Ters beslem C-V ölçümlerinden elde edilen potansiyel engel yüksekliği
Φ_B	potansiyel engel yüksekliği
$\Phi_B(I-V)$	Doğru beslem I-V ölçümlerinden elde edilen potansiyel engel yüksekliği
Φ_e	Etkin engel yüksekliği
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu

Simgeler Φ_s η π **Açıklama**

Yarıiletkenin iş fonksiyonu

Verim

Pi sayısı

Kısaltmalar**A****AE****Au****C-V****eV****FF****G/w-V****Hz****I-V****K****MS****MIS****nm****TAE****TE****TED****V** μ **Açıklama**

Amper

Alan Emisyonu

Altın

Sığa-gerilim ölçümleri

Elektron volt

Doluluk Faktörü

İletkenlik-gerilim ölçümleri

Hertz

Akım-gerilim ölçümleri

Kelvin

Metal-yarıiletken

Metal-yalıtkan-yarıiletken

Nanometre

Termiyonik Alan Emisyonu

Termiyonik Emisyon Teorisi

Termiyonik Emisyon Difüzyon Teorisi

Volt

Mikro

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) kontaklar son yıllarda yarıiletken ve optoelektronik teknolojilerinde yoğun bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Bunlar entegre devrelerde, ısı ve morötesi detektörlerinde, güneş pillerinde kullanılmaktadır.

Metal-yarıiletken eklemlerde, metal ile yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engel oluştuğunu ilk olarak Schottky ortaya atmıştır. Schottky engelli metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılar arasındaki fark arayüzeydeki yalıtkan tabaka kalınlığıdır. Yalıtkan tabaka, metal ve yarıiletken tabakaları birbirinden izole eder. Yalıtkan tabakanın kalınlığı yaklaşık 100 Å altında ise MIS yapı, üstünde ise MOS yapı oluşmaktadır [1,2]. Metal ve yarıiletken öyle seçilmelidir ki bu iki metalin iş fonksiyonları arasındaki fark eklemden bir boşalmış bölgenin oluşmasına ve dolayısıyla da yarıiletken yüzeyinin hemen altında bir elektrik alan oluşmasına sebep olsun. Böylece soğurulan fotonlar tarafından oluşturulan elektron-deşik çiftleri bu elektrik alan altında zıt yönde hareket ederek birbirinden ayrılırlar ve dış devredeki yük üzerinde fotoelektrik akımı sağlanmış olur. Işığın etkisi, ilk olarak 1939’ da Edmund Bequerel tarafından kaydedildi [3]. Bir metal ile yarıiletken arasında sıkı temas (kontak) sağlanırsa, ısısal denge kuruluncaya kadar aralarında taşıyıcı geçişleri olur. Metal- yalıtkan (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarda başlıca akım-iletim mekanizmaları; termiyonik emisyon, difüzyon, termiyonik emisyon-difüzyon, termiyonik alan emisyonu, alan emisyonu, azınlık taşıyıcı enjeksiyonu, üretilme-yeniden birleşme (generation-recombination) ve çok katlı tünellemelerdir [2,4,5]. Ancak, bunlardan hangi mekanizmanın baskın olduğunu belirlemek oldukça zordur. Bu nedenle değişik sıcaklıklarda yapılan akım-voltajın (I-V) deneysel ölçümlerden elde edilen bulgular ile hangi akım iletim mekanizmasının baskın olduğunun belirlenmesi mümkün olabilmektedir [6,7].

Yarıiletkenlerle yapılan optik çalışmalarda ilk olarak 1954’ de, CdS p-n üretilmiştir [8]. CdTe, InP, CdS ve GaAs gibi geniş yasak bant aralığına sahip yarıiletkenlerde

kuramsal ve deneysel çalışmalar devam etmektedir. Bu materyaller optoelektronik sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

GaAs, III-V yarıiletkenler grubunda olup, son zamanlarda özellikle optik özellikleri açısından deneysel çalışmalarda bu yarıiletken kullanılarak Schottky engelli yapılar incelenmektedir. GaAs direk bant aralığına sahip absorblayıcı bir yarıiletken olmasından dolayı optik özellikleri açısından belirli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada, Au/n-GaAs diyotlar vakumda metal buharlaşma metodu ile hazırlandı. Hazırlanan bu diyotlar fotovoltaiik özellik gösterdiği için güneş pili özellikleri incelendi. Oda sıcaklığında karanlık ve aydınlıkta I-V karakteristikleri, aydınlıkta 10 KHz -1.2 MHz aralığındaki frekanslarda C-V karakteristikleri incelendi. 1MHz frekanstaki C-V ve G/ω -V ölçümlerinden faydalanılarak temel parametreler hesaplandı. Karanlıkta 80–380 K sıcaklık aralığında I-V ve C-V karakteristikleri incelendi temel parametreler hesaplandı. Işık kaynağının çıkış gücü değiştirilerek 50–250 watt aralığında I-V ölçümleri yapıldı, güneş pili parametreleri hesaplandı. Ayrıca hazırlanan yapının optik özelliklerini belirlemek için farklı optik filtreler kullanıldı. Işık kaynağının çıkış gücü değiştirilerek I-V ölçümleri yapıldı, temel parametreler hesaplandı. 250 watt çıkış gücünde tüm filtreler için güneş pili parametreleri incelendi.

Tezde, Bölüm 2’ de yarıiletkenler, MS, MIS yapılar ve bu yapılarda ışığın yarıiletkenle etkileşmesi, güneş pilleri hakkında genel bilgiler verildi. Bölüm 3’ de Au/n-GaAs numunesinin yapım aşamaları ve kullanılan ölçüm sistemleri anlatıldı. Bölüm 4’ de elde edilen deneysel sonuçlarla ilgili grafikler ve tablolar verildi. Bölüm 5’ de ise elde edilen sonuçlar tartışıldı.

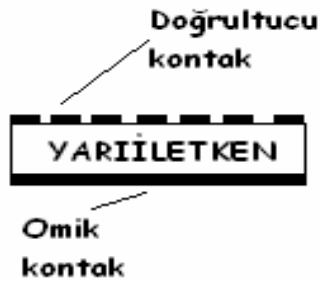
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Elektriksel Karakterizasyon

2.1.1. Metal-yarıiletken (MS) kontaklar

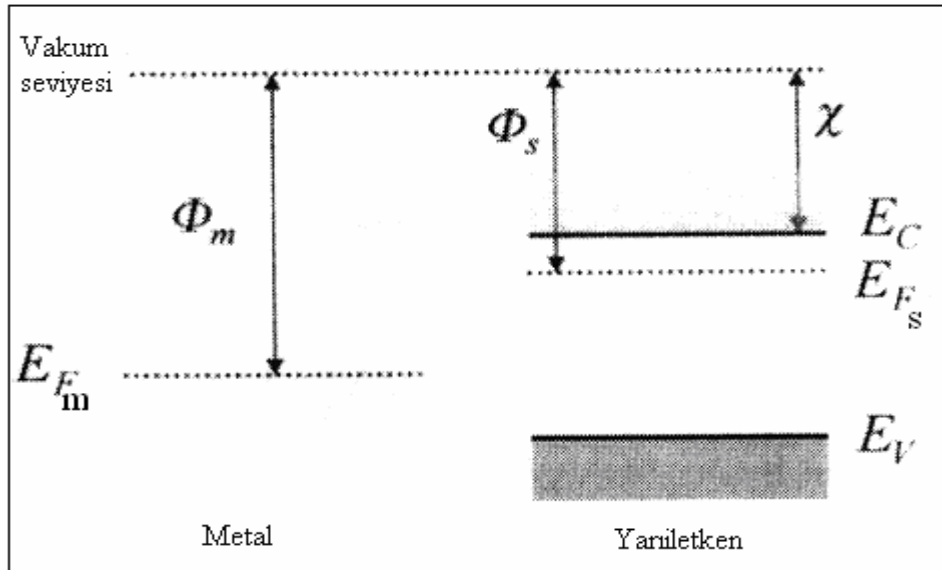
Metal malzeme ile yarıiletken malzeme temas edildiğinde, metal ile yarıiletkenin Fermi seviyeleri arasındaki farkın dengelenebilmesi için bantlarda bir miktar bükülme meydana gelir. Metalden yarıiletkene, yarıletkenden metale elektron geçişi (difüzyon); metal ile yarıiletkenin Fermi enerji düzeylerinin eşit olduğu termal denge durumuna kadar devam eder [2]. Böylece metal-yarıiletken arayüzeyinde yüklerin ayrılmasıyla yeni bir yük dağılımı sonucunda bir potansiyel engeli oluşur. Arayüzey bölgesi, yarıiletken tarafında oluşan ve hareketli yüklerin olmadığı yüksek dirençli bir bölgedir. Elektronların metal-yarıiletken eklem boyunca akışı, p-n eklemlerde meydana gelen yük transferine benzerdir. Bu tipteki eklemler, metal kontak olarak adlandırılırlar [9]. Metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, metal ile yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engel oluştuğunu ilk olarak Schottky, eklemde oluşan bu potansiyelin metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını ise Mott açıklamıştır. Schottky-Mott teorisine göre potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır [10].

Metal/yarıiletken (MS) kontak yapıldığında, malzemelerin iş fonksiyonlarına göre kontaklar doğrultucu kontak veya omik kontak olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 2.1’de metal/yarıiletken kontakların şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Metal/yarıiletken kontak şematik yapısı.

İş fonksiyonu bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerjidir. Yada daha basit bir tanımla, vakum seviyesi ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Metal için iş fonksiyonu Φ_m (eV) ile verilir ve yarıiletkenin iş fonksiyonuna, $\Phi_s = q(\chi_s + \Phi_n)$ eşittir [1]. Yarıiletkenin Fermi seviyesi katkı miktarına göre değiştiği için, Φ_s değişken bir niceliktir. $q\chi_s$ terimi elektron ilgisidir ve iletkenlik bandının tabanındaki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanır. Vakum seviyesi ise, metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi ya da başka bir söyleyişle katının dışında durgun olan bir elektronun enerjisini temsil eden uzay seviyesidir ve referans seviyesi olarak kabul edilir. $q\Phi_n$ ise iletkenlik bandı kenarı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Şekil 2.2’de metal ve yarıiletken malzemeler kontak edilmeden önceki enerji-bant diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Metal ve yarıiletken malzemeler kontak yapılmadan önce, metal ve yarıiletken için Fermi enerjileri ve iş fonksiyonları. Her iki malzeme içinde vakum seviyesi aynıdır, fakat Fermi seviyeleri farklıdır.

Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s 'de yarıiletkenin iş fonksiyonu olarak düşünülürse, Çizelge 2.1’de metal ve yarıiletken malzemeler kontak edildiklerinde, bu malzemelerin iş fonksiyonlarına göre kontakların yapısı özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Metal-yarıiletken kontaklarda malzemelerin iş fonksiyonlarına göre kontakların yapısı.

	Yarıiletken	Eklem
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Schottky (Doğrultucu)
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Schottky (Doğrultucu)
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik

İdeal metal-yarıiletken kontakta Schottky-Mott teorisi

Yalıtkan ve yarıiletken kristallerin elektriksel özelliklerinin incelenebilmesinin bir yolu da kristale uygun kontakların yapılmasıdır. Oluşturulan kontağın ideal olması için, kontak yapılacak iki maddenin minimum dirençle temas etmesi ve kontak malzemelerinin yüzeylerinin yeterli derecede temiz ve pürüzsüz olması gerekmektedir [2].

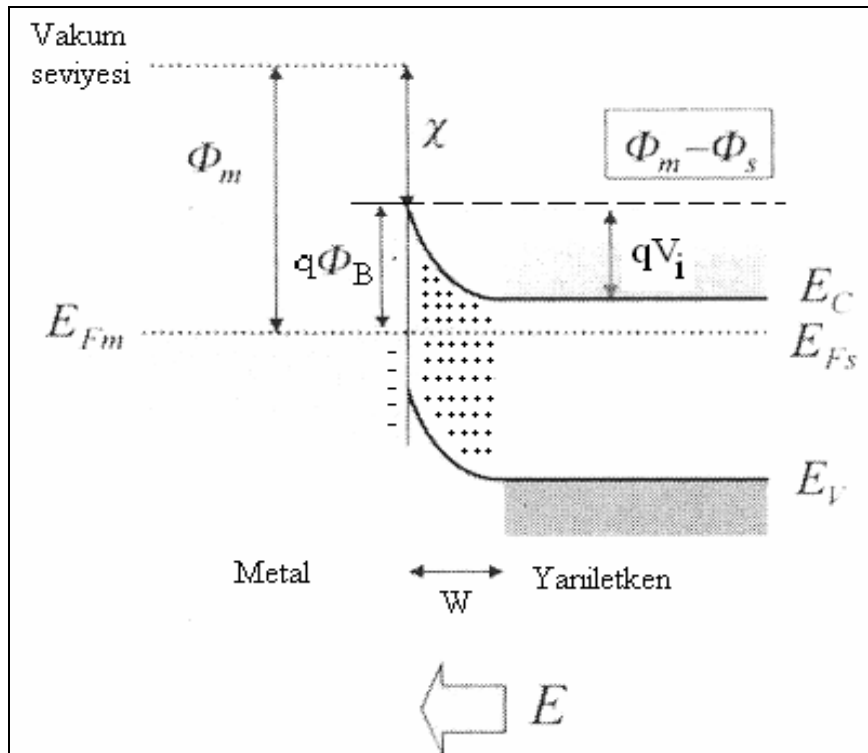
MS kontak yapıldığında her iki malzemeye ait Fermi seviyelerinin dengelenebilmesi için bantlarda bir miktar bükülme meydana gelir ve elektron akışının yönü metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farka bağlıdır.

Metal/n-tipi yarıiletken kontak yapıldığını varsayalım. Eğer $\Phi_m > \Phi_s$ durumu söz konusu ise yani iletkenlik bandındaki elektronlar metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahiplerse, elektron akışı, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesine eşit olana kadar devam eder. Metale geçen elektronlar yarıiletkende pozitif yüklü verici safsızlık atomları bırakırlar ve böylece yarıiletkenin arayüzeye yakın bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu (hareketli yükler) azalır. İletkenlik bant kenarı E_c ile Fermi seviyesi E_{Fs} arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile

arttığı ve termal dengede E_{Fs} tamamen serbest kaldığı için iletkenlik ve valans bant kenarları yukarıya doğru bükülür (Şekil 2.3).

Yarıiletkenin iletkenlik bandından metale geçen elektronlar nedeniyle, yarıiletkende metale yakın arayüzeyde elektronlardan arınmış pozitif yüklü uzay yükü bölgesi meydana gelir. Bu tüketim bölgesinin (arınmış bölge) genişliği W 'dır [11]. Tükenmiş yüklerin büyüklüğüne eşit miktardaki elektron yükü metal-yarıiletken arayüzeyinde metal tarafında görülür. Bu yük çok ince bir tabakada yer alır. Bu şekildeki bir dağılım “yük tabakası” olarak adlandırılır.

Özet olarak yarıiletkenden metale geçen elektronlar, metalde arayüzeyden Thomas-Fermi film mesafesi ($\approx 0.5 \text{ \AA}$) kadar uzaktaki ince bir yük tabakası ve elektronların yarıiletkende bıraktığı pozitif yüklü vericilerde yarıiletkende W kalınlığına sahip pozitif yüklü bir bölge oluşturur. Sonuç olarak yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alan kurulur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Metal/n-tipi yarıiletken kontak için termal denge enerji –bant diyagramı.

Şekil 2.3'deki enerji-bant diyagramından görüldüğü gibi, yarıiletkenin bant aralığı, elektron ilgisi ve metalin iş fonksiyonunun değişmediği kabul edilir. Kontak yapıldıktan sonra yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesi ile dengelenmek için yarıiletkenden metale elektron akışından dolayı azalacaktır. Yasak bant aralığı (E_g) kontak sebebiyle değişmediği için E_v valans bant kenarı E_c iletkenlik bant kenarına paralel olarak kayacaktır. Yarıiletkenin elektron ilgisi de kontak sebebiyle değişmediği için yarıiletkenin vakum seviyesi de E_v valans bant kenarı ve E_c iletkenlik bant kenarına paralel olarak kayacaktır. Böylece termal dengedeki metal-yarıiletken sistemde, engel yüksekliğini belirlemek için önemli bir nokta olan geçiş bölgesinde vakum seviyesinin sürekli olması sağlanmış olur.

Metal ve yarıiletken malzemelerin Fermi seviyelerinin aynı hizada olmasından ve tüketim bölgesinin ortaya çıkmasından dolayı bantlarda bükülme meydana gelir ve bu bükülme potansiyel engeli V_i ile ilişkilidir. Schottky-Mott modeline göre potansiyel engel, iki malzemenin iş fonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır [10] ve şu şekilde verilir:

$$qV_i = (\Phi_m - \Phi_s) \quad (2.1)$$

Burada V_i eklem yada kontak potansiyel farkı olarak bilinir ve birimi voltur (V). qV_i yarıiletkenden metale akan elektronların sahip olması gereken enerji yani elektronların geçmesi gereken engel yüksekliğidir.

Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak ($\Phi_s < \Phi_m$)

Metalde bulunan elektronlar [12],

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.2)$$

ile verilen yükseklikteki bir potansiyel engel görürler (Şekil 2.3).

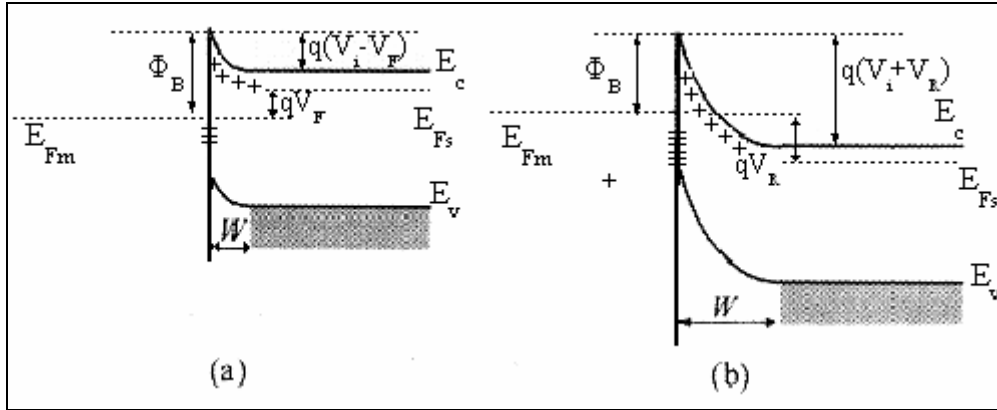
$$\left. \begin{aligned} \Phi_s &= (\chi_s + \Phi_n) \\ \Phi_m &= qV_i + \Phi_s \\ \Phi_n &= E_c - E_F \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.3)$$

Φ_B için Eş.2.3 elde edilir. Burada q elektronik yüküdür. Eş.2.3, birbirlerinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir.

Potansiyel engelinin tam biçimi, uzay yük bölgesindeki yük dağılımından hesaplanabilir. Oda sıcaklığında potansiyel engeli kT/q 'dan büyüktür ve çok az sayıdaki elektron bu engeli atlamak için yeterli enerjiye sahiptir. Yarıiletkenin uzay yükü bölgesi hareketli yüklerden yoksun, yüksek dirençli yalıtkan bir tüketim bölgesi olmaya başlar. Bu sabit uzay yükleri için elektrik alanın büyüklüğü, uzay yük tabakası kenarından olan uzaklıkla lineer olarak artar, bunun sonucu olarak engel yüksekliği paraboliktir (Schottky engeli). Mott, yarıiletkende yüklerin bulunmadığı ince bir tabaka kabul eder. Bu ince bölgede elektrik alanın büyüklüğü sabittir ve potansiyel, bölge boyunca lineer olarak artar (Mott engeli). Mott engeli, yüksek katkılanmış yarıiletken ile metal arasına az katkılanmış ya da özgül bir yarıiletken konulduğu zaman kullanılır.

Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağa gerilim uygulanması

Metal/n-tipi yarıiletken kontak yapıldığında, termal denge durumunda yarıiletkenden metale geçen elektronların yarattığı akım (I_{sm}), metalden yarıiletkene geçen elektronların yarattığı akım (I_{ms}) ile dengelenir ve böylece net bir akım oluşmaz. Şekil 2.4'de metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağa bir gerilim uygulandığındaki enerji-bant diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için (a) doğru beslem ve (b) ters beslem altında enerji-bant diyagramı.

Yarıiletkenin tüketim bölgesi çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için, bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötral kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir ve uygulanan dış voltajın tamamı bu bölgeye düşer. Uygulanan gerilim termal denge bant diyagramını değiştirir. Bu değişim, tüketim bölgesine düşen potansiyelin değişmesiyle ve bant bükülmelerindeki değişiklik nedeniyle oluşur.

Eğer kontağa bir doğru gerilim, $V=V_F$, uygulanırsa yarıiletken tarafındaki potansiyel engeli qV_i 'den $q(V_i - V_F)$ 'ye azalır (Şekil 2.4a). Böylece yarıiletkendeki elektronlar azalmış bir engel görecekler, sonuç olarak yarıiletkenden metale elektron akımı termal denge değerine göre artacaktır. Metalde herhangi bir gerilim düşmesi olmadığı için, metalden yarıiletkene elektron akımı termal denge değerine göre değişmez. Sonuç olarak yarıiletkenden metale doğru olan net bir elektron akımı gözlemlenir. Doğru beslem akımı, uygulanan V_F voltajı ile üstel olarak artar [2].

Eğer kontağa ters bir gerilim, $V=-V_R$, tüketim bölgesindeki potansiyel engeli qV_i 'den $q(V_i + V_R)$ 'ye artar (Şekil 2.4b). Böylece yarıiletkenden metale doğru olan elektron akımı termal denge durumuna göre azalırken, metalden yarıiletkene doğru olan elektron akımı değişmez kalır. Yarıiletkenden metale doğru elektron akışı termal denge durumuna göre azalır. Böylece bu tipte akım iletim mekanizmasına sahip olan kontaklar, tek yönde akım ileten doğrultucu kontak olur.

Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak ($\Phi_s > \Phi_m$)

Metal/p-tipi yarıiletken kontaklar metal/n-tipi yarıiletken kontaklarla benzer şekilde açıklanabilir. Fakat aralarında çok önemli bir fark bulunmaktadır: p-tipi yarıiletkenler için elektronlar azınlık taşıyıcılarıdır ve akım deşikler tarafından yaratılır.

Metal/p-tipi MS kontak yapıldığında, termal denge kuruluncaya, her iki malzemenin Fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar, metalden yarıiletkene bir elektron akışı olur. Yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesi ile dengelenmek için metalden yarıiletkene elektron akışından dolayı ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yükselir.

Yasak bant aralığı (E_g) kontak sebebiyle değişmediği için E_v valans bant kenarı E_c iletkenlik bant kenarına paralel olarak yukarıya doğru kayacaktır. Yarıiletkenin elektron ilgisi de kontak sebebiyle değişmediği için yarıiletkenin vakum seviyesi de E_v valans bant kenarı ve E_c iletkenlik bant kenarına paralel olarak kayacaktır. Böylece termal dengedeki metal-yarıiletken sistemde, engel yüksekliğini belirlemek için önemli bir nokta olan geçiş bölgesinde vakum seviyesinin sürekli olması sağlanmış olur.

Metal ve yarıiletken malzemelerin Fermi seviyelerinin aynı hizada olmasından ve tüketim bölgesinin ortaya çıkmasından dolayı bantlarda aşağıya doğru bir bükülme meydana gelir (Şekil 2.5b). Yarıiletkene geçen elektronlar, metal-yarıiletken arayüzeyinde metal tarafında pozitif yüklü bir tabaka oluştururlar ve yarıiletkenin metale bakan sınırında deşiklerle birleşirler.

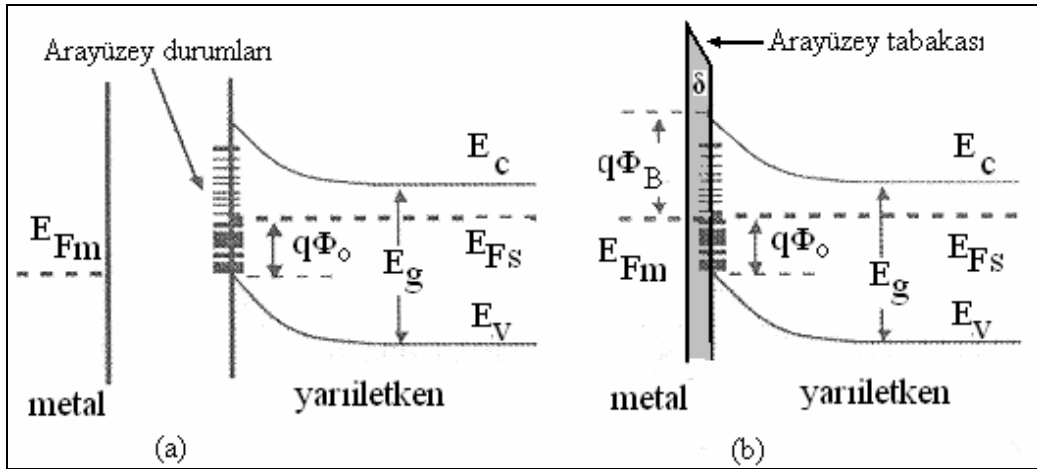
2.1.2. Yüzey durumları ve yalıtkan bir arayüzey tabakasına sahip olan kontaklar

Birçok metal-yarıiletken kontakta, yüzeye metal çöktürülmeden önce, yarıiletken yüzeyi kimyasal olarak temizlenir. Yarıiletken yüzeyinde ince bir doğal oksit tabakası oluşur ya da isteğe bağlı olarak yüzeyde ince bir oksit tabakası oluşturulabilir. Bu tabakanın kalınlığı δ , yüzey temizleme metotlarına bağlı olarak iyi bir Schottky kontakta 20 Å'dan daha az olmalıdır.

Yarıiletkenin gövde yapısındaki safsızlıklardan ya da kusurlardan dolayı arayüzeyde, kristalin periyodik doğasında bozulmalar olur ve arayüzey yakınında, yarıiletkenin bant aralığında bulunan izinli seviyelerinde oldukça fazla sayıda bir artış meydana gelir. Bu seviyelere “arayüzey durumları” ya da “arayüzey tuzakları” denir. Enerji değerleri E_v 'den E_c 'ye değişir ve eğer Fermi seviyesinin altındalarsa, elektronlar tarafından doldurulur [11].

Arayüzey durumlarına ve arayüzey tabakasına sahip olan kontaklar genellikle yarıiletken aygıtlarda görülür ve yüzey durumları ve arayüzey tabakasına sahip metal-yarıiletken kontakların genel analizi ilk olarak Cowley ve Sze [13] tarafından yapılmıştır. Bu kontakların detaylı bir şekilde açıklaması ise Northrop ve Rhoderick [14,15] tarafından verilmiştir. Arayüzey durumlarına ve oksit arayüzey tabakasına sahip bir kontağın enerji bant diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Fermi seviyesi sistem boyunca aynı hizadadır ve vakum seviyesi arayüzeyde süreklidir. Şekil 2.6b'de kontak yapıldıktan sonra arayüzey durumlarına ve arayüzey tabakasına sahip metal-yarıiletken kontağın enerji-bant diyagramı gösterilmiştir. Arayüzey oksit tabakasında potansiyel lineer olarak düşer, çünkü bu tabaka yüklerin bulunmadığı yalıtkan bir tabaka olarak kabul edilir. Yalıtkanın iletkenlik bandı alt sınırının vakum seviyesinin altında olduğu kabul edilir. Arayüzey tabakası yeterince ince olursa ($\delta < 20\text{Å}$), tabaka boyunca potansiyel düşmesi, yarıiletkenin tüketim tabakasına göre ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Böyle ince bir tabaka elektronların tünelleme yapmasına da izin verir. Bu sebeplerden dolayı Φ_B engel yüksekliği ve V_i kontak potansiyel farkı, ince bir arayüzey tabakasının varlığından etkilenmez.



Şekil 2.6 Arayüzey durumlarına ve arayüzey tabakasına sahip metal-yarıiletken kontağın (a) kontak yapılmadan önce, ve (b) kontak yapıldıktan sonra enerji-bant diyagramı.

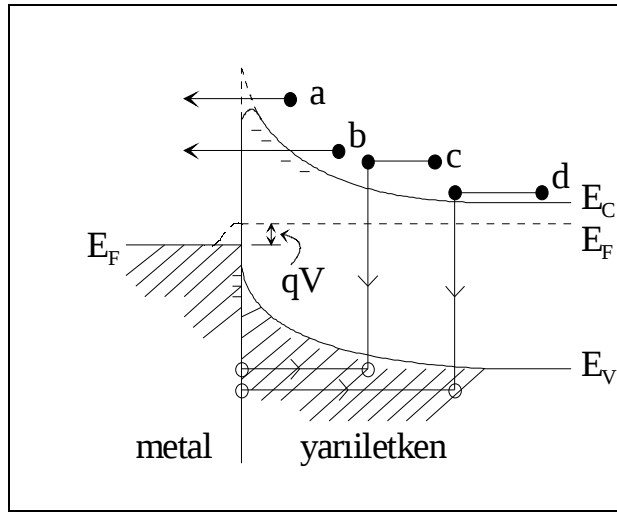
Sonuç olarak, eğer arayüzey tabakası yeterli incelikte değilse yada yarıiletkende arayüzey durumları varsa, engel yüksekliği ideal Schottky diyotunununkinden daha küçük değerlere sahip olur ve bu arayüzey tabakası nedeniyle elektronlar engelden tünelleme yoluyla geçerler. Engel yüksekliğinin bu şekildeki gerilim bağımlılığı akım-gerilim karakteristiklerinin ideal durumdan sapmasına neden olur ve ideallikten sapmalar idealite faktörü n , ile ifade edilir [16].

2.1.3. Metal/yarıiletken kontaklarda akım -iletim mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontaklarda, seri direnç (R_s), arayüzeydeki oksit tabaka kalınlığı (d_{ox}), sıcaklık, arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), beslem gerilimi türü ve yarıiletkenin tipi gibi parametreler Schottky diyotlardaki akım iletim mekanizmalarını etkilemektedir. Bu parametrelerin etkisinde, hangi durumda hangi iletim mekanizmasının en doğru sonucu vereceğini belirlemek oldukça önemlidir. MS kontaklarda akım iletimi, azınlık taşıyıcıların iletimi sağladığı p-n eklemlerin aksine, çoğunluk taşıyıcılar ile sağlanır [1].

Doğru beslem altında MS kontaklarda kullanılan temel akım-iletim mekanizmaları şunlardır [1,2,12] (Şekil 2.7):

- Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- Difüzyon Teorisi
- Termiyonik Emisyon Difüzyon Teorisi (TED)
- Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE), Alan Emisyonu (AE))
- Uzay yük bölgesinde rekombinasyon
- Yüksüz bölgede rekombinasyon
- Deşik enjeksiyonu



Şekil 2.7 Metal/n-tipi yarıiletkende doğru beslem altında akım iletim mekanizması: (a) potansiyel engelin tepesini aşan elektronların iletimi, (b) elektronların kuantum mekaniksel tünellemesi, (c) Uzay yük bölgesinde birleşme, (d) doğal bölgede deşik enjeksiyonu.

Termiyonik emisyon teorisi (TE)

Termiyonik Emisyon, Schottky kontaklarda yeterli termal enerjiyi kazanan taşıyıcıların potansiyel engel üzerinden yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmeleri olayı olarak bilinir. Bu olay metal/n-tipi yarıiletken yapılarında elektronlarla, metal/p-tipi yarıiletken yapılarında deşikler tarafından sağlanır [17]. Metal tarafı uygulanan voltajdan bağımsızdır. Bundan dolayı termal enerjileri nedeniyle metal tarafındaki engeli aşan elektronların oluşturduğu bu akım yoğunluğu J_0 termiyonik akım yoğunluğudur. Beethe'nin MS kontaklarda akımın çoğunluk

taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu Termiyonik Emisyon Teorisinin varsayımları şunlardır [1,2].

- Potansiyel engelinin yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür .
- Termal denge emisyonunun olduğu düzlemde kurulur.
- Net bir akımın varlığı bu dengeyi etkilemez ve böylece, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene geçen akım yoğunlukları toplanabilir.
- Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilir. Engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Bu varsayımlar doğrultusunda yarıiletkenden metale doğru akı yoğunluğu J_{sm} , potansiyel engelini geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların konsantrasyonu ve bunların hızı ile ifade edilir:

$$J_{sm} = \int_{E_F + q\phi_B}^{\infty} qV_x dn \quad (2.6)$$

Burada $E_F + q\phi_B$ metalden TE için gerekli minimum enerji, V_x ise iletim yönündeki taşıyıcı hızıdır. dn küçük bir enerji aralığında enerji yoğunluğudur. Bu ifadeden hareketle metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda metalden yarıiletkene geçen elektronlar için akım denklemi,

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-q(\phi_B)}{kT} \right] \exp\left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.7)$$

şeklinde verilir. Burada m^* taşıyıcının etkin kütlesi, k Boltzmann sabiti, h 'da Planck sabitidir. Buradan;

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT} \right] \exp\left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.8)$$

ifadesi yazılır. Burada A^* , TE için Richardson sabitidir. Metalden yarıiletken hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kaldığı için yarıiletken akı yoğunluğu uygulanan gerilimden etkilenmez. Bu akım yoğunluğu dengede ($V=0$), yarıiletkenden metale geçen akım yoğunluğuna eşittir. Buna göre metalden yarıiletken doğru akan akım,

$$J_{sm} = -A^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT}\right] \quad (2.9)$$

şekline ifade edilir. Toplam akım yoğunluğu Eş.2.8 ve yine Eş.2.9 denklemlerinin toplamı olup,

$$J_n = \left(A^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT}\right] \right) \left(\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right)$ terimi, doyum akım yoğunluğudur.

2.1.4. Schottky diyotlarında doğru beslem I-V karakteristikleri

TE teorisine göre Schottky diyotlarında doğru beslem altındaki akım yoğunluğu-gerilim ilişkisinin, Eş.2.10'da verilmiştir. Akım yoğunluğu $J=I/A$ 'dır. Pratikte Schottky diyotlarında, doğru beslem akım-gerilim karakteristikleri ideal durumdan bazı sapmalar olabilir. Yani boyutsuz olan idealite faktörü (n) birden büyük ve seri direnç sıfırdan büyük olabilir. Bu durumda Eş.2.10'daki akım ifadesi, $\exp(qV_D/\eta kT) \gg 1$ durumu da göz önüne alınırsa

$$I = A A^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{\eta kT}\right] \quad (2.11)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Buna ek olarak son zamanlarda yüksek seri direnç ve idealite faktörüne sahip Schottky kontaklarda; seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{Bo}) gibi temel diyot parametrelerini tayin etmek

amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir [2, 18]. H.Norde [20] tarafından geliştirilen ve Cheung [18] tarafından modifiye edilen iki fonksiyon aşağıdaki gibidir.

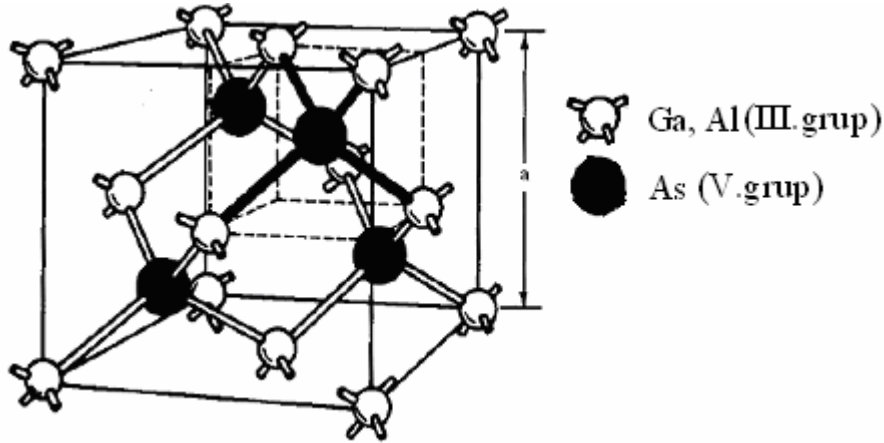
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = IR_s + \frac{\eta kT}{q} \quad (2.12)$$

$$H(I) = \eta \Phi_{Bo} + IR_s \quad (2.13)$$

2.1.5. GaAs in oda sıcaklığındaki (T= 300 K) bazı fiziksel parametreleri

Çizelge 2.2 Oda sıcaklığında GaAs'a ait bazı fiziksel parametreler [1,21-24].

GaAs (T=300K)		
Kristal yapısı (Şekil 2.8)		Çinko sülfür
Yasak bant aralığı (eV)		1,424
Örgü sabiti (Å)		5,65325
Atom/cm ³		4,42x10 ²²
Dielektrik sabiti	statik	12,40
	Yüksek frekans	10,89
İletkenlik bandı efektif DOS (cm ⁻³)		4,7x10 ¹⁷
Valans bandı efektif DOS (cm ⁻³)		7,0x10 ¹⁸
Elektron etkin kütlesi(m _e /m _o)		0,063
Deşik etkin kütlesi (m _h /m _o)	Ağır m _{hh}	0,51
	Hafif m _{lh}	0,082
Erime noktası (K)		1513
Termal genleşme katsayısı(10 ⁻⁶ K ⁻¹)		6,03
Elektron ilgisi(V)		4,07



Şekil 2.8 GaAs kristal yapısı (çinko sülfür kristal yapısında).

2.2. Yarıiletken Güneş Pilleri

2.2.1. Yarıiletken güneş pillerinin çalışma prensipleri

Yarıiletken güneş pilleri, üzerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Bu dönüşümün temeli fotovoltaiik dönüşümlerdir. Fotovoltaiik dönüşüm, yarıiletken içinde güneş ışığının soğurulmasıyla birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-deşik çiftinin oluşturulması ve oluşturulan bu yük çiftlerinin bir elektrik alan yardımıyla birbirinden ayrılması gibi iki aşamadan oluşur. Güneş pili olarak kullanılacak malzemenin iki temel özelliğe sahip olması gerekir. Birincisi, bu malzeme üzerine düşen güneş ışınlarını soğurularak elektron-deşik çiftinin oluşturulabilmesi, ikincisi de bu soğurulan ışınların malzeme içinde oluşturduğu yük çiftlerini birbirinden ayrılmasını sağlayacak temel bir elektrik alanın oluşmasıdır. Birçok organik, inorganik ve biyolojik maddede fotovoltaiik dönüşüm gözlenmesine rağmen, verimlilik bakımından yalnız yarıiletkenler kullanılmaya elverişlidir. Bunların en önemlileri ise Si, Ge, GaAs, CdS ve CdTe dir.

Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-deşik çifti oluşur. Bu olay, p-n eklem güneş pilinin

arayüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-deşik çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, deşikleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-deşik çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-deşik çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar. Yasak enerji aralığından daha küçük enerjiye sahip enerjiler elektron-deşik çifti yaratmaya yetmez ve fotovoltaiik dönüşüme katkıları yoktur. Yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip fotonlar iletkenlik bandı içerisinde yüksek enerjilere tırmanır ancak saniyenin milyon kare milyonda birden daha kısa sürede iletkenlik bandından en küçük enerjili bölgesine geri dönerek, fazla enerjisini ısı enerjisi olarak yarıiletkene verirler. Elektronların iletkenlik bandında kaldıkları süreye ömür süresi adı verilir. Eğer iletkenlik bandına çıkmış elektronlar (eksi yükler) ömür süreleri içerisinde deşiklerden (artı yükler) bir etki nedeni ile ayrılmazlar ise, elektriksel akıma ve sonuçta güneş-elektrik dönüşüme katkısı olmayacaktır.

Güneş pillerinde, elektron-deşik çiftlerinin birbirinden ayrılarak, akımın oluşumunu sağlayacak kuvvet, elektriksel iletkenlik karakteristiklikleri birbirlerinden farklı olan yarıiletkenlerin bir araya getirilmesiyle yapılan yarıiletken diyotların ara yüzey bölgesinde oluşan elektrik alanı ile oluşur. Fotovoltaiik çevrimde en çok uygulanan, p-tipi yarıiletken ile n- tipi yarıiletkenden oluşan p-n eklem diyotlardır. Bant aralığı 1,4 eV ve 1,6 eV arasındaki yarıiletkenlerin fotovoltaiik çevrimde en uygun malzemelerdir. Ancak, yarıiletkenin diğer optiksel özelliklerinin de bu seçimde büyük önemi vardır. Yarıiletkenin soğurma katsayısı büyük ise, güneş ışınları yarıiletkenin yüzeyinden itibaren daha küçük bir mesafede soğurulacaktır. Böylece, daha az malzeme kullanılarak güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü sağlanacaktır.

Bir güneş pilinin verimli çalışması için ana ilke, güneş ışınlarının Schottky engelli güneş pilinin çok ince yarı geçirgen metal tabakasından geçerek yarıiletkene ulaşması ve yarıiletken tarafından soğurulmasıdır. Işığın metal tarafından soğurulması onun kalınlığının bir fonksiyonu olduğundan metal tabaka yeteri kadar ince olmalıdır. Bununla beraber güneş pili düşük empedanslı bir yapı olduğundan kendi seri direnci

$10^{-4} \Omega \text{ m}^{-2}$ mertebesinde daha küçük olmalıdır. Genellikle 60-100 Å kalınlığındaki bir metal tabaka yukarıdaki koşulları sağlar.

Metallerin çoğu oldukça yansıtıcı olduklarından güneş ışınlarının metal tarafından yansıtılmasını önlemek için, yansıtıcı olmayan tabaka en son adım olarak pilin üzerine kaplanmalıdır.

Schottky engelli güneş pilinde metal ve yarıiletken seçiminde dikkat edilmesi gereken; iş fonksiyonlarının farkı eklemde bir boşaltılmış bölgenin oluşmasına ve dolayısıyla yarıiletken yüzeyinin hemen altında bir elektrik alan oluşmasına sebep olmasıdır. Yarıiletken tarafından soğurulan fotonların oluşturdukları elektron-deşik çiftleri bu elektrik alan altında zıt yönlerde hareket ederek eklemi pozitif besleme eğilimindedir. Böylece dış devredeki bir yük üzerinden fotoelektrik akım geçmesini sağlanmış olur. Bir metal-yarıiletken güneş pilinde verimin düşük olmasının nedeni ise termiyonik karanlık akımın büyük olmasıdır. Ancak metal-yarıiletken arasına ince bir yalıtkan tabakanın oluşturulması ile bu akım azaltılarak pil verimi artırılabilir [1,21].

2.2.2. Işık altında akım-iletim mekanizması

İleri beslem V_F altında n- tipi diyottan geçen çıkış akım yoğunluğu,

$$J_{out} = J_{ph}^h - J_o \exp \left(\frac{qV_F}{nkT} \right) \quad (2.14)$$

Burada J_{ph}^h , yarıiletken gövde (bulk) ve uzay yükü bölgesinde ışık etkisiyle oluşan ve engel üzerinden metale geçen deşiklerin oluşturduğu akım yoğunluğudur. Kısa devre durumunda ($V_F=0$), $J_{out} = J_{sc}$
 J_{sc} ise güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğudur.

Açık devre voltajını bulmak için Eş.2.14'ü sıfıra eşitlemek yeterlidir. $J_{out} = 0$ ve $V_F=V_{oc}$ yazılır ve her iki tarafın logaritması alınırsa açık devre voltajı V_{oc} için,

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \frac{J_{sc}}{J_o} \quad (2.15)$$

İfadesi elde edilir. Bir güneş pilinde elde edilebilecek maksimum güç,

$$P_{\max} = V_{\max} J_{\max} \quad (2.16)$$

dir. Burada $V_{\max}$ ve $J_{\max}$ sırasıyla maksimum güç değerine (noktasına) karşılık gelen voltaj ve akım yoğunluğudur. Doluluk faktörü,

$$FF = \frac{V_{\max} J_{\max}}{V_{oc} J_{sc}} \quad (2.17)$$

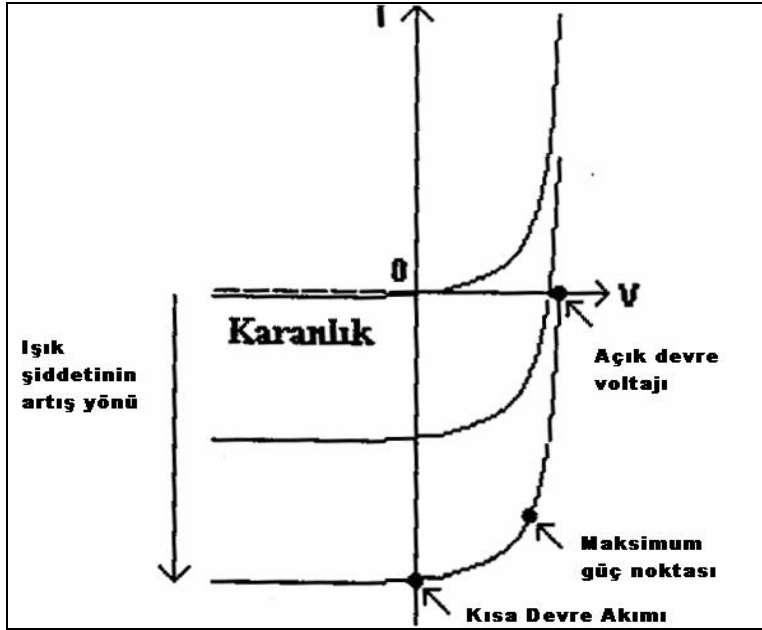
olarak tanımlandığından,

$$P_{\max} = FF(V_{oc} J_{sc}) \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır. Bir güneş pilinin verimi η pilde elde edilen çıkış gücünün, pil üzerine düşen ışığın gücü olan P_{in} 'e oranıdır.

$$\eta = \left(\frac{P_{\max}}{P_{in}} \right) \%100 = \left(\frac{FF(V_{oc} J_{sc})}{P_{in}} \right) \%100 \quad (2.19)$$

Şekil 2.15’de aydınlatma altındaki bir güneş pilinin akım-voltaj (I-V) eğrisi gösterilmiştir. Burada eğrinin, voltaj eksenini kestiği nokta açık devre voltajı (V_{oc}), akım eksenini kestiği nokta ise kısa devre akımıdır (I_{sc}).



Şekil 2.9 Işık altındaki bir güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiği.

2.2.3. Verimi etkileyen faktörler

Bir güneş pilinde verimi etkileyen faktörler şunlardır[1]:

- 1-Metal-yarıiletken engel yüksekliği
- 2-İdealite faktörü
- 3-Oksit tabakasının kalınlığı
- 4-Metalin geçirgenliği
- 5-Spektral tepki
- 6-Yarıiletken tabakanın öz direnci
- 7-Yarıiletken tabakanın kalınlığı
- 8-Seri direnç

2.2.4. GaAs güneş pilleri

GaAs oda sıcaklığında 1,42 eV bant aralığına sahiptir. Bu değer standart güneş spektrumuna yakındır, bu teorik olarak verimin % 31 olarak hesaplanması demektir. GaAs doğrudan bant aralığına sahiptir. Görünür dalga boylarının üzerinde soğurma

katsayısı Si dan 10 kat fazladır. Uygulamalar için en önemli olan güneş pili ağırlıklarını azaltmaktır.

GaAs'in güneş pili uygulamalarında tercih edilmesinin belli başlı avantajları vardır. Bunlardan birisi, silisyuma göre daha iyi bir sıcaklık katsayısına sahip olmasıdır. Artan taşıyıcı birleşimi ve bant aralığının azalması sebebiyle güneş pili verimi sıcaklık arttıkça azalmaya eğilimlidir. Güneş pili yüksek sıcaklıkta çalışacaksa GaAs' in performansı daha iyidir. Diğer bir faktör malzemenin ısınlanma direnciyle ilgilidir. GaAs'in radyasyona dayanıklılığı silisyumdan daha iyidir, İndiyum fosfatın radyasyon dayanıklılığı ise en iyisidir. Yüksek saflıktaki GaAs saf silikona göre pahalıdır. Bununla birlikte GaAs güneş pili üretim teknolojisi halen gelişmeye devam etmektedir, üretim maliyetleri ise giderek azalmaktadır [3].

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Au/n-GaAs Yapıların Oluşturulması

3.1.1. Kristal temizleme

Omik ve doğrultucu kontakların yüksek performanslı ve deneysel ölçüm sonuçlarının güvenilir olması için, kontakların yapılacağı yüzeylerin, organik kirlere, oksit tabakasından ve mekanik pürüzlerden arınmış olması gerekir. Bu koşulların sağlanabilmesi için yarıiletken kristal kimyasal aşındırma (temizleme) işlemi uygulandı. Kullanılan kristaller MaTeck GmbH firmasından bir yüzeyi parlatılmış halde satın alındı. Diyot yapımında (111) doğrultusunda büyütülmüş 400 µm kalınlığındaki, kükürt(S) katkılı taşıyıcı yoğunluğu $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan 50 mm çaplı pullardan (wafer) kesilmiş çeyrek büyüklükte n-tipi GaAs kristali kullanıldı.

Numune ve deneysel araçların temizliği iyi diyot oluşturmada çok önemli unsurlar olduğu için tüm kimyasal temizlemeler titizlikle gerçekleştirildi. Temizleme işlemlerinde kullanılacak tüm beherler, tutucular, DIW (de iyonize su 18 MΩ) ile temizlenip yüksek sıcaklıktaki fırında kurutularak temizlendi. Paslanmaz çelik malzemeli maskeler, numune tutucu cımbız ve buharlaştırılacak saf metal çubuklar (Au) sırasıyla aşağıdaki temizleme işlemine tabi tutuldu;

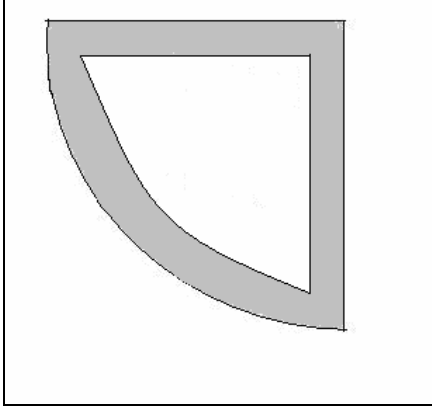
- a. Triklor Etilen ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- b. DIW ile durulandı.
- c. Aseton ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- d. DIW ile durulandı.
- e. Metanol ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- f. DIW ile durulandı.
- g. Yüksek saflıktaki N_2 gazı ile numune tutucu cımbız, maskeler ve metallere kurutuldu.

3. n-GaAs kristalin temizliği aşağıdaki gibi yapıldı;

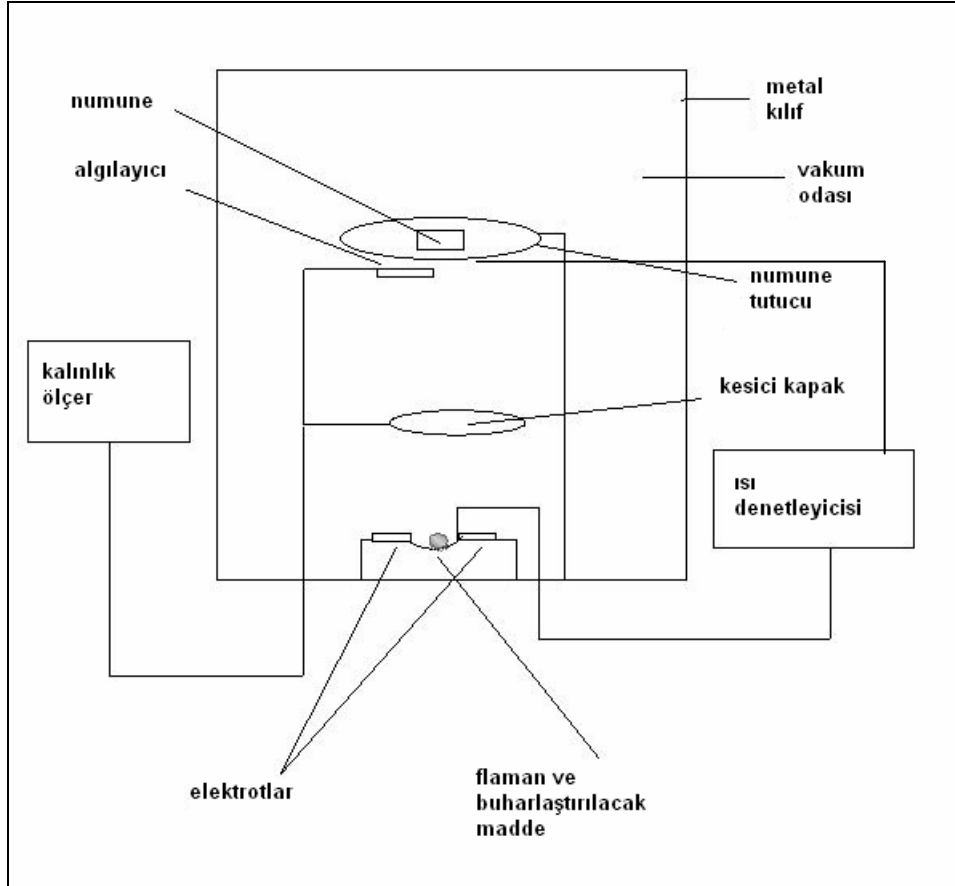
- a. Triklor Etilen ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- b. DIW ile durulandı.
- c. Aseton ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- d. DIW ile durulandı.
- e. Metanol ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- f. DIW ile durulandı.
- g. H_2SO_4 , H_2O_2 , H_2O (5:1:1) çözeltisi içerisinde 10 saniye tutuldu.
- h. DIW ile durulandı.
- ı. HF , H_2O (1:10) çözeltisi içerisinde 30 saniye tutuldu.
- i. DIW ile durulandı.
- j. Yüksek saflıktaki N_2 gazı ile numune kurutuldu.

3.1.2. Omik kontağın oluşturulması

Numunelerin oluşturulmasında Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan vakumda buharlaştırma sistemi kullanıldı. Yapıların hazırlanması için kullanılan düzenek basitçe Şekil 3.2’ de şematik olarak gösterildi. Omik kontağı oluşturmak için kimyasal olarak temizlenen yarıiletkenin mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde iç kısmı boş olan maske üzerine yerleştirildi ve vakumlama işlemine geçildi. Vakum $\approx 6.10^{-6}$ mbar’a ulaştığında, flamanların biri üzerinden akım geçirilerek (35 Amper) %99,995’lik saflığa sahip kimyasal olarak temizlenmiş altın (Au) metal parçacıkları buharlaştırıldı. Yarıiletkenin mat olan yüzeyine 2000 Å altın kaplama işleminden sonra numune aynı basınç altında 450 °C’ de 5 dakika tutularak altın film n-GaAs kristal içerisine çöktürüldü ve omik kontak oluşması sağlandı.



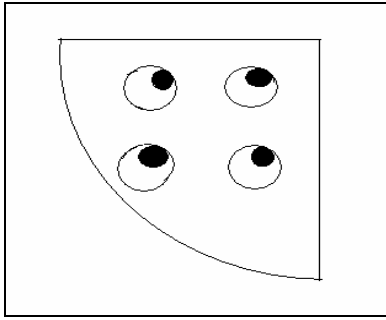
Şekil 3.1. Omik kontak maskesi



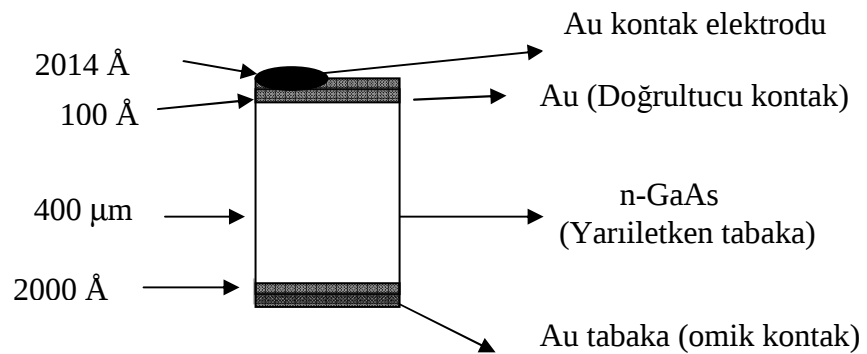
Şekil 3.2 Omik ve doğrultucu kontak oluşturmada kullanılan buharlaştırma sistemi.

3.1.3. Doğrultucu kontağın oluşturulması

n-GaAs kristalin parlatılmış yüzeyi, 2,5 mm çaplı delikler açılmış olan paslanmaz çelik maske (Şekil 3.3) üzerine yerleştirildi. Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenen altın (Au) metal parçası, yaklaşık $4,5 \cdot 10^{-6}$ mbar vakumda buharlaştırılarak kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (2,5 mm çaplı) şeklinde 100 Å kalınlığında altın kaplanması sağlandı. Bu 2,5 mm çaplı doğrultucu kontaklar üzerine, çemberin bir tarafına değecek şekilde Şekil 3.3’de görüldüğü gibi 1 mm çaplı maskeler yerleştirildi ve 2014 Å kalınlığında Au film tabakası oluşturuldu. Bu son işlem elektriksel ölçüm uçları ile kontak yapmak amacıyla yapıldı. Böylece Au/n-GaAs Schottky diyotlar elde edildi. Hazırlanan diyotlar Şekil 3.4’ de verildi.



Şekil 3.3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske



Şekil 3.4. Au/n-GaAs diyodun şematik gösterimi

3.2. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

3.2.1. Akım-gerilim (I-V) ve sığa-gerilim (C-V) ölçüm düzeneği

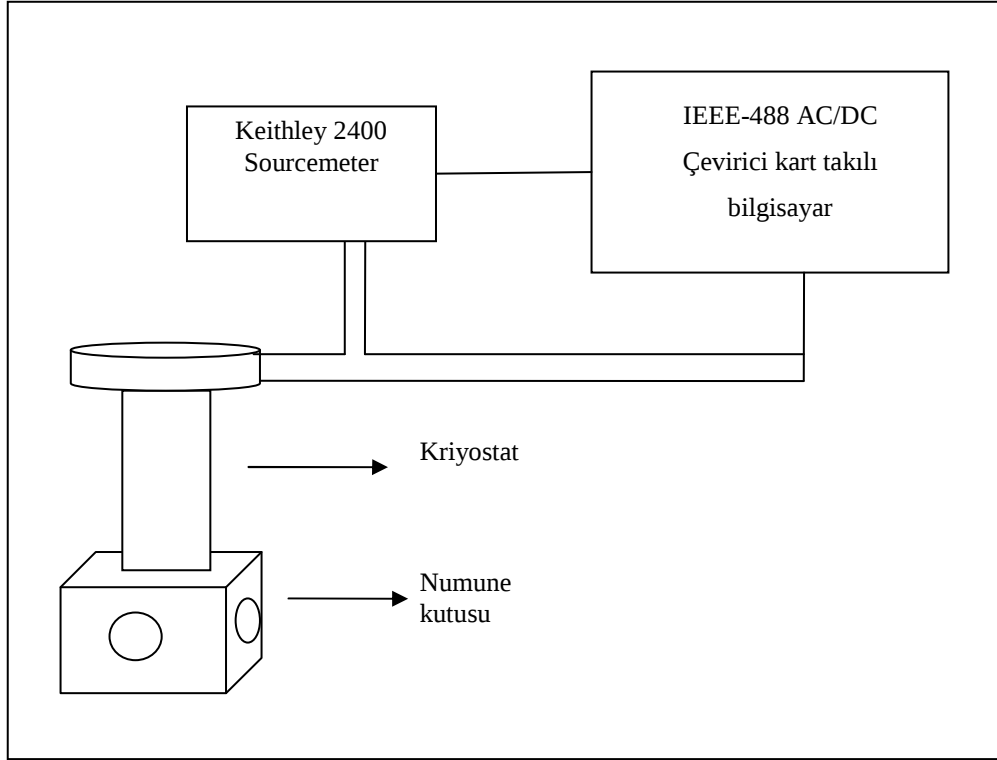
Hazırlanan Au/n-GaAs yapısının elektriksel karakterizasyon Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde sığa-gerilim(C-V) ve akım-gerilim(I-V) ölçüm laboratuvarında yapıldı. Resim 3.1'te I-V, C-V ve G_w -V ölçümleri için kullanılan cihazlar gösterildi.

Ölçümler Hewlett Packard bilgisayarına takılan bir IEEE-488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi. Au/n-GaAs diyot yapısının I-V, C-V ve G_w -V karakteristikleri 80 K–380 K sıcaklık aralığında, sıcaklık kontrollü Janes 475 kriyostat kullanılarak değişik sıcaklıklarda ölçüldü. Hazırlanan numunenin I-V karakteristikleri Keithley 2400 Sourcemeter kullanılarak elde edildi. C-V ve G_w -V karakteristikleri HP 4192 LF empedans analizörü yardımıyla ölçüldü.

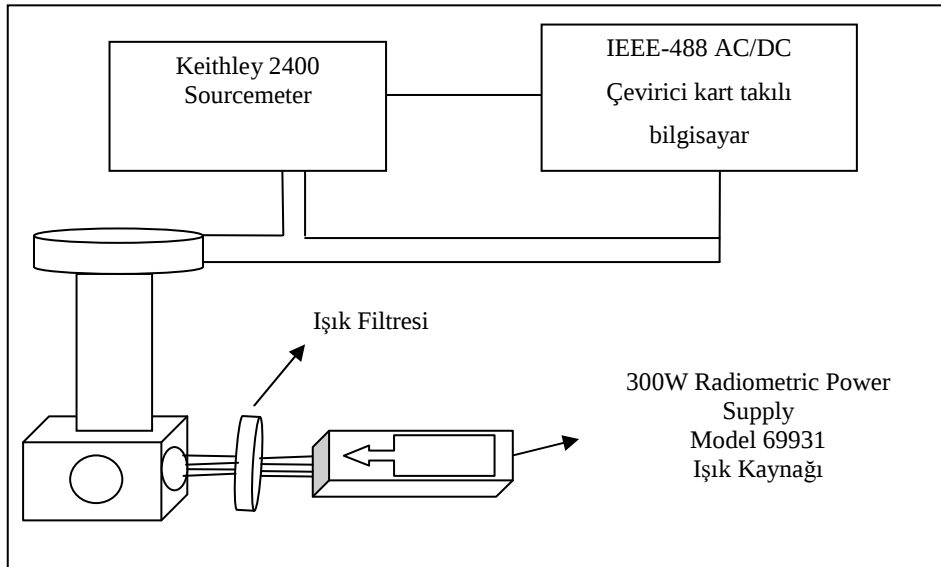
Akım-Gerilim (I-V) ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6' da ise 300 W Radiometric Power Supply Model 69931 Işık Kaynağının şeması basit bir şekilde verildi.



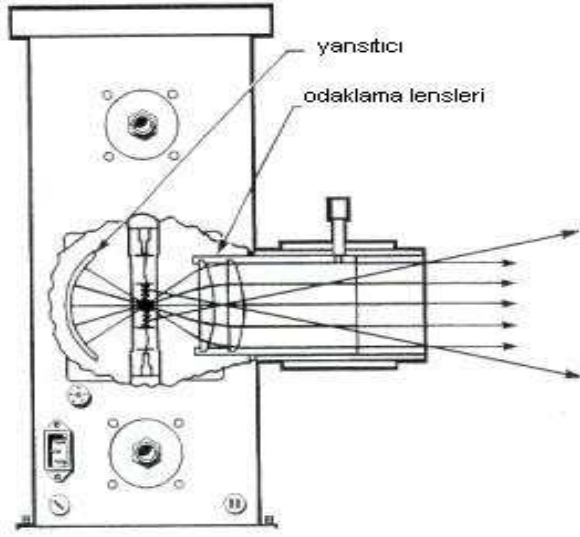
Resim 3.1 Elektriksel karakterizasyon için kullanılan deney düzeneği: Keithley 2400 Sourcemeter, Janes 475 kriyostat, Kriyostat için sıcaklık kontrolcüsü, HP 4192 LF empedans analizörü.



Şekil 3.5. Akım-gerilim ölçümleri için kullanılan düzenek



Şekil 3.6. Farklı ışık filtreleri ile akım-gerilim (I-V) ölçümleri için kullanılan düzenek.



Şekil 3.7. Işık kaynağının şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, güneş pili tipinde hazırlanan Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında karanlıkta ve ışık altında akım-gerilim (I-V) ölçümleri, 10 kHz -1,2 MHz frekans aralığında kapasite-gerilim (C-V) ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar verildi. Diyotların 80–380 K sıcaklık aralığında akım-gerilim (I-V) ölçümleri yapılmış bu ölçümlerden, doyum akımı (I_o), idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği ($\Phi_B(I-V)$), ara yüzey durum yoğunlukları gibi temel parametreler incelendi. Ayrıca 80–380 K sıcaklık aralığında 1 MHz frekansta kapasite-gerilim (C-V) ve iletkenlik-gerilim (G/ω -V) ölçümleri yapılmış bu ölçümlerden ise verici yoğunluğu (N_D), difüzyon potansiyeli (V_D), Fermi enerjisi (E_F), potansiyel engel yüksekliği ($\Phi_B(C-V)$), tüketim bölgesi genişliği (W_D) gibi parametreler incelendi. Işık kaynağının çıkış gücü değiştirilerek I-V ölçümleri yapıldı ve diyodun güneş pili parametreleri incelendi.

4.2. Elektriksel Karakterizasyon

4.2.1. Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri

Seri dirence sahip Schottky engel diyotlar ve benzeri yapılarda, doğru beslem gerilimi V ile akım I ilişkisi, termiyonik emisyon teorisine göre şu şekilde verilir [1,2].

$$I = I_o \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right)\right] \quad (4.1)$$

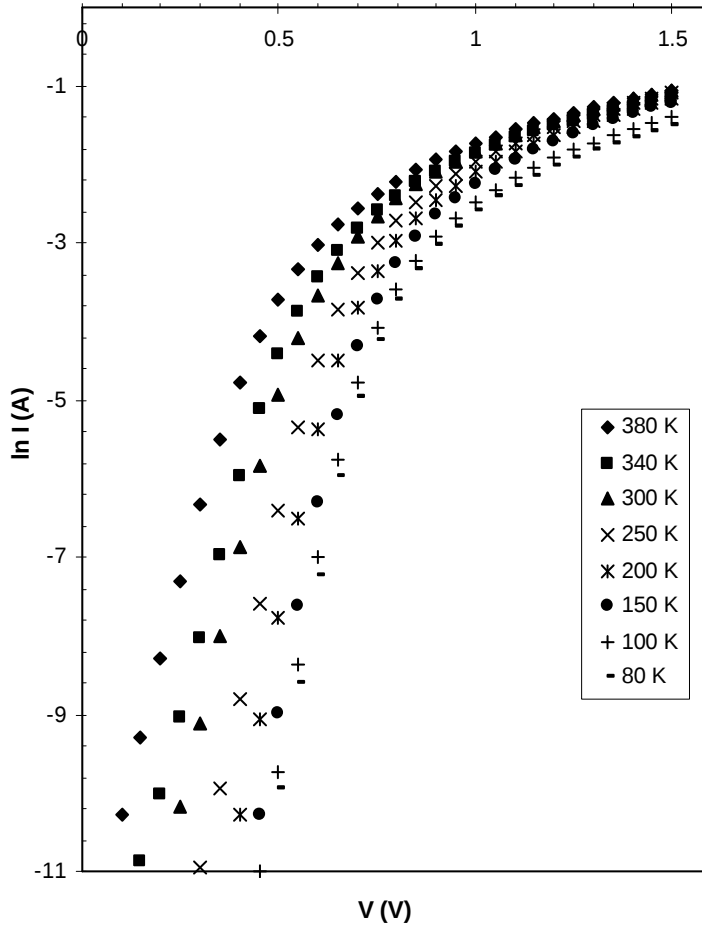
Burada V doğru beslem gerilimi, n yapının idealite faktörü, R_s seri direnç, I_o ise doyum akımıdır. Bu denklemden I_o , $\ln I$ - V grafiğinde eğrinin lineer bölgesinin sıfır gerilim değerinde akım eksenine fit edilmesi ile elde edilir ve

$$I_o = A A^* T^2 \exp\left(-\frac{q \Phi_{Bo}}{kT}\right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada A diyot alanı (cm^2) ve A^* ise Richardson sabitidir ve değeri n-GaAs için $4,4 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ 'dir [1]. Φ_{B0} , sıfır beslem engel yüksekliğidir (eV). Eş.4.1 kullanılarak, diyot için idealite faktörü şu şekilde yazılabilir:

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln(I)} \right) \quad (4.3)$$

Burada $dV/d(\ln I)$ terimi, yarı-logaritmik $\ln I$ - V grafiğinin lineer bölgesinin eğimidir. Au/n-GaAs yapısına ait 80-380 K sıcaklık aralığındaki doğru beslem yarı-logaritmik $\ln I$ - V karakteristiği Şekil 4.1'de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi akım ile gerilim arasında üstel bir ilişki vardır ve her bir eğri orta gerilim bölgesinde farklı eğimlere sahip lineer bir bölgeye sahiptir.



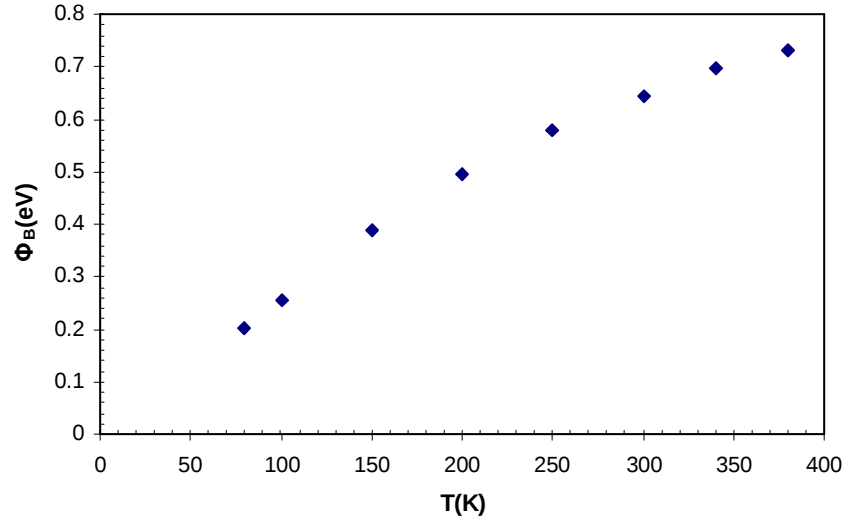
Şekil 4.1 Au/n-GaAs yapısının karanlıkta deneysel doğru beslem akım-gerilim karakteristikleri.

Sıfır beslem-engel yüksekliği ($\Phi_{B0}=\Phi_B(I-V)$) ve diyot idealite faktörü n değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak sırasıyla Eş.4.2 ve Eş.4.3 yardımıyla hesaplandı ve değerler Çizelge 4.1’de verildi.

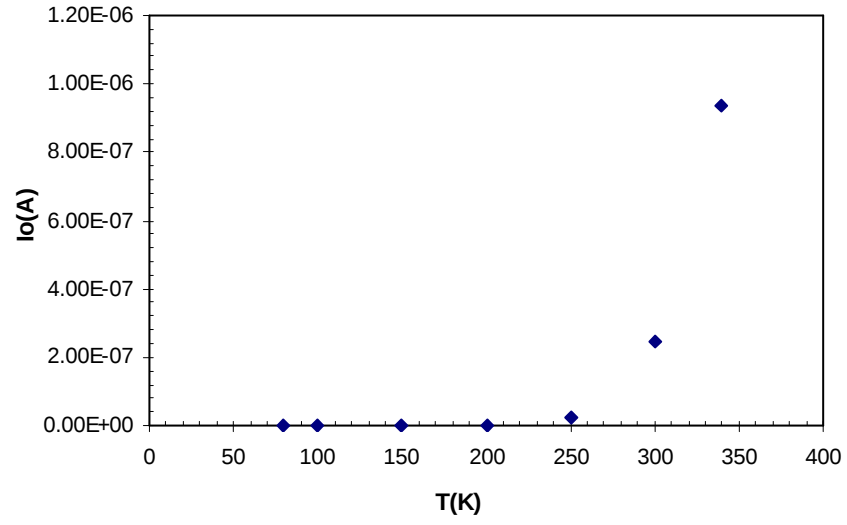
Çizelge 4.1. Au/n-GaAs diyot için 80K-380K sıcaklık aralığında elde edilen deneysel parametreler.

T (K)	I_0 (A)	n	$\Phi_B(I-V)$ (eV)
80	$2,09 \times 10^{-10}$	5,81	0,202
100	$2,30 \times 10^{-10}$	4,62	0,256
150	$4,05 \times 10^{-10}$	3,04	0,387
200	$2,36 \times 10^{-9}$	2,40	0,496
250	$2,57 \times 10^{-8}$	2,10	0,578
300	$2,47 \times 10^{-7}$	1,86	0,644
340	$9,38 \times 10^{-7}$	1,74	0,700
380	$5,15 \times 10^{-6}$	1,56	0,733

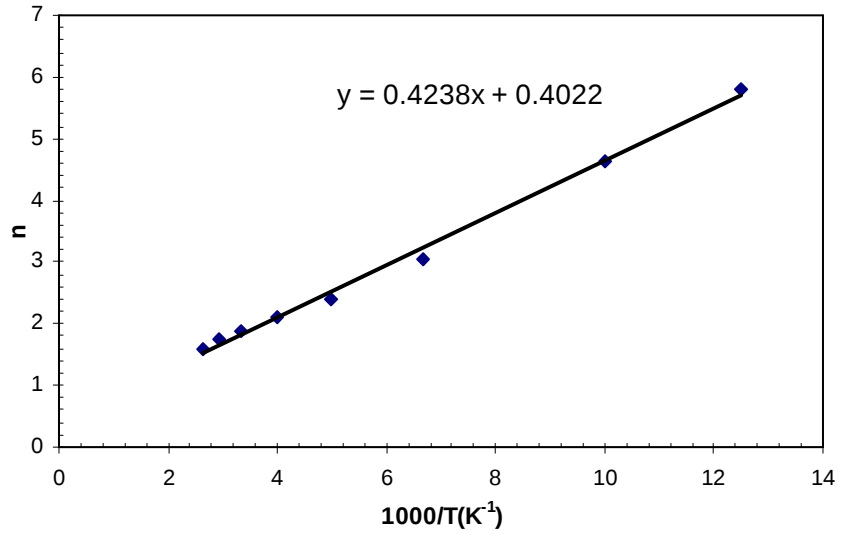
Çizelge 4.1’den görüldüğü gibi yarı-logaritmik doğru beslem I-V eğrilerinden elde edilen Φ_B ve n değerleri sıcaklığa oldukça bağlıdır. Artan sıcaklıkla Φ_B değeri artarken, n değeri azalmaktadır. Sıfır beslem bariyer yüksekliği Φ_B ’nin sıcaklığa bağlılığı Şekil 4.2’de ve diyot idealite faktörü n ’nin sıcaklığa bağlılığı ise Şekil 4.4’de verildi. En düşük (80 K) ile en yüksek (380 K) sıcaklıklar için bu değerler, sırasıyla $n=5,81$, 1,56 ve $\Phi_B = 0,202$, 0,733 eV elde edildi. Benzer sonuçlar literatürlerde de rapor edilmiştir [25-27]. Diyodun doyum akımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 4.3’de verildi. Grafikten doyuma akımının lineer artmadığı görülmektedir.



Şekil 4.2 Sıfır beslem bariyer yüksekliğinin T ile değişimi.

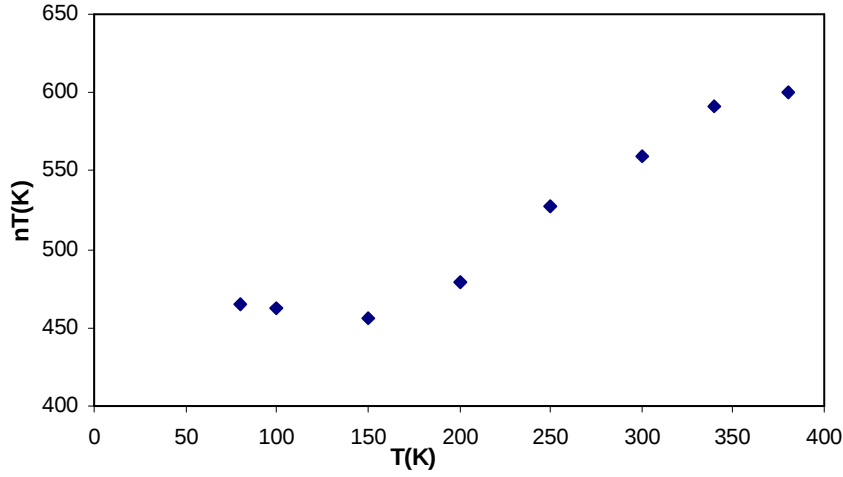


Şekil 4.3 İdealite faktörünün T ile değişimi.



Şekil 4.4 Diyot idealite faktörünün $1000/T$ ile değişimi.

Düşük sıcaklıklardaki elektronlar daha alçak engellerin üzerinden geçebilirler. Sıcaklık artırıldığında ise çok daha fazla elektronun daha yüksek engeli geçebilmesi için yeterli enerjisi olacaktır. Böylece baskın engel yüksekliği sıcaklık ve gerilim ile artacaktır [28]. Elde edilen diyot idealite faktörü n değerleri, akım iletim mekanizmasının hem tuzak yoluyla tünellemeyi ve hem de termiyonik emisyonu içerdiğini göstermektedir. Diyodun idealite faktöründeki bu değişimler, bu tip yapıların performansıyla ilişkilidir [29]. Şekil 4.5’ de diyodun sıcaklığa bağlı nT değişimi verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda lineerlik kaybolmaktadır.



Şekil 4.5 Diyodun sıcaklığa bağlı nT değişimi.

4.2.2. Arayüzey durum yoğunluğunun hesaplanması

Aygıt performansını etkileyen diğer çok önemli bir faktör de arayüzey durum yoğunluğudur. Eğer Au/n-GaAs yapısı, arayüzey durumlarına N_{ss} sahipse ve idealite faktörü gerilime bağlı değişiyorsa, Card ve Rhoderick [30] tarafından verilen idealite faktörü ifadesi Eş.4.4 ile verilebilir.

$$n(V) = 1 + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left(\frac{\epsilon_s}{W_D} + N_{ss}(V) \right) \quad (4.4)$$

Burada ϵ_i ve ϵ_s sırasıyla yalıtkan tabakanın ve yarıiletkenin geçirgenliği ve değerleri $\epsilon_i = 3,5\epsilon_0$, $\epsilon_s = 12,4\epsilon_0$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-14}$ F/cm'dir. W_D uzay yükü bölgesi genişliği, δ oksit tabakasının kalınlığı ve N_{ss} ise arayüzey durumlarının yoğunluğudur. Bu denklemde ikinci terimin artması ile ideallikten uzaklaşılır. Yani idealite faktörü, hem yalıtkan tabaka kalınlığının ve hem de arayüzey durumlarının artmasıyla, doğru orantılı olarak artmaktadır. Arayüzey durum yoğunluğu N_{ss} şu şekilde verilir:

$$N_{ss} = \left(\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) \right) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \quad (4.5)$$

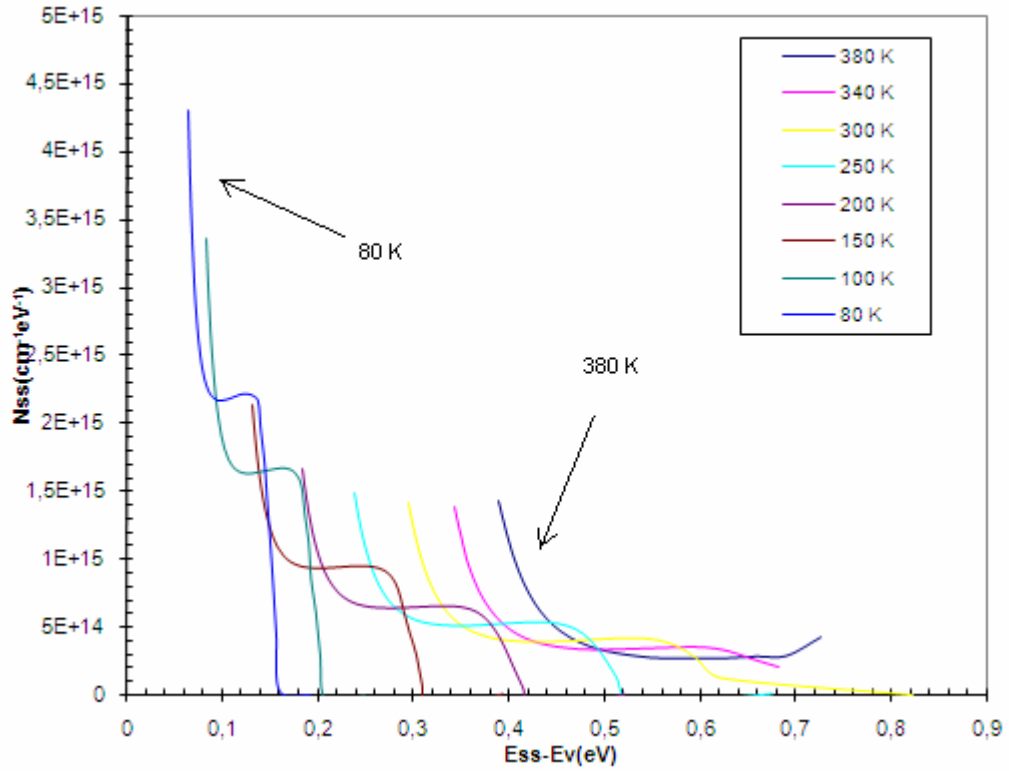
Arayüzey durumlarının enerjisi E_{ss} , şu şekilde verilir [31]:

$$E_{ss} - E_v = q(\Phi_e - V) \quad (4.6)$$

Burada Φ_e etkin engel yüksekliğidir. Arayüzeyssel bir tabakanın varlığı ve yalıtkan tabaka-yarıiletken arayüzeyinde yerleşmiş olan arayüzey durumları nedeniyle Φ_e 'nin gerilime bağımlı olduğu kabul edilir. Etkin engel yüksekliği Φ_e , engel yüksekliğinin uygulanan gerilime bağımlı olduğu göz önünde bulundurularak şu şekilde verilir:

$$\Phi_e = \Phi_{Bo} + \left(1 - \frac{1}{\eta(V)}\right)(V - IR_s) \quad (4.7)$$

Doğru beslem I-V karakteristiklerinden ve Eş.4.5 kullanılarak arayüzey durum yoğunluklarının ($E_{ss}-E_v$) aralığındaki dağılım profili her sıcaklık için elde edilerek Şekil 4.6'da verildi. Şekilden de görüldüğü gibi N_{ss} değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. Arayüzey durumlarının artan sıcaklıkla azalması diyodun ideale yaklaştığını göstermektedir. Şekil 4.6' dan görülebileceği gibi, tüm sıcaklıklar için N_{ss} ' da orta bölgeden valans bandına doğru keskin deneysel bir artış olur ve özellikle düşük sıcaklıklarda N_{ss} eğrileri bir minimuma sahiptir.



Şekil 4.6 $(E_{ss}-E_v)$ 'nin fonksiyonu olarak arayüzey durumlarının sıcaklığa bağımlı yoğunluk dağılım profili.

4.2.3. Kapasite-gerilim (C-V) karakteristikleri

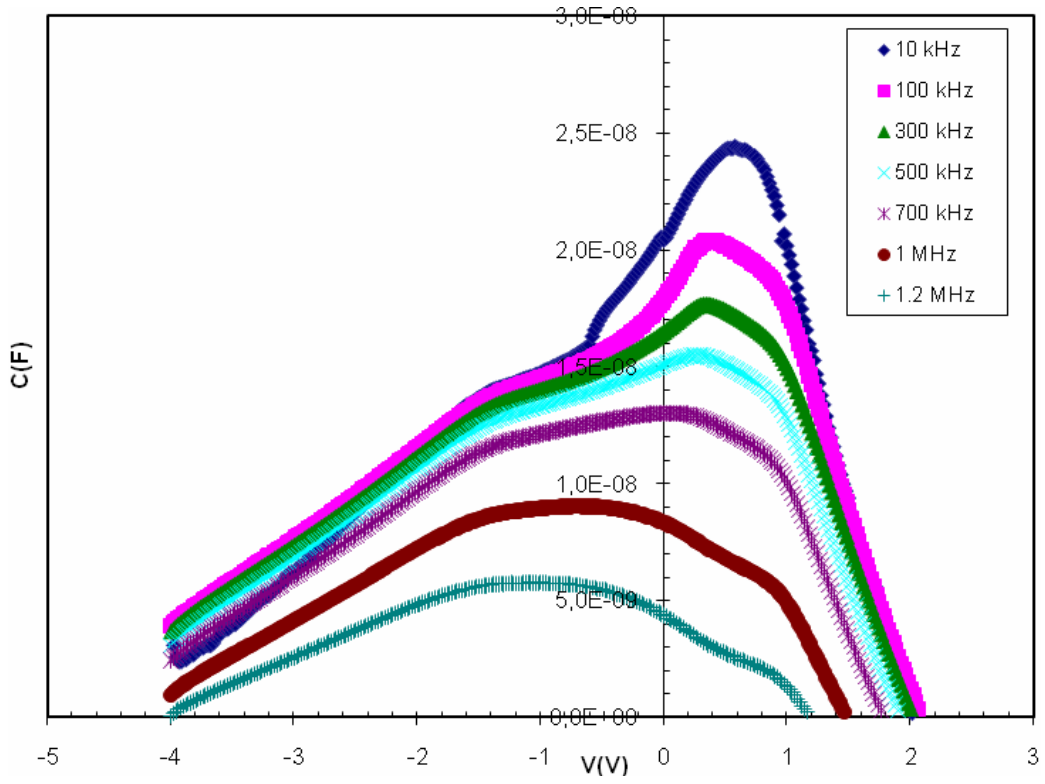
Hazırlanan Au/n-GaAs diyotların oda sıcaklığında 10kHz–1,2MHz frekans aralığında C-V ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümlerden elde edilen C-V eğrileri Şekil 4.7' de verildi. Doğal oksit tabakasının sığası Eş.4.8 ile hesaplandı [32].

$$C_{ox} = C_c \left[1 + \left(\frac{G_m}{\omega C_m} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

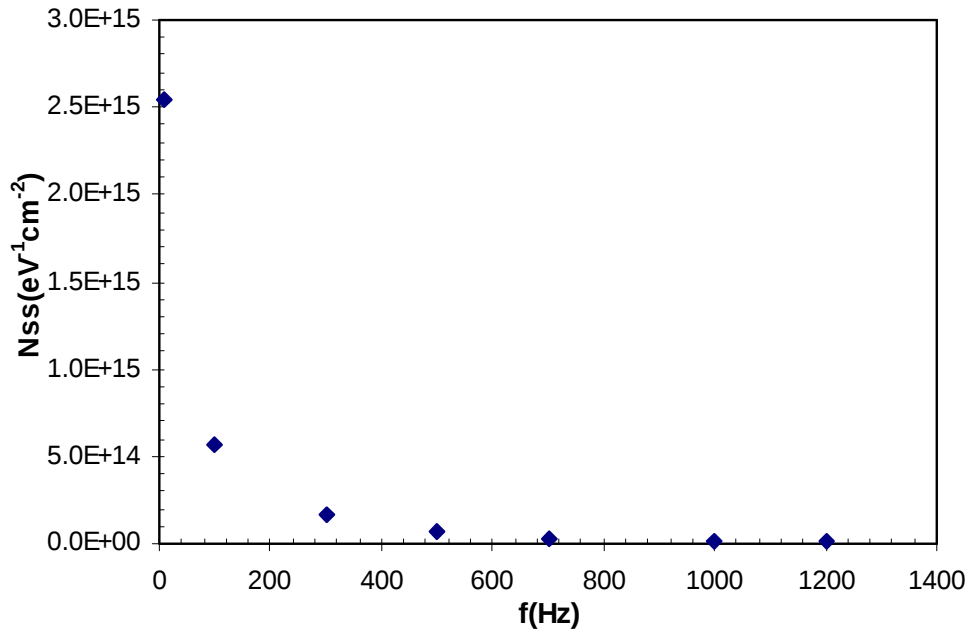
Ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) Hill-Coleman methodu ile hesaplanmıştır [33]. Bu methoda göre N_{ss} şu şekilde verilir:

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \left[\frac{(G_m / \omega)}{((G_m / \omega)C_{ox})^2 + (1 - C_m / C_{ox})^2} \right] \quad (4.9)$$

Burada A diyodun alanı, ω açısal frekans, C_{ox} oksit tabakasının sığası, G_m G-V eğrisinden ölçülen maksimum iletkenlik, C_m ise G_m değerine karşılık gelen sığadır [1]. Ara yüzey durum yoğunluğunun frekansa bağımlı grafiği Şekil 4.8’ de verildi. Artan frekansla ara yüzey durum yoğunluğu azaldığı gözlemlendi.

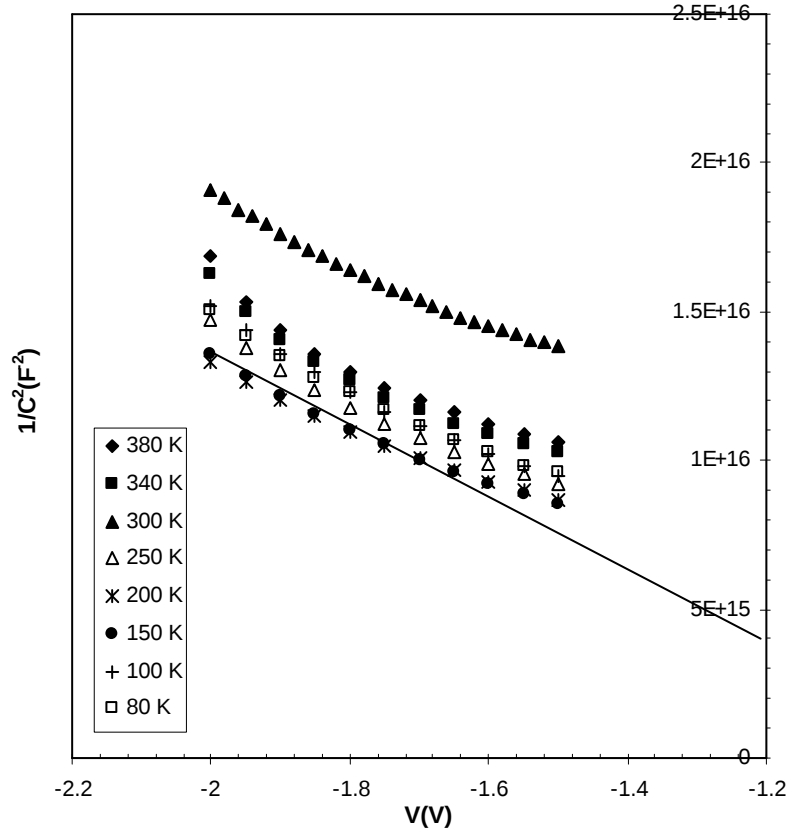


Şekil 4.7 Au /n-GaAs diyodun frekansa bağımlı sığa-gerilim karakteristikleri.



Şekil 4.8 Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında ara yüzey durum yoğunluğunun frekansa bağımlılığı grafiği.

Hazırlanan Au/n-GaAs diyodun 1 MHz frekansta sıcaklığa bağlı C-V ve G/w-V ölçümleri 80–380 K sıcaklık aralığında sekiz farklı sıcaklıkta gerçekleştirildi. C-V ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V eğrileri Şekil 4.9’da verildi. Grafiklerin eğimi ve lineer eğrinin gerilim eksenini kestiği noktalar bulunarak bazı fiziksel parametreler hesaplanmıştır.



Şekil 4.9 Au/n-GaAs diyodu için 1 MHz frekansta farklı sıcaklıklar için C^{-2} -V karakteristikleri.

Şekilden de görüldüğü gibi her sıcaklık değeri için, C^{-2} -V eğrileri geniş bir gerilim bölgesinde lineer bir davranış göstermektedir. Bu ölçümler yüksek frekansta (1MHz) yapılmıştır, bu frekansta taşıyıcı yaşam süresin (τ) $1/\omega$ 'dan oldukça büyük olduğundan arayüzey durumları ac sinyalinin takip edemez [1,25,32]. Deneysel C-V karakteristiklerinin analizi için lineer eğri çok yararlıdır. Çünkü çoğu temel elektriksel parametre bu bölgeden hesaplanır. C-V ölçümlerinde C^{-2} -V ilişkisi şu şekilde verilir [1]:

$$C^{-2} = \frac{2}{q \epsilon_s A^2 N_A} (V_0 + V) \quad (4.10)$$

Burada A diyot alanı, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, N_D katkılanan verici atomların yoğunluğu olup C^{-2} -V grafiğinde lineer kısmın eğiminden ve V_0 ise yine lineer

eğrinin gerilim eksenini kesme noktasından elde edilir. V_D difüzyon potansiyelidir ve şu şekilde verilir:

$$V_D = V_o + \frac{kT}{q} \quad (4.11)$$

C-V karakteristiklerinden hesaplanan potansiyel engel yüksekliği $\Phi_B(C-V)$ değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplandı ve Çizelge 4.2 'de verildi.

$$\phi_B(C - V) = V_D + E_F \quad (4.12)$$

Burada V_D difüzyon potansiyeli, E_m maksimum elektrik alan ve E_F Fermi enerjisidir [1] ve sıcaklıkla değişimi aşağıdaki standart denklem kullanılarak hesaplandı.

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_C}{N_D} \quad (4.13)$$

Burada kT/q termal enerji ve N_C ise durum yoğunluğudur. Ölçüm yapılan her sıcaklık için tüketim tabakasının genişliği,

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_o\epsilon_s}{qN_D}} \quad (4.14)$$

ifadesinden hesaplanabilir [1,10]. Farklı sıcaklıklar için C^{-2} -V karakteristiklerinden elde edilen N_D , E_F , V_D , W_D ve Φ_B değerleri sırasıyla Çizelge 4.2'de listelenmiştir.

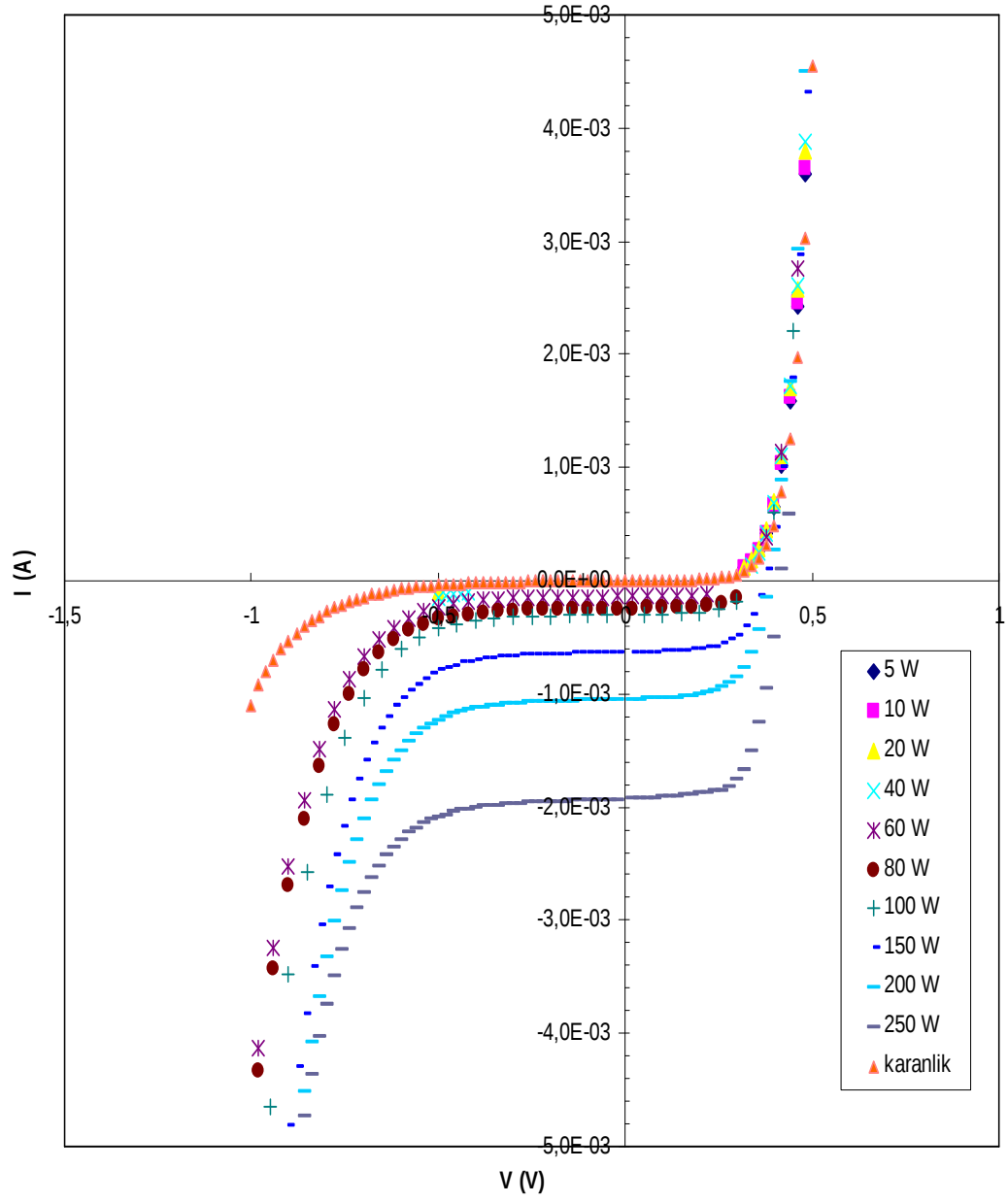
Çizelge 4.2 Au/n-GaAs diyodun C-V karakteristiklerinden elde edilen deneysel parametreler.

T (K)	N_D (cm^{-3})	E_F (eV)	V_D (V)	W_D (cm)	$\Phi_B(\text{C-V})$ (eV)
80	$7,45 \times 10^{15}$	$1,46 \times 10^{-2}$	0,563	$3,22 \times 10^{-4}$	0,577
100	$7,45 \times 10^{15}$	$2,11 \times 10^{-2}$	0,453	$2,89 \times 10^{-4}$	0,474
150	$8,38 \times 10^{15}$	$3,80 \times 10^{-2}$	0,513	$2,90 \times 10^{-4}$	0,551
200	$8,38 \times 10^{15}$	$5,82 \times 10^{-2}$	0,392	$2,53 \times 10^{-4}$	0,450
250	$7,45 \times 10^{15}$	$8,25 \times 10^{-2}$	0,466	$2,93 \times 10^{-4}$	0,548
300	$7,45 \times 10^{15}$	$1,06 \times 10^{-1}$	0,804	$3,85 \times 10^{-4}$	0,910
340	$8,38 \times 10^{15}$	$1,22 \times 10^{-1}$	0,279	$2,14 \times 10^{-4}$	0,401
380	$8,38 \times 10^{15}$	$1,42 \times 10^{-1}$	0,158	$1,58 \times 10^{-4}$	0,300

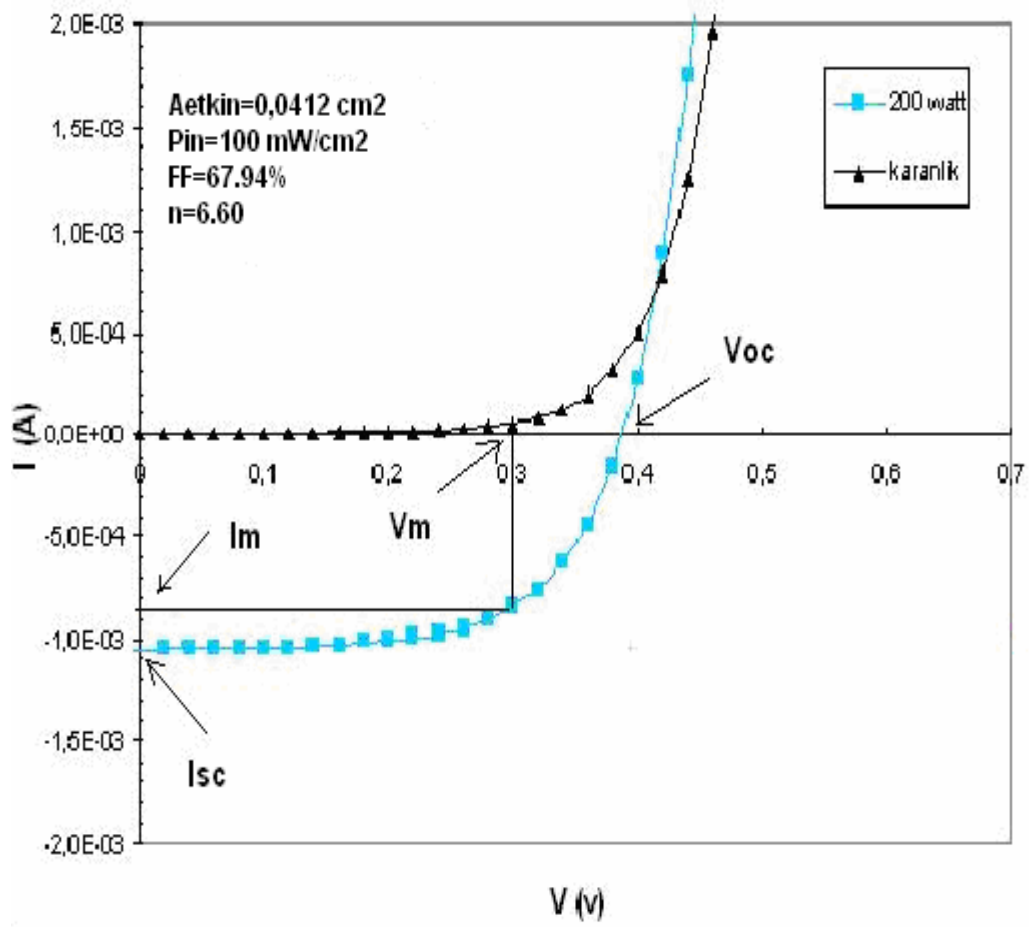
4.3. Aydınlatma Karakteristikleri

Hazırlanan Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında Newport Firmasının Oriel Üretimi 300W Radyometrik Güç Kaynağı Model 69931 Işık Kaynağından çıkan farklı ışık güçleri (50-100-150-200-250 watt) için I-V ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümlerden elde edilen I-V eğrileri Şekil 4.10'da verildi.

Bu çalışmada güneş pili tipindeki Au/n-GaAs numunenin verimliliği incelendi. I-V grafiğinden açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç değerine(noktasına) karşılık gelen gerilim (V_{max}) ve maksimum akım (I_{max}) değerleri Şekil 4.11'de gösterildiği gibi bulundu [1,21]. Bu verilerden; doluluk faktörü (FF) Eş.2.17 yardımıyla, güneş pilinin verimi η Eş.2.19 yardımıyla hesaplandı. Işık kaynağının 150-200-250 watt çıkış gücü için bu değerler Çizelge 4.3'te verildi.



Şekil 4.10 Au/n-GaAs diyodun ışık şiddetine bağlı akım-gerilim karakteristikleri



Şekil 4.11 Işık kaynağının 200 watt çıkış gücü için I-V grafiğinden güneş pilinin V_{oc} , I_{sc} , V_m , I_m değerlerinin bulunması.

Çizelge 4.3 Au/n-GaAs diyodun I-V karakteristiklerinden elde edilen deneysel parametreler.

P (watt)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	FF (%)	η (%)
150	0,370	$6,34 \times 10^{-4}$	0,280	$5,25 \times 10^{-4}$	62,67	3,60
200	0,379	$1,05 \times 10^{-3}$	0,300	$9,00 \times 10^{-4}$	67,94	6,60
250	0,400	$1,93 \times 10^{-3}$	0,319	$1,67 \times 10^{-3}$	68,90	12,20

4.4. Farklı Dalga Boylarındaki Filtreler İçin Işık Şiddetine Bağlı Akım-Gerilim (I-V) Karakteristikleri

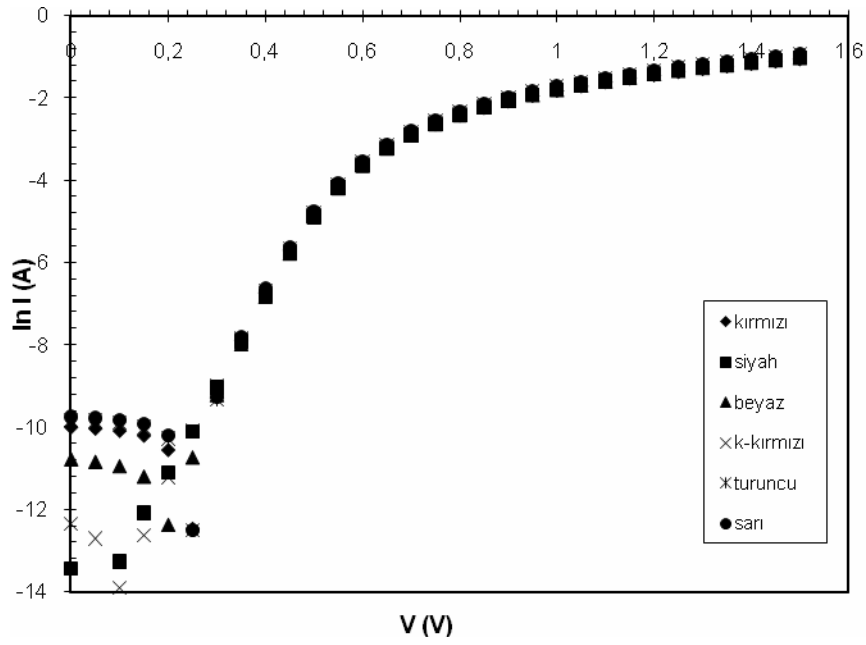
Hazırlanan Au/n-GaAs diyotların akım-gerilim ölçümlerinde Newport Firmasından temin edilen 300W Radyometrik ışık kaynağı kullanılarak farklı dalga boyuna sahip filtreler için farklı ışık şiddetlerinde ölçümler yapıldı. Ölçümler oda sıcaklığında yapıldı. Newport Experience Solutions firmasından temin edilen renkli cam filtrelerin dalga boyları:

beyaz filtre ($300 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$),
 kırmızı filtre ($600 \text{ nm} < \lambda$),
 koyu kırmızı filtre ($300 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$),
 sarı filtre ($400 \text{ nm} < \lambda$),
 siyah filtre ($800 \text{ nm} < \lambda$),
 turuncu filtre ($700 \text{ nm} < \lambda$)

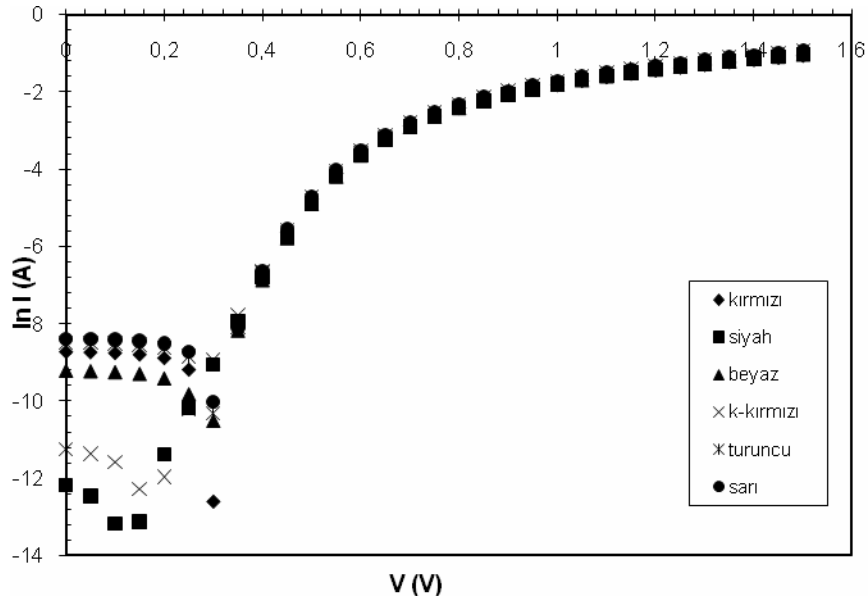
değerlerine sahiptir. Elde edilen verilerden akım-gerilim ile ilgili grafikler 50 watt için Şekil 4.12, 100 watt için Şekil 4.13, 150 watt için Şekil 4.14, 200 watt için Şekil 4.15 ve 250 watt için ise Şekil 4.16’te verildi.

Her bir ışık filtresi için hesaplanan idealite faktörleri ve engel yükseklikleri çizelgeler halinde verildi (Çizelge 4.4-Çizelge 4.9).

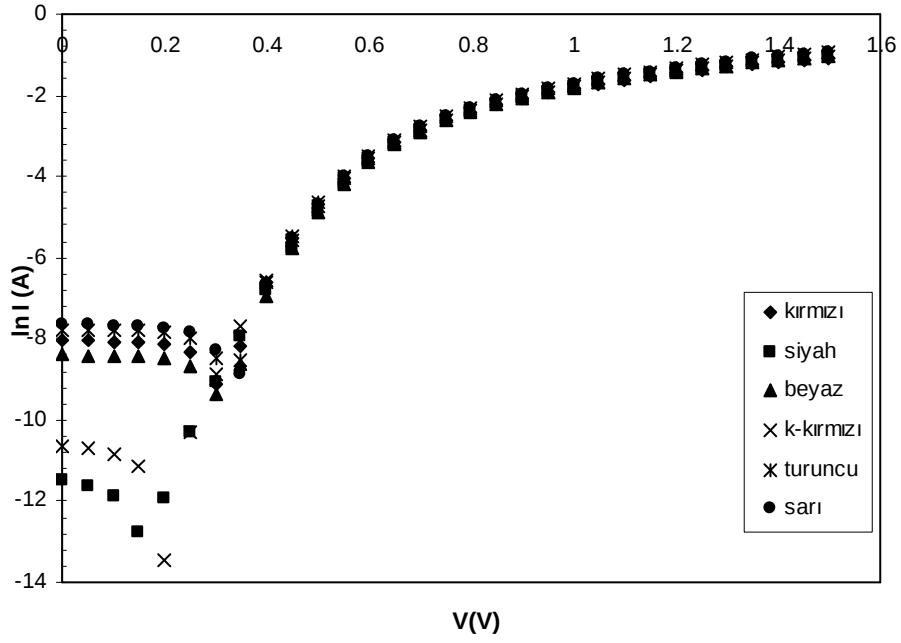
Bu numunelerin oda sıcaklığında, farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için idealite faktörünün ışık kaynağı çıkış gücüne bağlı karakteristikleri toplu halde çizildi (Şekil 4.17). Farklı dalga boylarına sahip tüm filtrelerdeki gerilimlere göre idealite faktörleri çizelge halinde verildi (Çizelge 4.9). Farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için potansiyel engel yüksekliğinin ışık kaynağı çıkış gücüne bağlı karakteristikleri toplu halde çizildi (Şekil 4.18).



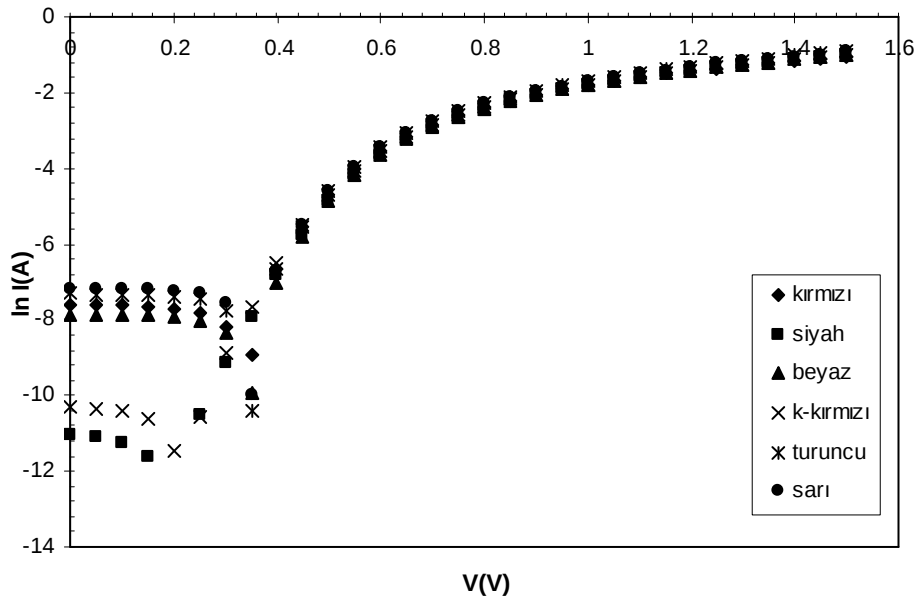
Şekil 4.12. Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 50 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.



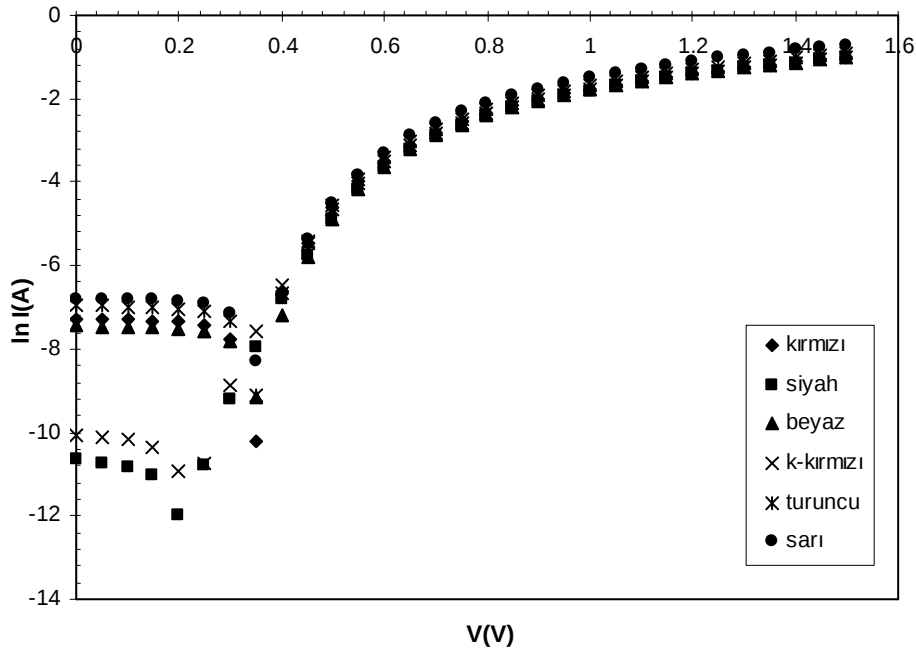
Şekil 4.13. Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 100 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.



Şekil 4.14. Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 150 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.



Şekil 4.15. Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 200 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.



Şekil 4.16. Au/n-GaAs diyodun oda sıcaklığında 250 watt cihaz çıkış gücü için akım-gerilim karakteristikleri.

Çizelge 4.4. Diyodun beyaz filtre ($300 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

P(Watt)	n	$I_0(\text{A})$	$\Phi_B(\text{I-V}) (\text{eV})$
50	1,88	$2,75 \times 10^{-7}$	0,698
100	1,77	$1,47 \times 10^{-7}$	0,714
150	1,57	$4,00 \times 10^{-8}$	0,748
200	1,18	$9,32 \times 10^{-10}$	0,845
250	1,36	$6,61 \times 10^{-9}$	0,794

Çizelge 4.5. Diyodun kırmızı filtre ($600 \text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

P(Watt)	n	$I_0(\text{A})$	$\Phi_B(\text{I-V}) (\text{eV})$
50	1,89	$3,10 \times 10^{-7}$	0,695
100	1,78	$1,88 \times 10^{-7}$	0,708
150	1,67	$1,06 \times 10^{-7}$	0,722
200	1,39	$1,12 \times 10^{-8}$	0,780
250	1,08	$2,74 \times 10^{-10}$	0,877

Çizelge 4.6. Diyodun koyu kırmızı filtre ($300 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

P(Watt)	n	$I_0(\text{A})$	$\Phi_B(\text{I-V}) (\text{eV})$
50	1,92	$3,64 \times 10^{-7}$	0,690
100	1,94	$4,27 \times 10^{-7}$	0,686
150	1,97	$5,18 \times 10^{-7}$	0,681
200	1,97	$5,26 \times 10^{-7}$	0,681
250	1,98	$5,93 \times 10^{-7}$	0,678

Çizelge 4.7. Diyodun sarı filtre ($400 \text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

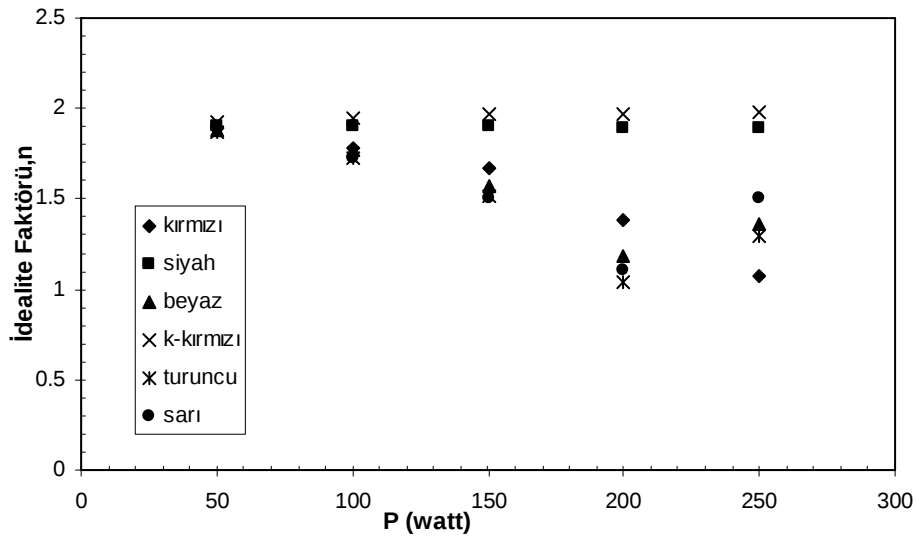
P(Watt)	n	$I_o(A)$	$\Phi_B(I-V) (eV)$
50	1,89	$3,42 \times 10^{-7}$	0,692
100	1,73	$1,44 \times 10^{-7}$	0,714
150	1,40	$1,26 \times 10^{-8}$	0,778
200	1,11	$4,66 \times 10^{-10}$	0,863
250	1,51	$3,71 \times 10^{-8}$	0,750

Çizelge 4.8. Diyodun siyah filtre ($800 \text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

P(Watt)	n	$I_o(A)$	$\Phi_B(I-V) (eV)$
50	1,91	$3,22 \times 10^{-7}$	0,694
100	1,90	$3,14 \times 10^{-7}$	0,694
150	1,90	$3,12 \times 10^{-7}$	0,694
200	1,89	$3,02 \times 10^{-7}$	0,695
250	1,89	$2,91 \times 10^{-7}$	0,696

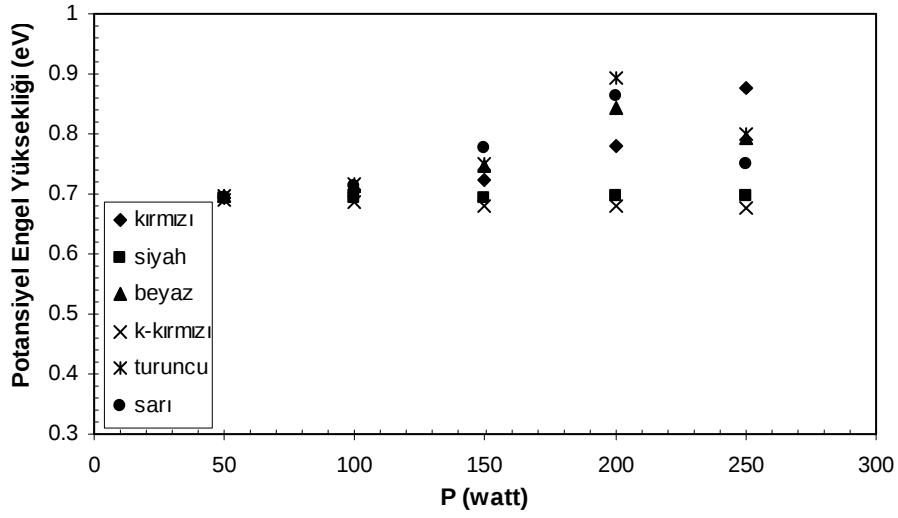
Çizelge 4.9. Diyodun turuncu filtre ($700 \text{ nm} < \lambda$) için farklı ışık kaynağı güçlerinde akım-gerilim karakteristiğinden elde edilen; idealite faktörü, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği.

P(Watt)	n	$I_0(\text{A})$	$\Phi_B(\text{I-V}) (\text{eV})$
50	1,87	$2,91 \times 10^{-7}$	0,696
100	1,73	$1,41 \times 10^{-7}$	0,715
150	1,40	$3,54 \times 10^{-8}$	0,751
200	1,04	$1,49 \times 10^{-10}$	0,892
250	1,51	$5,28 \times 10^{-9}$	0,800



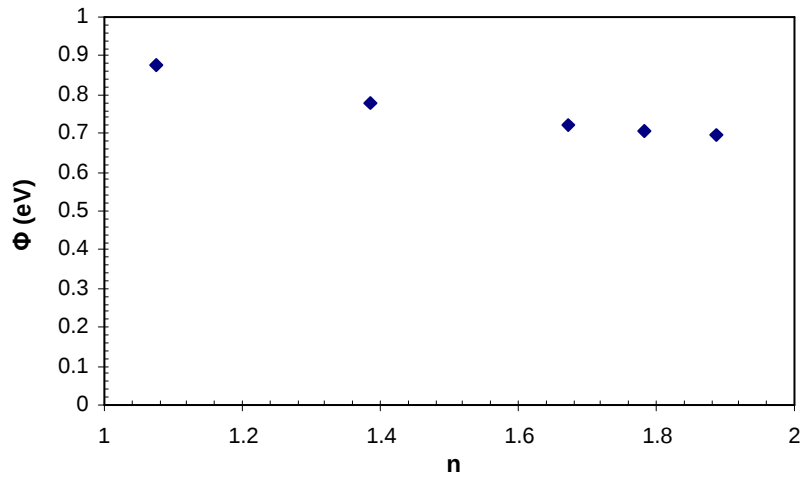
Şekil 4.17. Oda sıcaklığında farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için idealite faktörü (n) ışık kaynağı çıkış gücü karakteristikleri.

Şekil 4.17' de görüldüğü gibi farklı dalga boylarına sahip filtreler için çıkış gücünün artmasıyla idealite faktörünün azaldığı gözlemlendi.

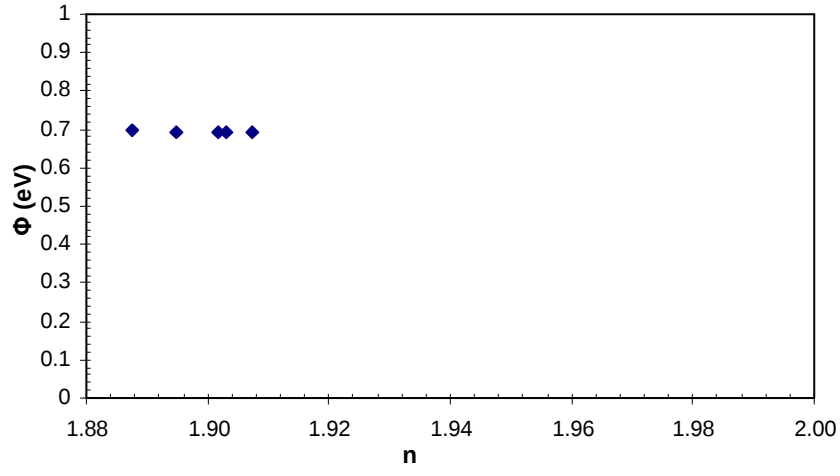


Şekil 4.18. Farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için potansiyel engel yüksekliği-ışık kaynağı çıkış gücü karakteristikleri.

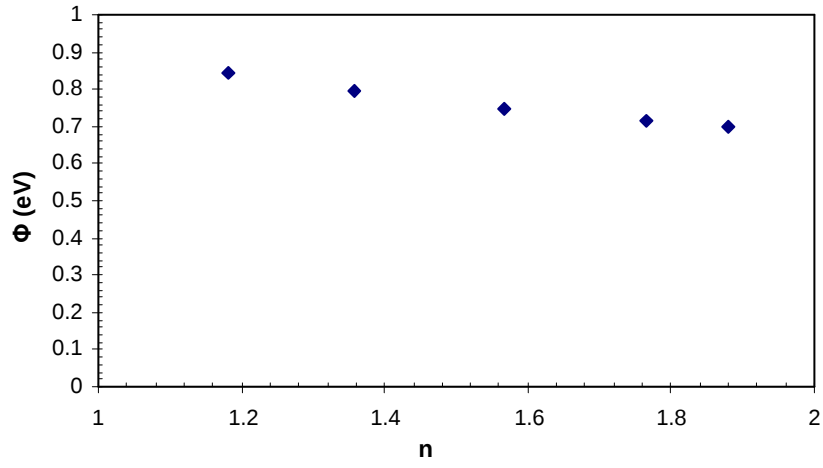
Şekil 4.18’ de görüldüğü gibi farklı dalga boylarına sahip filtreler için gerilim değerinin artmasıyla potansiyel engel yüksekliğinin arttığı gözlemlendi. Tüm filtreler için potansiyel engel yüksekliğinin (Φ_B) idealite faktörüne bağımlılığı Şekil 4.19-4.24 ‘de verildi.



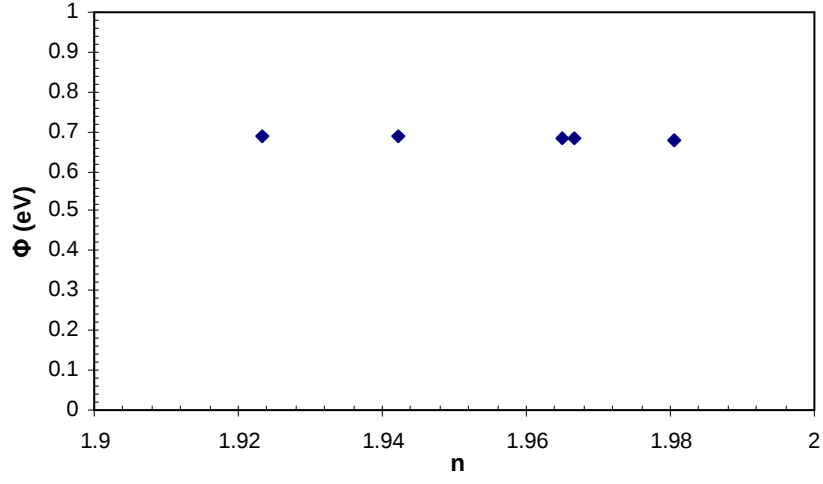
Şekil 4.19. Kırmızı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.



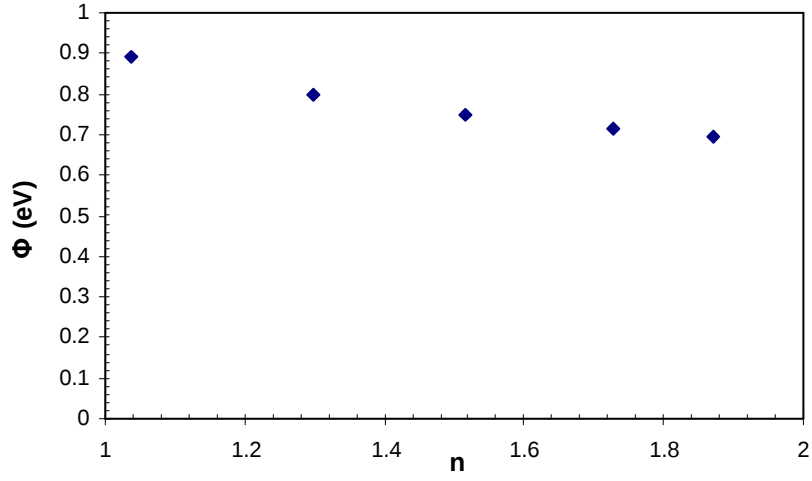
Şekil 4.20. Siyah filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.



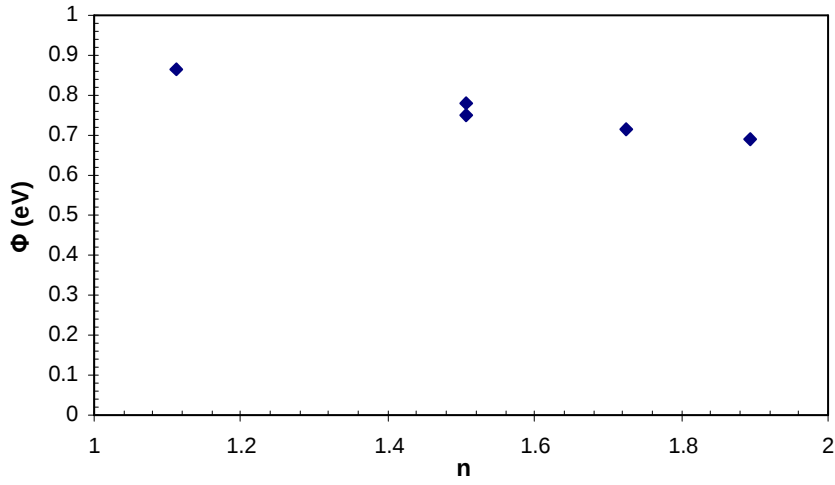
Şekil 4.21. Beyaz filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.



Şekil 4.22. Koyu kırmızı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.

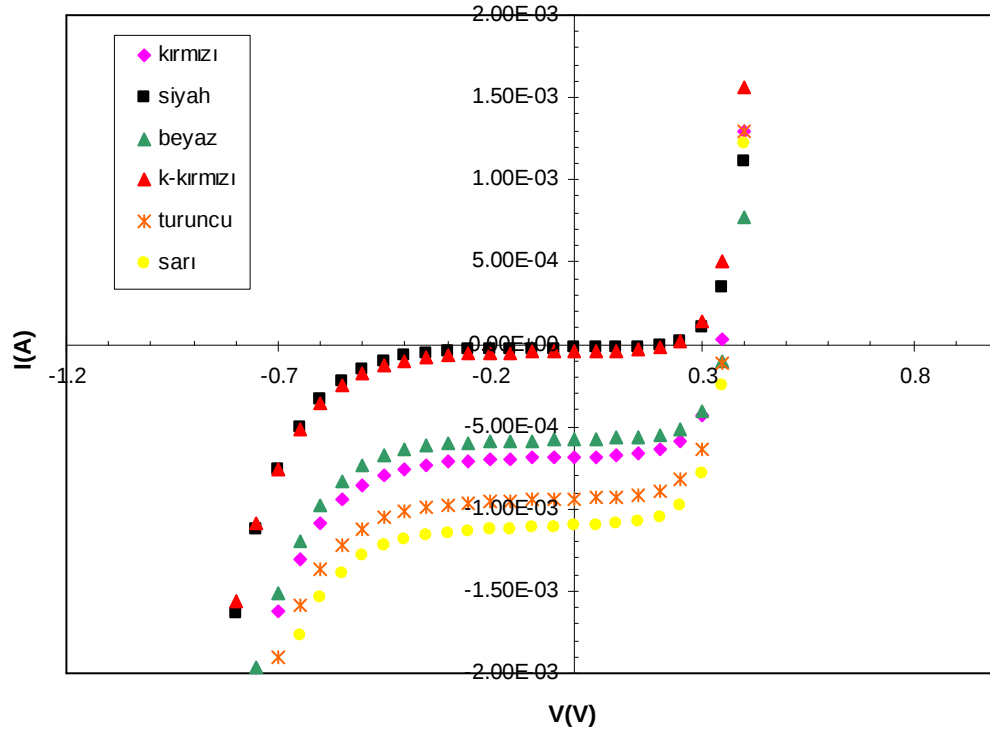


Şekil 4.23. Turuncu filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.



Şekil 4.24. Sarı filtre için potansiyel engel yüksekliği-idealite faktörü grafiği.

Işık kaynağının 250 watt çıkış gücünde filtreler için akım-gerilim (I-V) grafiği Şekil 4.25’dedir. Işık kaynağının 250 watt çıkış gücünde açık devre gerilimi V_{oc} , kısa devre akımı I_{sc} , V_m , I_m değerleri Şekil 4.25 ‘de bulunan grafikten bulundu [1,21]. Bu verilerden her bir filtre için Eş.2.17 ile doluluk faktörü (FF), Eş.2.19 ile güneş pilinin verimi η hesaplandı Bulunan değerler Çizelge 4.10 ‘da verildi.



Şekil 4.25. 250 watt çıkış gücünde tüm filtrelerin I-V karakteristikleri.

Çizelge 4.10. Diyodun 250 watt çıkış gücünde tüm filtreler için hesaplanan deneysel parametreler.

Filtre	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	FF (%)	η (%)
Siyah	0,200	$2,34 \times 10^{-5}$	0,150	$1,60 \times 10^{-5}$	2,04	0,06
Koyu kırmızı	0,225	$4,33 \times 10^{-5}$	0,200	$1,79 \times 10^{-5}$	1,86	0,09
Kırmızı	0,350	$6,85 \times 10^{-4}$	0,250	$5,87 \times 10^{-4}$	7,47	3,56
Turuncu	0,350	$9,40 \times 10^{-5}$	0,300	$6,38 \times 10^{-4}$	7,10	4,64
Sarı	0,350	$1,11 \times 10^{-3}$	0,300	$7,88 \times 10^{-4}$	7,46	5,74
Beyaz	0,350	$5,79 \times 10^{-4}$	0,250	$5,12 \times 10^{-4}$	7,71	3,10

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, (111) yönelimli, 400 μm kalınlığında, $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ taşıyıcı yoğunluğuna sahip n-tipi GaAs yarıiletken üzerine metal buharlaştırma metodu ile Au/n-GaAs diyotlar oluşturuldu.

Hazırlanan Schottky diyotların akım-gerilim (I-V) ve kapasite-gerilim (C-V) özellikleri (80 -380 K) sıcaklık aralığında incelendi. (I-V) verilerinden yararlanılarak $\ln I$ -V grafikleri çizildi (Şekil 4.1). Bu grafikler incelendiğinde yapının diyot özelliği gösterdiği görüldü. Şekil 4.1’ de görülen düşük gerilim bölgesindeki eğimlerden farklı sıcaklıklar için idealite faktörleri n , doyum akımları I_0 , Schottky engel yükseklikleri Φ_B (I-V) hesaplandı. Engel yükseklikleri $\Phi_B(I-V)=0,202-0,733 \text{ eV}$ ve idealite faktörleri $n=5,81-1,56$ arasında bulundu. Değerler Çizelge 4.1’de verildi. Hesaplanan n değerlerinin birden büyük çıkması, diyotun termiyonik emisyon modeline göre ideal durumundan sapma olduğunu göstergesidir. Bu durum arayüzey durumlarının dağılımından ve metal-yarıiletken arasında bir arayüzey oksit tabakasının varlığından kaynaklanabilmektedir [5,26,34]. Deneysel sonuçlar incelendiğinde n değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı gözlemlendi. n değerlerinin sıcaklık ile ters orantılı değişmesi literatüre uygundur. İdealite faktörünün bu davranışı akım-iletim mekanizmasının arayüzey durumları olan termiyonik emisyon içerdiğini gösterir [2,25,35,36]. Bu durumdaki arayüzey tabakası yüzey hazırlama ve metal buharlaştırma sırasında oluşabilir [1]. Sonuçlardan artan sıcaklıkla doyum akımı ve engel yüksekliğinin ise arttığı gözlemlendi. Sıcaklık artırıldığında daha fazla elektronun daha yüksek engeli geçebilmesi için yeterli enerjisi olacaktır. Bunun sonucu olarak engel yüksekliği sıcaklık ve gerilim artışıyla artacaktır [28].

I-V verilerinden arayüzey durum yoğunluğu değerleri de hesaplandı (Şekil 4.6). N_{ss} değerleri artan sıcaklıkla azaldı. Yüksek sıcaklıklara gidildikçe arayüzey durumlarının etkisi azalmaktadır. Literatürde benzer sonuçlar vardır. Bu davranış sıcaklığın etkisi nedeniyle yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinin moleküler yeniden yapılanmasına ve düzenlenmesine bağlanır [5].

Diyodun sıcaklığa bağlı nT değişimi Şekil 4.5’ de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda lineerlik kaybolmaktadır. Bu durumda akım iletim mekanizması için çok katlı tünellemeden bahsedilemez.

Au/n-GaAs diyotların oda sıcaklığında 10kHz -1,2MHz frekans aralığında sığa-gerilim (C-V) ölçümleri yapıldı. C-V eğrilerinden (Şekil 4.7) doğal oksit tabakasının sığaları, oksit tabakasının kalınlıkları ve arayüzey durum yoğunlukları hesaplandı. Ara yüzey durum yoğunluğunun frekans arttıkça azaldığı gözlemlendi (Şekil 4.8). Yüksek sıcaklıklarda taşıyıcı yaşam süresi $1/\omega$ ‘dan oldukça büyüktür bu nedenle arayüzey durumları ac sinyali takip edemez [1,25,32]. Diyodun 1MHz frekansta sıcaklığa bağımlı (80K-380K) kapasite-gerilim (C-V) özellikleri incelendi Şekil 4.9’dan görüldüğü gibi C^{-2} -V eğrileri her sıcaklık bölgesinde geniş bir gerilim bölgesinde lineer özellik göstermektedir. Bu eğriler kullanılarak verici atomlarının yoğunluğu N_D , Fermi enerjisi E_F , difüzyon potansiyeli V_D , tüketim tabakasının genişliği W_D , bariyer yüksekliği Φ değerleri hesaplandı. Sıcaklık arttıkça bariyer yüksekliği, difüzyon potansiyeli, tüketim tabakasının genişliği azaldığı gözlemlendi.

Au/n-GaAs yapının oda sıcaklığında Radyometrik Güç Kaynağı Model 69931 ile çalışan Işık Kaynağı kullanılarak cihazın farklı çıkış güçlerinde (50–100–150–200–250 W) akım-gerilim (I-V) ölçümleri yapıldı (Şekil 4.10). Güneş pili tipindeki Au/n-GaAs numunenin verimliliği ve güneş pili parametreleri incelendi. Bu grafiklerden açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum gerilim (V_{max}), maksimum akım (I_{max}) bulundu. Doluluk faktörü (FF) ve güneş pilinin verimi η hesaplandı. Değerlerden ışık kaynağının çıkış gücü arttıkça güneş pilinin veriminin arttığı gözlemlendi. 250 W çıkış gücü için doluluk faktörü %62,98, verim ise %12,20 olarak hesaplandı.

Au/n-GaAs diyotların, akım-gerilim ölçümlerinde Newport Firmasından temin edilen 300W Radyometrik ışık kaynağı kullanılarak farklı dalga boyuna sahip filtreler için farklı ışık şiddetlerinde ölçümler yapıldı. Filtreler renklerine göre isimlendirildi. Bu filtrelerin dalga boyları: beyaz filtre ($300\text{ nm} < \lambda < 700\text{ nm}$), kırmızı filtre ($600\text{ nm} < \lambda$), koyu kırmızı filtre ($300\text{ nm} < \lambda < 400\text{ nm}$), sarı filtre ($400\text{ nm} < \lambda$), siyah filtre (800

nm< λ), turuncu filtre (700 nm< λ) dir. Oda sıcaklığında beş farklı çıkış gücünde (50-250 W), elde edilen verilerden, bütün filtreler için akım-gerilim grafikleri çizildi (Şekil 4.11-4.15). Şekil 4.11' de görüldüğü üzere en düşük çıkış gücü (50 W) için bütün filtrelerin hemen hemen aynı akım-gerilim eğrisine sahip olduğu gözlenmektedir. Burada siyah filtre ve koyu kırmızı filtre için akımın diğerlerine oranla daha düşük olduğu gözlemlendi. Siyah filtre, 800 nm dalga boylarının üzerindeki dalga boylarını geçirir, yani merkez frekansın aşağısındaki frekanslar geri çevirir ve bunun üzerindeki frekansları geçirir. Diyodun yukarı geçiş (high-pass) durumlarına duyarlı olmadığı gözlenmektedir. Koyu kırmızı filtrenin dalga boyu ise (300 nm< λ <400 nm) aralığındadır. Sonuç olarak Au/n-GaAs yapının düşük dalga boylarında yani 300 nm- 400 nm aralığı ve yüksek dalga boylarına 800 nm üzeri fazlasıyla duyarlı olmadığı gözlemlendi. Artan çıkış gücüyle doğru orantılı olarak belli bir gerilime kadar akım değerinin arttığı gözlemlendi. Bu diyot özelliğinden kaynaklanır. Akım-gerilim ölçümlerinden her filtre için idealite faktörü n , doyma akımı I_0 ve Schottky potansiyel engel yükseklikleri Φ_B hesaplanarak çizelgeler halinde verildi (Çizelge 4.4-Çizelge 4.9). Çıkış güçlerinin artmasıyla idealite faktörünün azaldığı ve buna bağlı olarak potansiyel engel yüksekliğinin de arttığı gözlemlendi. Koyu kırmızı ve siyah filtrede idealite faktörü ve engel yüksekliğinin ışığın çıkış gücüne bağlı olmadığı ve büyüklüklerin aynı mertebede kaldığı gözlemlendi (Çizelge 4.6, Çizelge 4.8). Buna göre ışığın numunemizde bir değişiklik yapmadığını söyleyebiliriz. Şekil 4.17' de oda sıcaklığında farklı dalga boylarına sahip tüm filtreler için idealite faktörü-ışık kaynağı çıkış gücü grafiği çizildi. Şekilde görüldüğü gibi farklı dalga boylarına sahip filtreler için gerilim değerinin artmasıyla idealite faktörünün azaldığı gözlemlendi. En fazla idealite faktöründeki azalma beyaz ve sarı filtrede gözlemlendi.

250 W çıkış gücünde güneş pili tipindeki Au/n-GaAs numunenin verimliliği ve güneş pili parametreleri incelendi. Bu grafiklerden açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum gerilim (V_{max}), maksimum akım (I_{max}) bulundu. Doluluk faktörü (FF) ve güneş pilinin verimi η hesaplandı. Sonuçlar Çizelge 4.10'da verildi. En düşük verim siyah filtrede en yüksek verim sarı filtrede gözlemlendi. Sarı filtre için doluluk faktörü doluluk faktörü %7,46 ve verim ise %5,74 dür.

Bu deneysel tez çalışmasında, yüksek dirençli n-tipi GaAs yarıiletken kristaller kullanılarak Au/n-GaAs diyotlar hazırlandı ve oda sıcaklığında akım-gerilim karakteristikleri belirlendi. Hazırlanan yapıların diyot özelliği gösterdiği ve farklı dalga boyları için akım yönünden farklı tepkimeler gösterdiği görülmüştür. En fazla akım değişimi beyaz filtrede gözlendi. Aynı şekilde ışık kaynağı cihazından çıkış gücüne bağlı karakteristikler incelendiğinde yine bu yapının farklı akım tepkimeleri verdiği görüldü. Yapılan hesaplamalarda idealite faktörü ve Schottky engel yüksekliğinin ışığın çıkış gücüne ve ışığın dalga boyuna bağlı olarak bir miktar değiştiği görüldü. Bu çalışmada n-tipi GaAs' in beyaz ışığa daha duyarlı olduğunu ortaya çıkarmıştır ve dolayısıyla bu yarıiletkenin 300 nm ve 700 nm dalga boyları aralığında ışık için bir sensör olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Sze, S.M., “ Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductors Devices, 2nd ed.” , **Wiley**, New York, 1-300 (1981).
2. Rhoderick E. H. and Williams R. H., “Metal-Semiconductor Contacts”, **Oxford**, 1-100 (1988).
3. Nelson, J., “The Physics of Solar Cells”, **Imperial College Press**, 1-16,200-202 (2003).
4. Kar, S., Panchal, K.M. Brattacharya, S. And Varma, S., “On The Mechanism of Carrier Transport In Metal-Thin-Oxide-Semiconductor Diodes On Polycrystalline Silicon”, **IEEE Trans. On Electron Devices**, 29: 1839-1845 (1982).
5. Cova, P. And Singh, A., “Temperature Dependence of I-V and C-V Characteristics of Ni/n-CdF₂ Schottky Barrier Type Diodes”, **Solid State Electronics**, 33: 11 (1990).
6. Card, H.C.and Rhoderick, E.H., “Studies of Tunnel MOS diodes I.Interface Effects in Silicon Schottky Diodes”, **Journal Applied Physics**, 4 (1971).
7. Biber, M., Çakar, M., Türüt, A., “The effect of anodic oxide treatment on n-CdTe Schottky barrier diodes”, **Journal Of Materials Science: Materials in Electronics**, 12: 575-579 (2001).
8. Mathew, X., “ Opto-electronic Properties of an Au/CdTe Device” **Semiconductor Science and Technology**, 18: 1-6 (2003).
9. Razeghi Manijeh, “Fundamentals of Solid State Engineering”, **Kluwer Academic Publishers**, 338-344 (2002).
10. Sharma B. L., “Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junction and Their Application”, **Plenum Press**, New York,176 (1984).
11. Colinge J. P., Colinge C. A., “Physics of Semiconductor Devices”, **Kluwer Academic Publishers**, 139-150 (2002).
12. Wilson A. , The Theory of Electronic Semi-conductors, **Proc. R. Soc. Lind. Ser. A.**, 458, 1333 (1931).
13. Bohlin K. E., “Generalized Norde plot including determination of the ideality factor“, **Journal Applied Physics**, 60(3): 1223-1224.
14. Northrop D. C. and Rhoderick E. H., **Solid State Electronics**, 4, 37 (1978).

15. Rhoderick E. H., Metal-Semiconductor Contacts, **IEEE PROC.**, 129 (1), 1 (1982).
16. Chattopadhyay P. and Daw A. N., **Solid State Electronics**, 29, 555 (1986).
17. Floyd T. L., “Electronics Fundamentals Circuits, Devices and Applications”, **Prentice Hall**, 744-747 (2001).
18. Cheung S.K., Cheung N.W., **Applied Physics Letters**, 49, 85-87, (1986).
19. Keffous A., Siad M., Mamma S., Bekkacem Y. et al., **Applied Surface Science**, 218, 336-342, (2003).
20. Norde H., **Journal Applied Physics**, 50(7), 50-54 (1979)
21. Singh J., “Semiconductor Optoelectronics: Physics and Technology”, **McGraw-Hill Inc.**, 677-682, (1995).
22. Look, D. C., “Electrical Characterization of GaAs Materials and Devices”, **John. Wiley&Sons**, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1-57 (1989).
23. Levinstein M., Rumyantsev S. and Shur M., “Handbook Series On Semiconductor Parameters”, **World Scientific Publishing Company**, vol.1&2, 2nd edition, Singapore, 77-84 (2000).
24. Kittel C., “Katıhal Fiziğine Giriş”, Bekir Karaoğlu, **Güven Kitap Yayın Dağıtım LTD. ŞTİ**, 6 (1996)
25. Altındal Ş., Karadeniz S., Tuğluoğlu N., Tataroğlu A., **Solid State Electronics**, 47, 1847 (2003).
26. Singh A., Reinhart K.C., Anderson W.A., **Journal Applied Physics**, 68(7) 3475 (1990).
27. Altındal Ş., Tataroğlu A., Dökme İ., **Solar Energy Materials and Solar Cells** 85, 345 (2005).
28. Gümüş A., Türüt A., Yalçın A. 2002. Temperature Dependent Barrier Characteristics of CrNiCo Alloy Schotkky Contacts on n-Type Molecular-Beam Epitaxy GaAs, **Journal Applied Physics**, 91, (1), 245-250.
29. Nagotomo T., Ando M., Omoto O., **Journal Applied Physics**, 18, 1103 (1979).
30. Card H.C., Rhoderick E.H., **Journal of Physics D.** , 4, 1589 (1971).
31. Hudait M.K., Krupanidhi S.B., **Solid State Electronics**, 44, 1089 (2000).
32. Nicollian E.H., Brews J.R., MOS Physics and Technology, **John Wiley&Sons**, Newyork, 1982.

33. Hill W.A., Coleman C.C., *Solid State Electronics*, v.23:987 (1980).
34. Singh A., 1985, Charecterization of Interface States at Ni/n-CdF₂ Schottky Barrier Type Diodes and the Effect of CdF₂ Surface Preparation, *Solid State Electronics*, 28 (3): 223-232.
35. Oktik S., Russell G.J., Woods J.1987, Correlation Between Current Transport Mechanism and Etch Features in Au/CdS Single Crystal Schottky Diodes, *Semiconductor Technology*, 2: 661-665.
36. Song Y.P., Van Meirhaege R.L., Detavernier C., Cardon F., Ru G.P., Qu X.P., Li B.Z. 1986, On The Difference in Apparent Barrier Heights as Obtained from Capacitance-Voltage and Current-Voltage Temperature Measurements on Al/p-InP Schottky Barriers, *Solid State Electronics*, 29 (6): 663-671.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERGEN, Döndü Eylül
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.12.1979 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 285 31 37
 e-mail : eylulergen@gmail.com.

Eğitim

Derece

Lisans

Eğitim Birimi

Hacettepe Üniversitesi/ Fizik
 Mühendisliği Bölümü

Mezuniyet tarihi

2002

Lise

Ömer Seyfettin Lisesi

1996

İş Deneyimi

Yıl

2007-

2005–2007

Yer

Gümrük Müsteşarlığı

GCA Yazılım

Görev

Çözümleyici

Proje Danışmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Spor yapmak, Bilgisayar teknolojileri, Sinema