



**Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al
YAPILARININ KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN
AKIM-GERİLİM, KAPASİTE-GERİLİM VE
FOTOVOLTAİK ÖLÇÜMLERDEN HESAPLANMASI**

Fikriye Şeyma KAYA

**Doktora Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fizik Bilim Dalı
Prof. Dr. Songül DUMAN
2018
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al YAPILARININ
KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN AKIM–GERİLİM,
KAPASİTE–GERİLİM VE FOTOVOLTAİK ÖLÇÜMLERDEN
HESAPLANMASI**

Fikriye Şeyma KAYA

FİZİK ANABİLİM DALI
Katıhal Fiziği Bilim Dalı

ERZURUM
2018

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al YAPILARININ KARAKTERİSTİK
PARAMETRELERİNİN AKIM-GERİLİM KAPASİTE- GERİLİM VE
FOTOVOLTAİK ÖLÇÜMLERDEN HESAPLANMASI**

Prof. Dr. Songül DUMAN danışmanlığında, Fikriye Şeyma KAYA tarafından hazırlanan bu çalışma, 09/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Katıhal Fiziği Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Songül DUMAN

İmza : 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bekir GÜRBULAK

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Özlem BARIŞ

İmza : 

Üye : Doç. Dr. İkram ORAK

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Aykut ASTAM

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **15.11/2018** tarih ve ...**45**.../...**20**..... nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al YAPILARININ KARAKTERİSTİK PARAMETRELERİNİN AKIM-GERİLİM, KAPASİTE-GERİLİM VE FOTOVOLTAİK ÖLÇÜMLERDEN HESAPLANMASI

Fikriye Şeyma KAYA

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Songül DUMAN

Bu tezde [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci $1,95 \Omega \cdot \text{cm}$ olan *n*-tipi GaP yarıiletkeni kullanılarak Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapıları üretilmiştir. Klorofil-a çözeltisi kullanılarak spin kaplama yöntemiyle GaP yarıiletkeninin parlak yüzeyi üzerinde ince bir film tabakası oluşturulmuştur. Oluşturulan tabakanın optik soğurma ölçümü ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüsü alınmıştır. Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapılarının oda sıcaklığında akım-gerilim ($I-V$), kapasite-gerilim ($C-V$) ve fotovoltaik ölçümleri alınmıştır. Bu yapılar için karakteristik parametreler (idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri) hesaplanmıştır. Oda sıcaklığında Au/*n*-GaP/Al yapısı için idealite faktörü 1,14 ve engel yüksekliği değeri 0,858 eV; Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapısı için idealite faktörü 1,16, engel yüksekliği değeri ise 0,810 eV olarak hesaplanmıştır. Norde fonksiyonları kullanılarak yapılar için çeşitli parametreler hesaplanmıştır. Norde fonksiyonundan hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri termoionik emisyon teorisinden hesaplanan değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Aynı şekilde her iki yapı için $C-V$ ölçümleri kullanılarak engel yüksekliği, yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi değerleri hesaplanmıştır. Işık şiddetine bağlı olarak $I-V$ ölçümleri alınarak, bu ölçümlerden fotovoltaik parametreler hesaplanmıştır. Klorofil-a yapısının fotovoltaik parametreler üzerine iyileştirici bir etkisi olmuştur.

2018, 99 sayfa

Anahtar Kelimeler Metal-yarıiletken kontaklar, klorofil-a, engel yüksekliği, seri direnç, idealite faktörü, fotovoltaik parametreler

ABSTRACT

PhD Thesis

CALCULATION OF CHARACTERISTICS PARAMETERS OF Au/*n*-GaP/Al and Al/*n*-GaP/Chlorophyll-a/Au STRUCTURES FROM THE CURRENT-VOLTAGE CAPACITANCE-VOLTAGE and PHOTOVOLTAIC MEASUREMENTS

Fikriye Şeyma KAYA

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Department of Solid State Physics

Supervisor: Prof. Songül DUMAN

In this thesis, Au / *n*-GaP / Al and Au / Chlorophyll-a / *n*-GaP / Al structures were produced using *n*-type GaP semiconductor with a resistivity of 1.95 Ω.cm and [100] orientation. A thin film layer was formed on the bright surface of the GaP semiconductor by spin coating method using Chlorophyll-a solution. Image of the formed layer were taken by optical absorbance measurement and scanning electron microscope (SEM). The current voltage ($I-V$), capacitance-voltage ($C-V$) and photovoltaic measurements were taken at room temperature of Au / *n*-GaP / Al and Au / Chlorophyll-a / *n*-GaP / Al structures. Characteristic parameters (ideality factor, barrier height and series resistance values) of these structures were calculated. The ideality factor for the Au / *n*-GaP / Al structure at room temperature was 1,14, the barrier height was 0,858 eV and the Au / Chlorophyll-a / *n*-GaP / Al structure was calculated as 1,16 and the barrier height was calculated as 0,810 eV. Various parameters of structures were calculated by using Norde functions. The ideality factor and barrier height values calculated from the Norde function were found to be consistent with the values calculated from the thermoionic emission theory. Similarly, for both structures, the height of the obstacle, the carrier concentration in the semiconductor, the diffusion potential and the Fermi energy level were calculated using $C-V$ measurements. Photovoltaic parameters were calculated from these measurements by taking $I-V$ measurements based on light intensity. Chlorophyll-a structure has a healing effect on photovoltaic parameters.

2018, 99 pages

Keywords: Metal-semiconductor contacts, chlorophyll-a, barrier height, series resistance, ideality factor, photovoltaic parameters

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümünde yapılmıştır.

Çalışmalarım boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Songül DUMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında derin bilgilerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bekir GÜRBULAK'a, yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Özlem BARIŞ ve Doç. Dr. Güven TURGUT'a, ölçülerimde yardımcı olan Doç. Dr. İkrım ORAK'a teşekkür ederim. Ayrıca zor zamanlarımda yardımına koşan dostum Dr. Öğr. Üyesi Sevda SARITAŞ'a, her zaman desteklerini hissettiğim ve her daim yanımda olan manevi kardeşlerim Zeynep GÖRÇEK ve Nergis ULAŞ'a teşekkür ederim.

Fizik bölümü laboratuvarlarında çalışma imkânı sağladığı için başta bölüm başkanımız olmak üzere tüm Fizik Bölümü elemanlarına ayrıca teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca bana emeği geçen, teşviklerini ve desteğini her zaman hissettiğim, her türlü fedakârlığı benden esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan, her türlü sabrı gösteren, beni güçlü kılan en büyük destekçim, eşim Ali Serdar KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Fikriye Şeyma KAYA

Kasım, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. Giriş.....	10
2.2. Metal/Yarıiletken Kontaklar.....	12
2.2.1. Metal/n-Tipi yarıiletken doğrultucu kontak	13
2.2.2. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontaklar	17
2.3. Schottky Diyotlarda Termodiyonik Emisyonla Akım İletimi	20
2.4. Seri Direnç Etkisi	22
2.5. Seri Direnç Hesaplama Yöntemleri.....	23
2.6. Norde Fonksiyonları ile Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	23
2.7. Kapasite – Gerilim Karakteristikleri	24
2.8. Sol-Gel Yöntemi.....	27
2.9. Yarıiletkenlerde Soğurma.....	28
2.9.1. Doğrudan (Direkt) bant geçişi	31
2.9.2. Dolaylı (İndirekt) bant geçişi	31
2.10. Fotovoltaik Etki	32
2.11. p - n Eklem Güneş Pilleri	33
2.12. Güneş Pili Yapımında Kullanılan Hesaplamalar.....	37
2.12.1. Kısa devre akımı (I_{sc})	37
2.12.2. Açık devre gerilimi (V_{oc}).....	37
2.12.3. Dolu faktörü (FF)	38
2.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	44

3.1. Giriş	44
3.2. GaP Yarıiletkeninin Özellikleri.....	44
3.3. Numunelerin Temizlenmesi	45
3.4. Klorofil-a Yapısı ve Özellikleri.....	45
3.5. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al Yapılarının Üretilmesi	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	52
4.1. Giriş	52
4.2. SEM Görüntüleri	52
4.3. Soğurma Ölçüleri	54
4.4. Akım-Gerilim Parametrelerinin Hesaplanması	57
4.5. Norde Fonksiyonlarından Hesaplanan Parametreler	63
4.6. Oda Sıcaklığında C–V Karakteristiklerinin İncelenmesi.....	68
4.7. Fotovoltaik Parametrelerin Hesaplanması.....	79
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	89
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER DİZİNİ

E_v	Valans bandının tavanının enerjisi
I_0	Satürasyon akımı
J	Akım yoğunluğu
J_0	Ters beslem doyma akım yoğunluğu
n	İdealite faktörü
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
$^{\circ}C$	Santigrad derece
A	Diyodun etkin alanı
A^*	Richardson sabiti
BSE	Geri Saçılan Elektronlar
C	Kapasite
$C-V$	Kapasite-gerilim
E_c	İletkenlik bandının tabanının enerjisi
E_f	Fermi enerjisi seviyesi
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
Emk	Enine magnetorezistans katsayısı
Emv	Enine manyetik alanda voltaj
E_p	Fononun enerjisi
E_{sv}	Enine sıfır voltaj
$F(V)$	Norde fonksiyonu
FF	Doluluk faktörü
h	Planck sabiti
$I-V$	Akım-gerilim
I_L	Işıktan oluşan akım
I_m	Maksimum akım

I_s	Diyot doyma akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
k	Boltzmann sabiti
K	Kelvin
m^*	Etkin kütle
m_n^*	Nötronun etkin kütlesi
$m\mu$	Milimikron
N_c	Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
N_d	Donor konsantrasyonu
P_m	Maksimum güç
q	Elektrik yükü
R_s	Seri direnç
SE	İkincil Elektronlar
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
V_{dif}	Difüzyon potansiyeli
V_m	Maksimum voltaj
V_{oc}	Açık devre voltajı
w	Deplasyon bölgesi genişliği
α	Soğurma katsayısı
λ	Dalga boyu
ν	Fotonun frekansı
Φ_b	Engel yüksekliği
Φ_{eff}	Etkin engel yüksekliği
$\Psi(x)$	Potansiyel fonksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Metal, yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin enerji bant diyagramı	10
Şekil 2.2. Bazı elementlerin taşıyıcı yoğunluğu	11
Şekil 2.3. Periyodik tablonun II-VI. grup elementleri	11
Şekil 2.4. Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.....	14
Şekil 2.5. Kontakta sonra termal denge durumunda oluşan enerji bant diyagramı	15
Şekil 2.6. Metal/yarıiletken doğrultucu kontak için düz beslem durumu	16
Şekil 2.7. Metal/yarıiletken doğrultucu kontak için ters beslem durumu	17
Şekil 2.8. Kontakta önce metal/n-tipi yarıiletken enerji bant diyagramı	18
Şekil 2.9. Kontakta sonra metal/n-tipi yarıiletken enerji bant diyagramı	19
Şekil 2.10. Kontakta sonra düz beslem ve ters beslem durumları	20
Şekil 2.11. Metal yarıiletken kontaklarda seri direncin etkisi	22
Şekil 2.12. Spin-coating sisteminin kaplama adımları.....	27
Şekil 2.13. Spin-coating cihazı	28
Şekil 2.14. Üst ve alt bantlardaki enerji durumları ve bantlar arası geçiş	30
Şekil 2.15. Direkt bant geçişli yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı	31
Şekil 2.16. İndirekt bant geçişli yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı.....	32
Şekil 2.17. p-n eklem oluşmadan önceki p-tipi ve n-tipi yarıiletkenin enerji bant diyagramı.....	34
Şekil 2.18. Tek eklemli güneş pilinin yapısı.....	34
Şekil 2.19. İdeal güneş pilinin karanlık ortamdaki $I-V$ grafiği.....	35
Şekil 2.20. Karanlık ve aydınlıkta güneş pili $I-V$ grafiği	35
Şekil 2.21. Güneş pili eşdeğer şeması.....	36
Şekil 2.22. Güneş pilinin azami çıkış gücü.....	38
Şekil 2.23. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	41
Şekil 2.24. Numune yüzeyine gönderilen ışınların numuneyle etkileşimi	42
Şekil 3.1. GaP yarıiletkenin atomik hücre yapısı.....	44
Şekil 3.2. Klorofil-a yapısı.....	47
Şekil 3.3. Klorofilin soğurma spektrumu.....	49
Şekil 3.4. Vakum buharlaştırma ünitesi.....	50

Şekil 3.5. Tavlama fırını	50
Şekil 3.6. a)Au/n-GaP/Al ve b)Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının şematik gösterimi.....	51
Şekil 4.1. Ölçümlerde kullanılan SEM sistemi.....	52
Şekil 4.2. a) Klorofil-a/n-GaP yapısının yüzey görüntüsü b) tesir kesitsel (yanal) SEM görüntüsü.....	53
Şekil 4.3. Soğurma ölçüm cihazı	54
Şekil 4.4. Cam üzerine büyütülen Klorofil-a yapısının soğurma spektrumu.....	55
Şekil 4.5. Cam üzerine büyütülen Klorofil-a yapısının $(ahv)^2(cm^{-2}) - E$ (eV) grafiği	55
Şekil 4.6. Klorofil-a çözeltisinin soğurma spektrumu	56
Şekil 4.7. $I-V$ karakteristiklerini almak için kullanılan deney düzeneği.....	59
Şekil 4.8. Au/Klorofil-a yapısının $I-V$ grafiği	60
Şekil 4.9. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının $I-V$ grafiği	61
Şekil 4.10. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının aydınlık ve karanlık ortamda $I-V$ grafiği (3. Nokta).....	63
Şekil 4.11. Au/n-GaP/Al yapısının karanlık ortamda $V-F(V)$ grafiği (1. Nokta).	65
Şekil 4.12. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının karanlıkta $V-F(V)$ grafiği (3. Nokta) ..	66
Şekil 4.13. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100 kHz -5 MHz frekans aralığında $C-V$ grafiği	72
Şekil 4.14. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100 kHz -5 MHz frekans aralığında $C-V$ grafiği.....	73
Şekil 4.15. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100-900 kHz frekans aralığında C^2-V grafiği	74
Şekil 4.16. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 1-5 MHz frekans aralığında C^2-V grafiği	75
Şekil 4.17. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100-900 kHz frekans aralığında C^2-V grafiği	77
Şekil 4.18. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 1-5 MHz frekans aralığında C^2-V grafiği	78
Şekil 4.19. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında karanlık ve aydınlık ortamdaki $I-V$ karakteristiği (4. Nokta).....	80

Şekil 4.20. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının karanlık ve aydınlıkta $I-V$ grafiği (4.Nokta)	81
Şekil 4.21. Solar simülatör ölçüm cihazı	81
Şekil 4.22. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının farklı ışık şiddetlerinde $I-V$ grafiği.....	82
Şekil 4.23. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $I-V$ grafiği.....	83
Şekil 4.24. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $J_{sc} - V$ grafiği.....	84
Şekil 4.25. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $J_{sc} - V$ grafiği	85
Şekil 4.26. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği	87
Şekil 4.27. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği.	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri	67
Çizelge 4.2. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri	67
Çizelge 4.3. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının $I-V$ ve Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri	67
Çizelge 4.4. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının $I-V$ ve Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri	68
Çizelge 4.5. Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının C^2-V ölçümlerinden elde edilen karakteristik parametreler	76
Çizelge 4.6. Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısı için C^2-V eğrilerinden elde edilen karakteristik parametreler	79
Çizelge 4.7. Farklı ışık şiddetlerinde Au/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının V_{oc} , FF ve η değerleri.....	85
Çizelge 4.8. Farklı ışık şiddetlerinde Au/Klorofil-a/ <i>n</i> -GaP/Al yapısının V_{oc} , FF ve η değerleri	86

1. GİRİŞ

Doğadaki herşeyin kuvvetin sonucunda enerjisiyle oluştuğu kuşkusuz bir gerçektir ve canlılar bu enerjiyi hızlıca kullanmakta ve tüketmektedir. Geçmişten günümüze enerji ihtiyacı çeşitli kaynaklardan sağlanmış fakat kullanılan bu kaynakların çoğu yenilenebilir enerji kaynağı olmadığından bir süre sonra tükenmeye mahkûm olmuştur. Hızlıca tükenen bu enerji insanlığı yeni arayışlara itmiş ve hem sürekli var olan, hem doğayı koruyan hem de tükenmeyen bir enerji kaynağı bulmaya yönlendirmiştir. Ayrıca bu özelliklerin yanı sıra günümüz dünyasında maliyetinin düşük olması da önemli bir kriterdir. Bu özelliklere sahip Dünyamıza en yakın, varlığı evrenin varlığına dayanan tükenmez enerji kaynağı Güneş'tir.

Astrofizik açısından bakılacak olursa çekirdek tepkimeleri ile (H yakarak He dönüştürür) kendi enerjisini üreten, küresel bir yapıya sahip kütle çekiminin ışınım basıncıyla dengelendiği plazmadan oluşan Dünya'ya en yakın yıldız Güneş'tir. Güneş ışınları Dünya'ya yaklaşık 8,5 dakikada ulaşmaktadır. Dünya'dan uzaklığı yaklaşık $1,5 \times 10^{11}$ m, kütlesi $2,0 \times 10^{30}$ kg, çapı $1,4 \times 10^9$ m olan Güneş diğer yıldızlarla karşılaştırıldığında, küçük sayılabilecek büyüklükte bir yıldız olup, yine de tek başına Güneş Sistemi'nin (gezegenler, uydular, göktaşları ve kuyruklu yıldızlar dâhil) toplam kütlesinin %99,8'ni oluşturur (Kundakçı 2014).

Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen yerküre atmosferinin dışına ulaşan enerji, yalnızca küçük bir bölümdür. Güneş ışınımı atmosferi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın en önemli değişken, ışığın atmosferde aldığı yolun uzunluğudur. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, hem kat ettiği mesafe hem de atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmeleridir.

Güneş merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotoser) sıcaklığı 6000 K'dir. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Işınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir. Ancak, yerkürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yerküreye gelen ışınımın büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Dünyamıza güneşten gelen spektrumun, kırmızının ötesinde kalan kızılötesi ve morun ötesinde kalan morötesi bölgelerinde bulunan ışınımında toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer 13267 W/m² olup bu değer "güneş değişmezi" olarak kullanılır. Güneş ışınları havaküreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerinden saçılırlar ve yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70'i ulaşır. Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; Güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Örneğin güneş tam tepedeyken bu değer, hava-kütle (air mass) olarak adlandırılır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra difüzyona uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin bulutlu bir günde güneş ışınlarının büyük bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşurken, bulutsuz güneşli bir günde güneş enerjisinin büyük bir bölümü doğrudan ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayılmış ışınım toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Fotovoltaik sistemlerin seçiminde, güneş ışınım verileri çok büyük önem taşır. Güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için, "Güneş Kuşağı" adı verilen, 45° kuzey-güney enlemleri arasında kalan bölgede yer almak gerekmektedir (Kundakçı 2014).

Modern bilimde elektronik geniş bir yer kaplamaktadır. Yarıiletken teknolojisi uzun bir geçmişe sahiptir. Yarıiletken teknolojisinin içinde diyotlar önemli yer tutmaktadır. Yapımlarının kolaylığı ve karakteristiklerinin çoklukla bilinmesi nedeniyle diyotların özelliklerini kullanarak daha etkin devre elemanları yapmanın önemi her geçen gün daha da artmaktadır. İlk olarak Walter Schottky'nin (1874) metal-yarıiletken (MY) kontaklar arasındaki yüzey potansiyel engelinin oluştuğunu bulmasıyla kullanılmaya başlayan Schottky kontaklar günümüzde de hala kullanılmaya ve gelişmeye devam etmektedir. Kristallerin elektriksel davranışlarını inceleyen ilk çalışma Braun (1874) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yarıiletken tarafındaki arayüzeydeki deplasyon tabakasının varlığını Schottky (1938) ispatlamıştır. Kontakların karşılıklı akım taşımaları engel yüksekliğiyle açıklanır. Schottky, metalin iş fonksiyonuyla diyotların engel yükseklikleri arasında bir bağlantı olduğunu açıklamıştır (Sze 1981; Mönch 1994).

Schottky ve Mott (1938), elektronların gözlenen doğrultma yönünde potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçtiğini açıklamışlardır. Mott (1938), potansiyel bir engelin varlığını farketmiş ve bunun sebebi olarak metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını öne sürmüştür. Mott (1938), arayüzey bölgesinde yüklü (safsızlık) atomlarının olmadığı durumda elektrik alanın sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin metale olan yaklaşımla aynı uzaklıkta lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir.

Bethe ve Schottky'nin (1940), çalışmaları metal-vakum sistemlerindeki iletkenlikle, MY diyotlardaki iletkenlik arasındaki benzerlikleri ortaya koymuştur.

Ohl (1941), fotovoltajik etki ve p-n eklemeni keşfetmiş ve küçük bir silisyum plaka üretmiştir. Işık ortamına bıraktığı bu plakanın yüzeyinden geçen akımda büyük artış olduğunu gözlemlemiştir. Bugüne kadar üretilen fotovoltajik pillerinin çoğu silisyum p-n eklemelerine dayanır. Bu tip pillerin özelliklerinin araştırılması p ve n tipi katkıların, yarıiletken özelliklerin kontrolündeki rollerinin anlaşılmasını sağlamıştır.

Bethe (1942) termiyonik emisyon teorisini bularak bu dönemlerin en önemli adımlarından birini atmıştır. Bu teoriye göre akım, sürüklenme ve difüzyondan ziyade, metal içerisindeki elektronların emisyonuyla meydana gelmektedir. Bu çalışmaların ardından nokta-kontak transistörleri icat edilmiş ve daha sonra metal filmin yüksek vakum sisteminde buharlaştırılması metodu kullanılarak kontaklar üretilmiştir.

MY kontak yapımında IV. grup elementi olan silisyum, germanyum gibi yarıiletkenlerin yanı sıra farklı kristal yapıya sahip ikili ve üçlü bileşikler de kontak yapımında kullanılmaktadır.

Schottky diyotlardaki arayüzey katmanları üzerine yapılan ilk çalışma Cowley and Sze (1965) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada farklı metaller kullanarak Schottky engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonuna, arayüzey tabakasının kalınlığına ve yüzey hallerine bağlılığını incelemişlerdir.

Sze ve Crowell (1966), Schottky'nin difüzyon ve Bethe'nin termiyonik emisyon modelini birleştirerek Schottky diyotların akım-iletim mekanizmasına önemli bir adım olan termiyonik emisyon-difüzyon teorisini ortaya koymuşlardır.

Ziel (1968), MY kontakların karakteristiklerini sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçmüş ve parametrelerin sıcaklıkla değişimini incelemiştir.

Nannichi *et al.* (1969), 25-500°C arasındaki sıcaklıklarda 100°C'lik adımlarla yaptığı tavlama işlemi neticesinde Galyum Fosfat (GaP) Schottky diyodu için optimum tavlama sıcaklığını 500°C olarak belirlemiş, Ni-Ge alaşımının iyi bir omik kontak malzemesi olduğunu ve Schottky kontak için Cr ve Ni metallerinin iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

Likit faz epitaksi (LPE) ve buhar taşıma metotlarıyla (vapour transport methods) üretilen GaP epitaksiyel tabakalarına tellüryum, kükürt ve çinko kullanılarak katkılama yapılmış ve taşıyıcı konsantrasyonundaki değişimler araştırılmıştır. Yapılan

katkılamaların tümünde, taşıyıcı konsantrasyonun büyüyen tabakanın kalınlığına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir (Peaker *et al.* 1970).

Card ve Rhoderick (1971), düz beslem $I-V$ karakteristiklerinden elde edilen idealite faktörünün sayısal değerine bağlı olarak, metalle ve yarıiletkenle dengede olan arayüzey durumlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir.

Goldberg (1971), GaP yarıiletkeni üzerine kimyasal biriktirme (chemical deposition) tekniğini kullanarak farklı metaller (Au, Ni, Cr) oluşturup çeşitli MY yapılar elde etmiş ve bu yapıların ideale yakın davranış sergilediğini belirtmiştir.

Queriagli *et al.* (1992), Al/Klorofil-a/Ag yapısının oda sıcaklığında karanlıkta $I-V$ karakteristiklerinin iletim mekanizmalarının aydınlatılması ve hücre parametrelerinin değerlendirmesini yapmıştır. Klorofil-a tabakasının soğurma ölçüleri de değerlendirilmiştir. Klorofil-a yapısının p tipi yarıiletken davranışı sergilediği ve megaohm mertebesinde yüksek dirence sahip olduğu bulunmuştur. Seri direnç $1,2 \times 10^5 \Omega$ ve idealite faktörü değeri $n=1,6$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen numunelerin seri direnç değerleri 10^4 ve $10^7 \Omega$ ve idealite faktörü değerleri ise 1,5 – 3,0 değerleri arasında değiştiği belirtilmiştir.

Boussaad *et al.* (1993), Al/ Klorofil-a/Ag yapısının sıcaklığa bağlı karanlık ve aydınlık ortamdaki akımlarını araştırmıştır. Al üzerine elektrodepozisyon işlemiyle kalınlığı 3000 Å olan Klorofil-a tabakası oluşturulmuş ve tabakanın soğurma ölçümleri alınmıştır. Klorofil-a mikro kristali suda kolaylıkla çözülebilir. 60°C'den daha yüksek sıcaklıkta kristal yapısı bozulmaktadır. -25 ile 55°C sıcaklıkları arasında 15 dakika beklenerek sıcaklığa bağlı fotoakımları ölçülmüş ve karanlık ortamın aksine sıcaklık azaldıkça fotoakımın arttığı bulunmuştur.

Corker *et al.* (1978), ürettiği Au/Klorofil/Hg yapısının omik davranış ve Cr/ Klorofil /Hg yapısının ise doğrultucu davranış sergilediğini belirtmiştir. Bu diyotlara ait aydınlık ve karanlıkta $C-V$ ve $C-f$ ölçümleri alınmış ve yaşlanma etkisi

incelenmiştir. $I-V$ ölçülerinden hesaplanan direnç değerleri ise 10^5 ve $10^8 \Omega$ arasında değişen değerleri almıştır.

Tang *et al.* (1975), elektrodepozisyon yöntemiyle hazırlanan mikrokristal Klorofil-a filminin güçlü bir fotovoltaiik etkiye sahip olduğunu ve metal/Klorofil-a/metal fotovoltaiik hücrelerinde p tipi yarıiletken özelliği gösterdiğini belirtmektedir. Fotovoltaiik hücrelerin elektrotları olarak Al, Cr, Au, Cu, Ni ve Ag gibi metaller kullanılmıştır. Klorofilin yaklaşık kalınlığı 1000-5000 Å aralığındadır. Al/ Klorofil /Hg diyodunun karanlıktaki $I-V$ karakteristikleri ve 400-800 nm dalga boyu aralığındaki soğurma spektrumu incelenmiştir. Ayrıca kullanılan bu metallerin iş fonksiyonları hesaplanmıştır.

III-V yarıiletkeni olan GaP, geniş bant (2,26 eV) aralığından dolayı yüksek sıcaklık uygulamalarında büyük bir potansiyele sahiptir (Coluzza *et al.* 1996; Kabushemeyet *et al.* 1989). Son zamanlarda GaP Schottky engelleri optoelektronik devre elemanı olarak kullanılmaya başlamıştır (Yiğit 2011). Böylece GaP Schottky teknolojisindeki ileri gelişmeler ve yüksek verimli dedektörler, metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarla ilgili daha fazla araştırma yapılmasında ve bunların elektronik parametrelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Elektronik parametreler $I-V$ ve $C-V$ ölçüm metotları kullanılarak belirlenmektedir (Güzel 2006).

Ismail *et al.* (1995), (110) ve (111) yönelimindeki GaP materyalini farklı yöntemlerle aşındırma işlemi uygulayarak Au ve In metalleri ile kontak yapıp idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerini hesaplamış ve bu değerleri kontak malzemesine göre karşılaştırmıştır. Bu kontakların idealite faktörü değerleri 2- 1,1, engel yüksekliği değerleri 1,60 eV – 1,05 eV arasında değerler almıştır.

Güzel (2006), 80–375 K sıcaklık aralığında Au-GaP kontaklarının akım iletim mekanizmasını modifiye Gauss dağılımı kullanarak termioyonik emisyon teorisiyle analizini yapmıştır. Arayüzeydeki engel yüksekliklerinin homojensizliğinden dolayı Gauss dağılımına sahip olduğunu gözlemiş ve Gauss dağılımı için ortalama engel

yüksekliği ve standart sapma değerlerini sırasıyla 0,96 eV ve 0,0998 eV olarak elde etmiştir. $I-V$ karakteristiklerinden sıcaklığın artmasıyla engel yüksekliğinde artma ve idealite faktöründe ise azalma olduğunu belirlemiştir. Tünelleme faktörünün akım iletiminde etkin olduğu gözlenmiş ve $C-V$ ölçümlerinden ise sıcaklık artarken engel yüksekliğinin azaldığı görülmüştür.

Önal (2009), Au-GaP yapıların $I-V$ karakteristiklerini sıcaklığa bağlı olarak termioyonik emisyon teorisini kullanarak incelemiştir. $I-V$ karakteristiklerinden idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri hesaplanmıştır. Oda sıcaklığında idealite faktörü 1,47 ve engel yüksekliği değeri 0,785 eV olarak bulunmuştur. Sıcaklığın artmasıyla idealite faktörünün azaldığı engel yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Oda sıcaklığında 5 kHz – 400 kHz frekans aralığında kapasite-voltaj karakteristikleri incelenmiştir. Difüzyon potansiyeli, engel yüksekliği, donör atom yoğunluğu, tüketim tabakası genişliği ve yalıtkan tabaka kalınlığı hesaplanmıştır.

Demir (2011), n tipi GaP kristaline Au kontaklar yaparak Schottky diyot üretmiş ve 125-375 K aralığında 25 K'lik adımlarla $I-V$ karakteristiklerini incelemiştir. Akım iletim mekanizmaları tüm sıcaklık aralığında Poole Frenkel (PF) ve Schottky tipi iletim mekanizmaları ele alınarak incelenmiştir. Düşük sıcaklık bölgesinde PF tipi, yüksek sıcaklık bölgesinde ise Schottky tipi iletimin baskın olduğu görülmüştür. İdealite faktörü değeri oda sıcaklığında (300 K) 1,23 iken 80 K'de 3,85 olarak bulunmuştur. Ayrıca yansıma ve geçirgenlik ölçümlerinden GaP yarıiletkeninin yasak enerji aralığını 2,22 eV olarak hesaplamıştır.

Oda sıcaklığında alınan ölçümler Schottky diyotların $I-V$ karakteristiklerinin MY arayüzeyinde engel oluşumunun yapısı veya diyotların akım iletimi hakkında yeterli bilgiyi vermez (Chand and Bala 2005). Sıcaklığa bağlı alınan $I-V$ karakteristikleri iletim mekanizmasını geniş bir şekilde araştırmaya olanak sağlar (Jiang *et al.* 2003).

Termioyonik emisyon teorisine göre Schottky diyotların $I-V$ karakteristikleri analiz edildiğinde genellikle sıcaklığın azalması ile engel yüksekliğinde anormal bir azalma ve

bunun tam tersi olarak idealite faktöründe ise bir artış gözlenmiştir (Zhu *et al.* 2000; Duman 2006).

Işığın yakalayan bir molekül olan klorofil, fotoreseptör olarak adlandırılır. Klorofilin 2 çeşidi vardır; Klorofil-a ve Klorofil-b'dir. Yan zincirindeki bileşikler yönünden birbirinden farklıdır. Klorofil-a'nın yan zincirinde CH_3 varken Klorofil-b'de CHO vardır. Her iki klorofil çeşidi de iyi bir fotoreseptör olup, görünür bölgede güçlü soğurma piki verir. Kloroformda çözünen klorofil solüsyonu ITO, cam ve kuvars üzerine spin coating yöntemiyle 2000 rpm'de 40 saniye döndürülerek yapılan kaplama işleminde ince filmin tabaka kalınlığı 492 Å olarak ölçülmüştür. Klorofilin yasak enerji aralığı 5,15 eV ve ortalama elektriksel iletkenlik $1,92 \times 10^{-9} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Hasiah *et al.* 2007).

Farklı metaller buharlaştırılarak Ag/n-Ga, Au/n-GaP, Ni/n-GaP, Al/n-GaP, Cr/n-GaP, Mo/n-GaP, Pt/n-GaP ve Cu/n-GaP üretilen Schottky diyotların oda sıcaklığında $I-V$ ve $C-V$ karakteristikleri ölçülmüş, metallerin iş fonksiyonu ile diyotların engel yüksekliği arasında lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Lei 1979; Lee 2003; Lin 2003; Ghita 2008).

120–320 K sıcaklıkları arasında 20 K'lik adımlar ile Ni/n-GaP Schottky diyodunun elektriksel karakterizasyonunu incelenmiş ve bu numunenin $I-V$ ve $C-V-f$ ölçümlerini alınmıştır (Duman *et al.* 2012). 320 K'de idealite faktörünü değeri 1,27 ve engel yüksekliği 1,01 eV iken 120 K'de ise idealite faktörü 5,93 engel yüksekliği 0,38 eV olarak hesaplanmıştır.

Shiwakoti (2016), Ni/n-GaP Schottky diyodunun 140 K–300 K aralığında $C-V$ ve $G/\omega-V$ karakteristiklerini kullanarak seri direnç ve ara yüzey yoğunluğu değerlerinin sıcaklıkla değişimini incelemiştir. Arayüzey durum yoğunluklarının Ni/n-GaP Schottky diyot karakteristiklerini önemli ölçüde değiştirdiği, sıcaklık ve frekansa güçlü bir şekilde bağlı olduğu bulunmuştur.

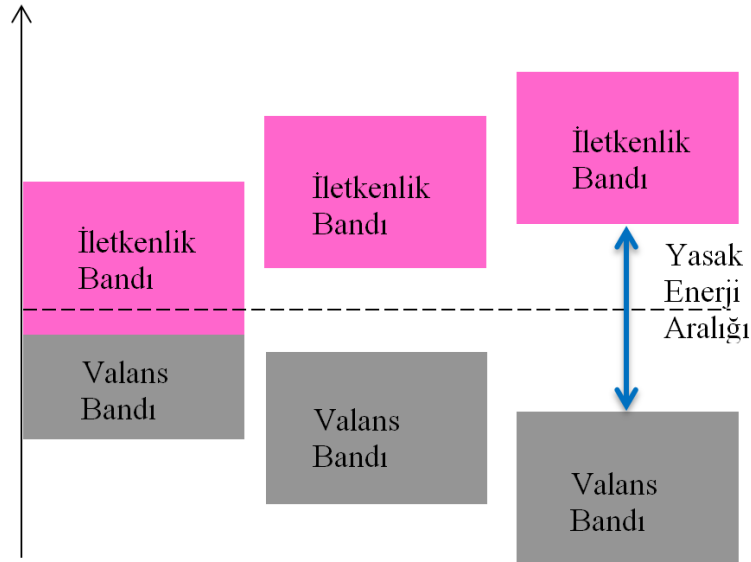
Shiwakoti (2017), Au/n-GaP diyodunun 220–400 K sıcaklıkları arasında $I-V$ karakteristiklerini incelemiştir. $I-V$ karakteristiklerinden idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri hesaplanmıştır. İletim mekanizmaları, yüksek voltaj bölgesinde termoiyonik emisyon teorisi ve düşük voltaj bölgesinde tünelleme ile gerçekleştiği bulunmuştur. Sıcaklık azaldıkça engel yüksekliği değerinin azaldığı ve idealite faktörünün de arttığı gözlemlenmiştir.

Doktora tezi olarak sunulan bu çalışmanın birinci bölümü konu ile ilgili bir literatür çalışmasını içeren ve konunun amacı ile önemini belirten "Giriş" bölümü; ikinci bölümü, "Kuramsal Temeller"; üçüncü bölümü, Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının hazırlanması ve üretilmesi için gerekli olan malzemeler ve deney sistemi ile ölçülerin alınmasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler içeren "Materyal ve Yöntem"; dördüncü bölümü Klorofil-a ince filminin optiksel ve yapısal özelliklerinin incelenmesi, Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının oda sıcaklığında karşılaştırmalı $I-V$ ve $C-V$ karakteristikleri ve bunlardan hesaplanan temel diyot karakteristik parametrelerinin yorumlandığı ve fotovoltajik parametrelerin hesaplanmasını içeren "Araştırma Bulguları"; beşinci bölümü ise sonuçların değerlendirilmesini içeren "Tartışma ve Sonuç" bölümlerinden oluşmaktadır.

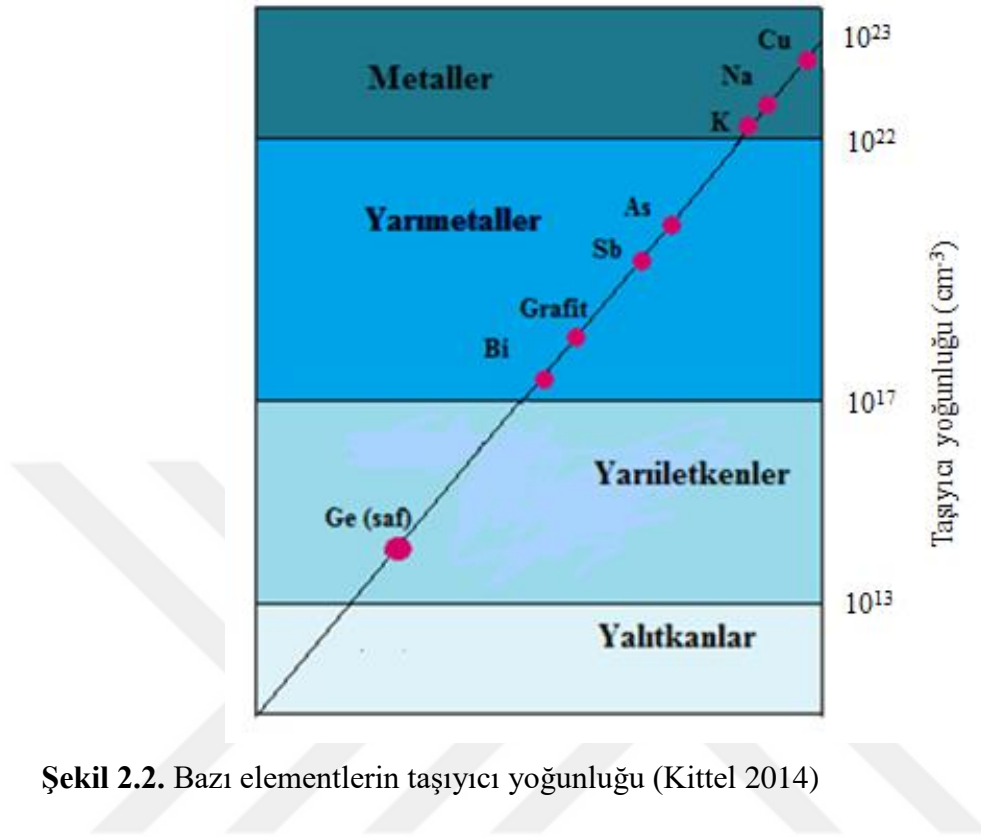
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Giriş

Son zamanlarda devre elemanı teknolojisinde büyük bir patlama olmasına rağmen, yarıiletken teknolojisi yüzyılı aşkın süredir ilgi odağı olmuş ve günümüzde de araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Elektronik ve optoelektronik devrelerde kullanılan yarıiletkenler katıhal fiziğinin önemli bir kısmını kapsamaktadır. İletkenlikleri metallerle yalıtkanlar arasında olan malzemelere yarıiletken malzemeler adı verilir (Şekil 2.1, Şekil 2.2). Normal durumda yalıtkan olan bu maddeler ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken duruma gelirler. Bu malzemeler periyodik tablonun IV. grubunda bulunan elementel yarıiletken malzemelerdir. Ayrıca periyodik tablonun III–V grubu ve II–VI grubu elementlerinin bileşimi ile oluşan ikili (binary) yarıiletken malzemeler meydana gelmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.1. Metal, yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin enerji bant diyagramı



II	III	IV	V	VI
Be	B	C	N	O
Mg	Al	Si	P	S
Ca	Ga	Ge	As	Se
Sr	In	Sn	Sb	Te
Ba		Pb		
Rs				

Şekil 2.3. Periyodik tablonun II-VI. grup elementleri

Yarıiletken temelli aygıtlar oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Bunlar diyotlar, transistörler, fotovoltaik piller gibi devre elemanlarıdır. Tek başına devre elemanı olarak kullanıldığı gibi entegre devrelerin bileşeni olarak da kullanılabilir. Diyotlar temel olarak p-n eklem ve MY kontaklar olmak üzere ikiye ayrılır. Katıların elektriksel özelliklerinin incelenmesi ve elektronik devrelerde kullanılması hakkındaki ilk çalışma

elektrolitlerin ve kristallerin elektriksel davranışlarını inceleyen Braun (1874) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir galen kristali ve metal nokta arasındaki kontakta sadece tek yönlü akımın serbestçe geçtiğini açıklamıştır. 1897 yılında ise katot ışınları tüpünü geliştirmiştir. MY doğrultucu kontakların, yüzey koşullarına ve uygulanan gerilim kutuplanmasına bağlı olduğunu da belirtmiştir. Bu yapılar, ilk olarak radyo dedektörlerinde daha sonra da radar dedektöründe kullanılmış olup, günümüzde mikrodalga diyot ve transistörlerde başarıyla kullanılmaktadır.

Schottky ve Bethe'nin (1940), çalışmaları metal-vakum sistemlerindeki iletkenlikle, MY diyotlardaki iletkenlik arasındaki benzerlikleri ortaya koymuştur.

Bethe (1942), termoyonik akım teorisine göre akım sürüklenme ve difüzyondan ziyade, metal içerisindeki elektronların emisyonuyla meydana gelmektedir. 1945'ten sonra yarıiletken fiziği alanında MY kontak çalışmaları nokta-kontak transistörlerin icadı ile sonuçlanmıştır. Daha sonra yüksek bir vakum sisteminde metal filmin buharlaştırılması ile daha sabit olan kontaklar üretilmiştir.

2.2. Metal/Yarıiletken Kontaklar

Bütün yarıiletken devre elemanlarında yer alan MY kontaklar büyük bir öneme sahiptir. Kontak, kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemenin en az dirençle atomik boyutta temas etmeleri olarak tanımlanabilir. İdeal kontak için gerekli olan kontak malzemenin yüzeyinin temiz ve pürüzsüz olmasıdır (Crowel and Sze 1965).

MY kontak oluşumunda kristaldeki elektronları dışarıya atmak için, elektronlara belirli bir miktarda enerji verilmelidir. Fermi enerji seviyesindeki bir elektronu sıfır kinetik enerjiyle vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerjiye metalin veya yarıiletkenin iş fonksiyonu denir (Rhoderick 1978). Burada vakum seviyesi; metalin veya yarıiletkenin yüzeyidir. Kimyasal olarak, bir atomun bir elektron alırken açığa çıkardığı enerji veya bir atomun bir elektron aldığı serbest kalan enerjisi ise elektron yakınlığı olarak tanımlanır.

$I-V$ karakteristiklerine göre metal/n-tipi yarıiletken kontaklar doğrultucu (Schottky) kontak ve omik kontak olmak üzere iki gruba ayrılır. Schottky kontak, akımın bir doğrultuda diğer doğrultudan çok daha kolay aktığı kontak türüdür. n-tipi yarıiletken/metal kontaklarında metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük ise ($\Phi_m > \Phi_s$) doğrultucu kontak; eğer $\Phi_m < \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. p-tipi yarıiletken/metal kontaklarında ise $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda da omik kontak oluşur.

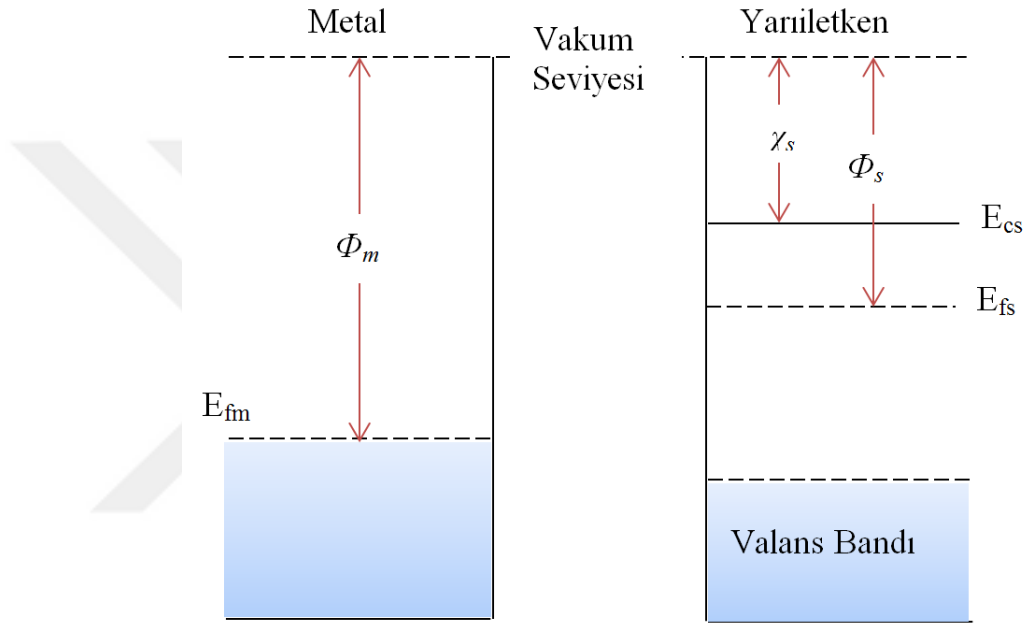
2.2.1. Metal/n-Tipi yarıiletken doğrultucu kontak

Metalin elektronu ile yarıiletkenin elektronunun Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkması için gerekli olan enerji miktarı farklıdır. Yarıiletkenin elektron ilgisi χ_s , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , metalin iş fonksiyonu Φ_m olarak tanımlarsak metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu ($\Phi_m > \Phi_s$) durum metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak türüdür. Kontakta önceki durumda Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar yukarıdadır. Kontak oluşturulduktan sonra yarıiletken yüzeyden metale elektronlar geçerken geride iyonize olmuş donörler bırakırlar. Bu durum yükler eşitlenip termal dengeye gelinceye kadar devam eder yani her iki tarafın Fermi seviyeleri eşitlenir. Kontakta sonra yarıiletkenin enerji seviyesi Şekil 2.5'te görüldüğü gibi ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar alçalmıştır (Ziel 1968; Rhoderick 1988). Herhangi bir yüzey durumu olmadan bir araya gelen MY Schottky kontakta engel yüksekliği, metalin iş fonksiyonuyla Φ_m yarıiletkenin elektron ilgisi arasındaki farka eşittir (Schottky - Mott 1938). Sonuç olarak, arayüzeyde meydana gelen potansiyel engeli kontakta oluşan dipol tabakasından kaynaklanır. Bu engelin yarıiletken tarafındaki yüksekliği ($\Phi_m - \Phi_s$) ve metal tarafındaki yüksekliği ise ($\Phi_m - \chi_s$) kadardır.

Yarıiletken tarafındaki bu engel yüksekliği difüzyon potansiyeli cinsinden;

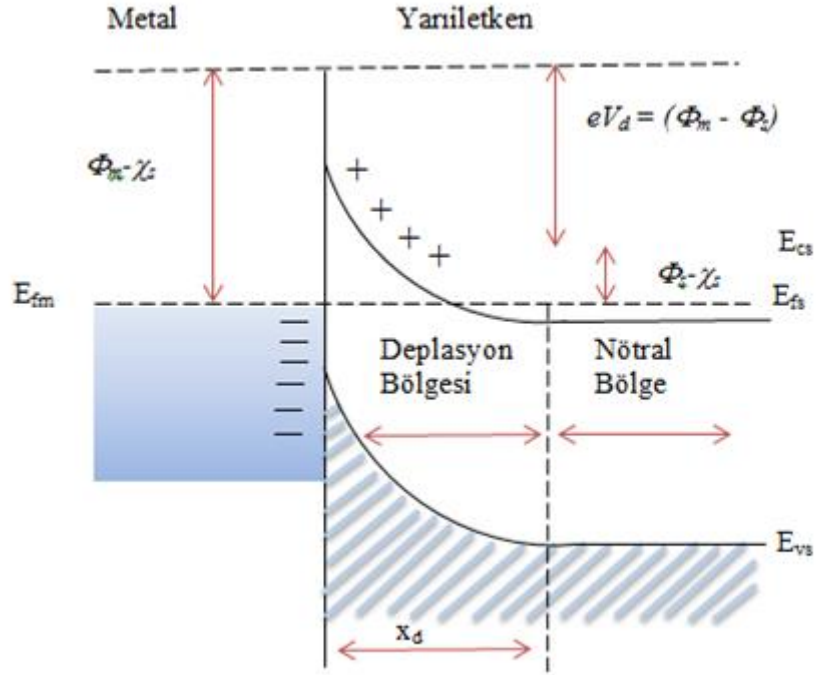
$$eV_{dif} = \Phi_m - \Phi_s \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Difüzyon potansiyeli V_{dif} olarak tanımlanır ve metalin yüzeyine göre alınır. Potansiyel engeli kontaktaki elektrik dipol tabakası tarafından korunur (sürdürülür) ve uzay yükü tabakası olarak da adlandırılır. Bu tabakanın kalınlığı difüzyon potansiyelinin değerine ve iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna bağlıdır.



Şekil 2.4. Kontaktan önce metal ve n-tipi yarıiletkenine ait enerji bant diyagramı

Kontaktan sonra termal denge durumunda oluşan enerji bant diyagramı Şekil 2.5'te verilmiştir. Termal uyarılmadan dolayı metalin bazı elektronları potansiyel engelini aşmış yarıiletkenine ve yarıiletkenin bazı elektronları potansiyel engelini aşmış metale geçmek için yeterli enerjiye sahip olacaklardır. Denge durumunda bu, eşit ve zıt I_0 akımlarına sebep olacaktır.



Şekil 2.5. Kontakta sonra termal denge durumunda oluşan enerji bant diyagramı

Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontakta $V > 0$ ise kontak ters beslenmiştir. Eğer $V < 0$ ise kontak düz beslenmiştir.

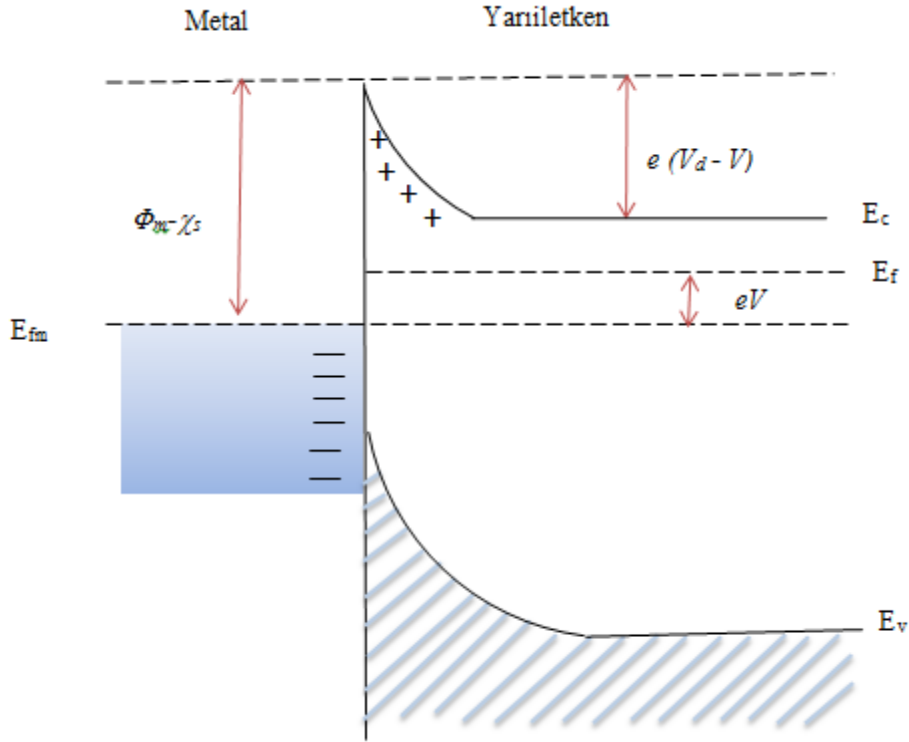
Kontağın yarıiletken tarafına $-V$ gerilimi uygulandığında oluşan net termiyonik emisyon akımı

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

ile verilir. I net akımı pozitifdir.

Metal tarafı pozitif, yarıiletken tarafı negatif olacak biçimde voltaj uygulandığında, tüketim bölgesinin genişliği azalacaktır. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi bu bölgedeki voltaj, eV_d 'den $e(V_d - V)$ 'ye azalacaktır. Bu durumda yarıiletkenindeki elektronların

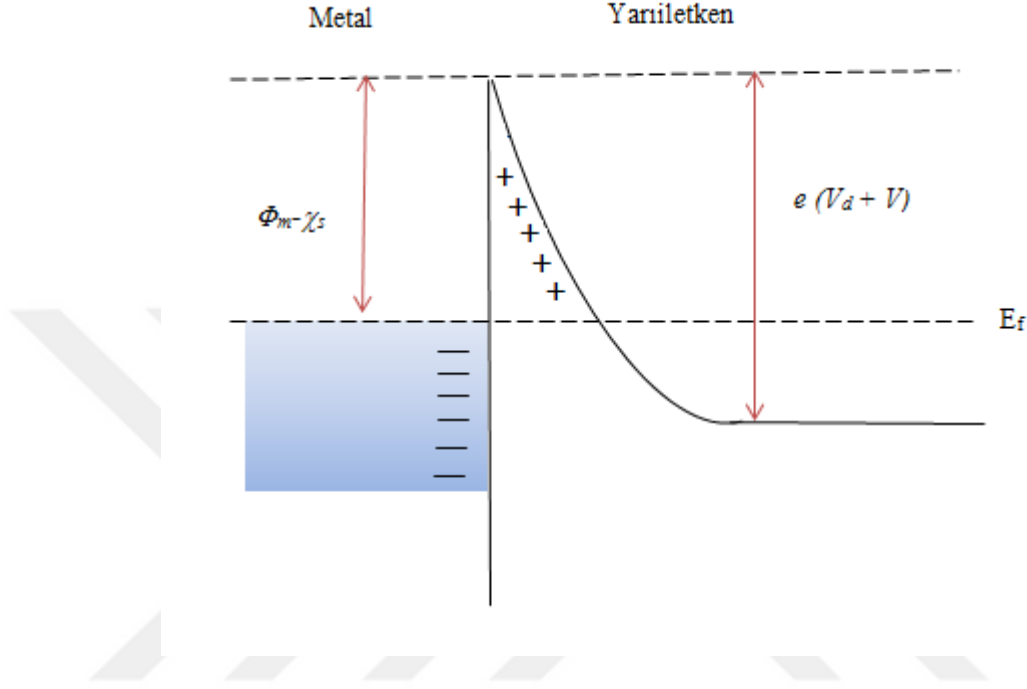
önündeki engel yüksekliği azalacaktır. Sonuç olarak da yarıiletken den metale doğru elektron akımı termal denge değerine göre artacaktır. Metalden yarıiletkene olan elektron akımı termal denge değerine göre değişmez. Buradan anlaşılacağı gibi, metal tarafındaki engel yüksekliği uygulanan voltajdan bağımsız olmasına rağmen yarıiletken tarafındaki potansiyel engelinin yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir. Yarıiletkenin tüketim tabakası çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötr kısmının direnci ile karşılaştırıldığı zaman çok yüksektir. Bu nedenle dışarıdan uygulanan voltajın tamamı bu bölgeye düşer ve termal dengedeki bant diyagramını değişikliğe uğratar. Bu değişimin sebebi ise tüketim bölgesine düşen potansiyelin değişmesi ve bant bükülmelerindeki değişikliklerdir.



Şekil 2.6. Metal/yarıiletken doğrultucu kontak için düz beslem durumu

Metal tarafı negatif, yarıiletken tarafı pozitif olacak biçimde $+V$ voltajı uygulandığı zaman tüketim bölgesinin genişliği artacaktır. Şekil 2.7'de gösterildiği şekilde bu bölgedeki voltaj, eV_d 'den $e(V_d + V)$ 'ye artacaktır. Bu durumda ise yarıiletkendeki elektronların önündeki engel yüksekliği artacaktır. Yarıiletkenden metale doğru elektron

akımı termal denge değerine göre iyice azalacaktır ve sonuçta herhangi bir akım geçişi gözlenmeyecektir (Balkanski and Wallis 2000).

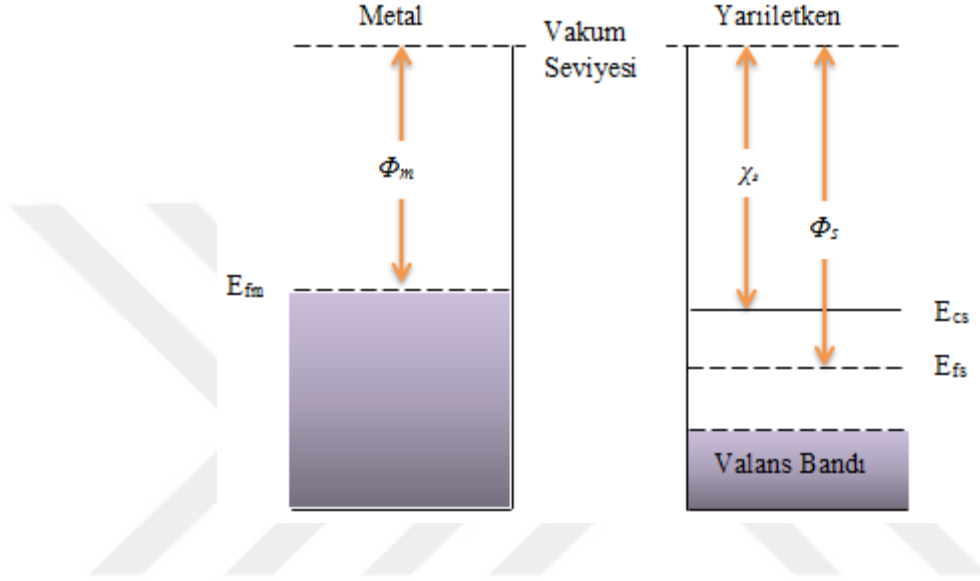


Şekil 2.7. Metal/yarıiletken doğrultucu kontak için ters beslem durumu

2.2.2. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontaklar

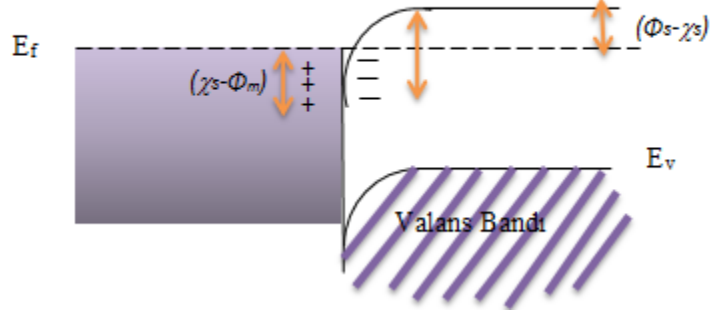
Genel olarak $I-V$ karakteristikleri Ohm yasasına ($V = IR$) uyan ve kontak direncinin mümkün olduğunca küçük olduğu, doğrultucu olamayan kontaklara omik kontaklar adı verilir. Bu kontaklar, uygulanan gerilimin polaritesinden bağımsız olarak her iki yönde de akım akışına minimum direnç gösteren metal/yarıiletken kontaklardır (Brillson 1983; Neamen 1992). Kontak direncinin değeri ise omik kontakın kalitesini belirler. Metal/n-tipi yarıiletken kontak oluşumu için $\Phi_m < \Phi_s$ şartı sağlanırsa omik kontak oluşur. Literatürde ki çalışmalarda, bir kontak için engel yüksekliği değeri oda sıcaklığında yaklaşık 0,3 eV'tan daha düşükse omik karaktere, bu değerden daha büyükse doğrultucu karaktere sahiptir denebilir.

$\Phi_m < \Phi_s$ durumunda, bir metalle n-tipi yarıiletken kontak halinde getirildiğinde kontakta önceki durumda yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $(\Phi_s - \Phi_m)$ kadar aşağıdadır. Metal ve yarıiletkenin kontakta önceki enerji bant diyagramı Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8. Kontakta önce metal/n-tipi yarıiletken enerji bant diyagramı

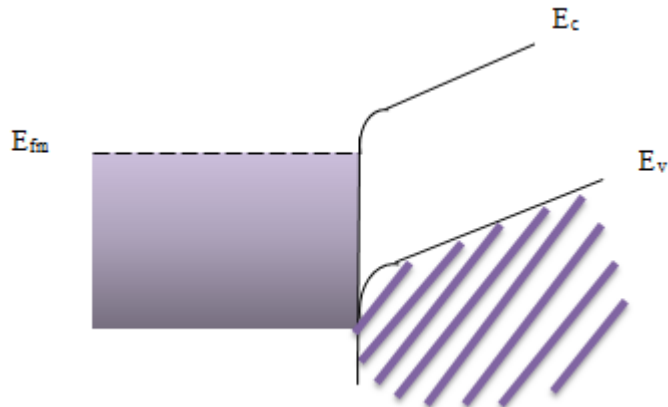
Kontakta sonra termal denge durumunda, elektronlar metalden yarıiletkene doğru geride pozitif boşluklar bırakarak geçerler. Yarıiletken yüzeyindeki bu elektronlar bir negatif yüzey yükü tabakası meydana getirirler. Yine metalden ayrılan elektronlar geride bir yüzey yükü tabakası (pozitif yük dağılımı) meydana getirirler ve böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası oluşur. Bu durum Şekil 2.9'da görülmektedir. Yük mübadelesi bittikten sonra, yarıiletken gövdedeki Fermi seviyesi $(\Phi_s - \Phi_m)$ kadar yükselir.

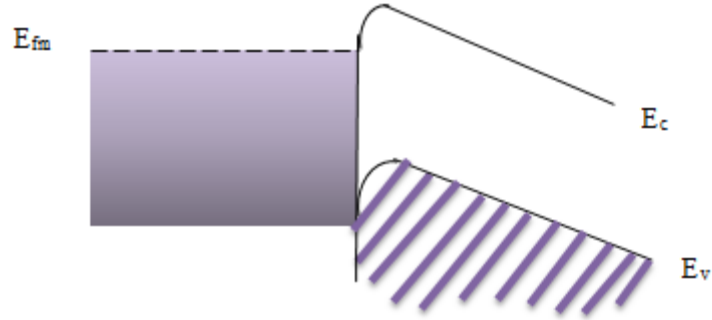


Şekil 2.9. Kontakta sonra metal/n-tipi yarıiletken enerji bant diyagramı

Şayet metal tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa bu durumda yarıiletkenden metale doğru akan elektronlar için engel yoktur ve elektronlar bu yönde kolayca hareket edebilirler, şayet yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulanırsa, elektronların karşılaşacakları engel yüksekliği yine çok küçük olacaktır ve elektronlar kolayca metalden yarıiletkene doğru akacaklardır.

Metale negatif bir $-V$ gerilimi uygulandığında, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına elektron geçişi olmasından dolayı bu kontaklara enjeksiyon kontaktarı da denir (Ziel 1968). Normalde omik kontak elde edebilmek için n-tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırılan metal, daha sonra yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşturmak için belli bir sıcaklıkta tavlınır ve yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Bu n^+ tabakası yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir (Sze 1981).





Şekil 2.10. Kontakta sonra düz beslem ve ters beslem durumları

2.3. Schottky Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi

MY kontaklarda çoğunluk taşıyıcılar tarafından gerçekleşen akım iletim mekanizmaları beş farklı şekilde gerçekleşir. Bu mekanizmalar şöyledir;

- 1) Normal sıcaklıklarda (300 K) orta seviyede katkılanmış yarıiletkenlerin kullanıldığı Schottky diyotlarda baskın olan bu mekanizma elektronların yarıiletkendeki potansiyel engeli üzerinden metale geçmesi olayıdır.
- 2) Çoğu omik kontakta sorumlu ve yüksek katkılı yarıiletkenler için geçerli olan mekanizma da elektronların bir engel içinden kuantum mekaniksel tünellemesidir.
- 3) Uzay yükü bölgesinde rekombinasyon.
- 4) Deplasyon bölgesinde elektronların difüzyonu.
- 5) Hollerin difüzyonu olarak adlandırdığımız bu mekanizma da metalden yarıiletkene enjekte olan holler nötral bölgede ki rekombinasyona eşdeğerdir.

Schottky kontaklarda sıcak yüzeyden termal enerjileri nedeniyle bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi termoyonik emisyon teorisi ile açıklanmaktadır. Termoyonik emisyon teorisi metal/yarıiletken Schottky diyotlarda taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. İdeal metal/n-yarıiletken Schottky diyotlarda, doğru beslem durumunda, yarıiletkenden metale termoyonik emisyon akım yoğunluğu

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-e\Phi_b}{kT} \right] \exp\left(\frac{eV}{kT} \right) \quad (2.3)$$

eşitliğiyle verilir. Bu durumda, metalden yarıiletkene akım yoğunluğu, $J_{m \rightarrow s}$, uygulanan gerilimden bağımsızdır ve

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-e\Phi_b}{kT} \right] \quad (2.4)$$

ifadesine eşittir. Böylece, eklemdeki net akım yoğunluğu $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$ olur. Daha açık ifadeyle net akım yoğunluğu,

olur. Burada A^* termoiyonik emisyon için Richardson sabiti olup,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.6)$$

ile verilir. Elektronun yükü $e=1,6 \times 10^{-19}$ C, Boltzmann sabiti $k=8,625 \times 10^{-5}$ eV/K ve T (K) Kelvin cinsinden ortamın sıcaklığıdır. Genel bir durum için (2.5) ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. Burada J_0 ters doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

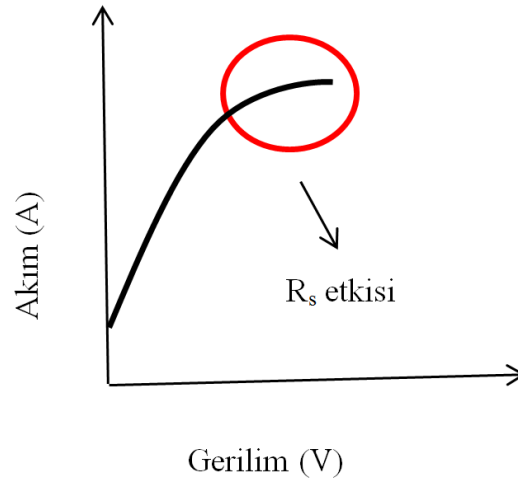
$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT} \right) \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir.

2.4. Seri Direnç Etkisi

MY kontaklarda görülen homojensizliklere neden olan etkilerden birisi de seri direnç etkisidir. Seri direnç diyotlarda güç kaybına neden olmakta ve diyodun yapısına bağlılık göstermektedir.

Aktif yarıiletken devre elemanlarında ortaya çıkan seri direnci kapsamlı olarak bipolar transistör yapısında görmek mümkündür. Seri direnç R_s ile gösterilir ve metal – yarıiletken doğrultucu kontaklarda, yarıiletken tarafında oluşan tüketim bölgesi dışında kalan nötral bölgenin diyot akımına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır (Rhoderick 1988). Seri direnç etkisi büyük gerilim değerlerinde baskın olmaya başlar ve diyot akımının düşmesine neden olur. Şekil 2.11'de verilen Schottky diyodunda yüksek gerilim değerlerinde seri direncin etkisiyle diyot akımında bir azalma görülmektedir.



Şekil 2.11. Metal yarıiletken kontaklarda seri direncin etkisi

2.5. Seri Direnç Hesaplama Yöntemleri

Önceki çalışmalarda elde edilen verilere göre MY kontakların $I-V$ analizlerine göre yüksek gerilim bölgesinde diyot ideallikten sapmaktadır. İdeallikten sapmasındaki etkili bir parametre olarak da seri direnç etkisi araştırılmış ve bu etkinin matematiksel olarak hesaplanması için çeşitli seri direnç modelleri izah edilmiştir (Norde 1979; Lien *et al.*1984; Werner 1988). Deneysel verilerin kullanımında tespit edilen belirsizliklerden dolayı en küçük kareler metodu seri direnç bölgesine uygulanarak idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi parametrelerin hesaplanmasında daha güvenilir bir şekilde kullanılabilen yeni bir hesaplama tekniği literatüre Cheung tarafından kazandırılmıştır (Cheung and Cheung 1986).

2.6. Norde Fonksiyonları ile Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Schottky diyotlarının en önemli fiziksel parametreleri olan engel yüksekliği (Φ_b), idealite faktörü (n) ve seri direnç (R_s) değerlerini hesaplamak için bilinen geleneksel metod, deneysel $I-V$ karakteristiği kullanmaktır. Ancak R_s çok büyük ve ara yüzey durumları yeterince yüksek ise $I-V$ karakteristikleri ideal durumdan sapmalar gösterir. Bu durumda hesaplamalar daha karışık bir hal almakta ve hesaplanan temel parametrelerin güvenilirliği azalmaktadır. Fakat son zamanlarda bu durum için Norde tarafından sunulan metod, ideal olmayan Schottky diyotlara da uygulanabilirliği göstermiştir. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonları kullanılarak potansiyel engel yüksekliği (Φ_b), idealite faktörü (n) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplanmıştır. (Karataş and Altındal 2004). Hazırlanan Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al diyonu için temel fiziksel parametreler farklı metotlar kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçların birbirleriyle ve literatürle uygun olduğu gözlenmiştir.

Norde fonksiyonu $F(V)$ (Norde 1979) engel yüksekliği ve seri direnç değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. $F(V)$ fonksiyonu;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^* T^2} \right) \quad (2.8)$$

eşitliği ile verilmektedir.

Burada, $I(V)$, $I-V$ eğrisinden elde edilen akımdır ve γ , n 'den daha büyük boyutsuz bir tamsayıdır.

Diyodun engel yüksekliği değeri aşağıdaki gibi açıklanabilir (Norde fonksiyonu kullanılarak)

$$\Phi = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (2.10)$$

Burada $F(V_{\min})$, V_{\min} minimum voltajda $F(V)$ 'nin sahip olduğu değerdir.

Voltaj düşmesinin sebebi yüksek voltaj bölgelerinde bütün sıcaklıklarda ideal olmayan davranış olarak açıklanmıştır (seri direnç bölgesinde). Gerçek kontaklar için ($n > 1$) seri direnç şöyle tanımlanır.

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{\min}} \quad (2.11)$$

Burada I_{\min} , $F(V)$ fonksiyonunun minimum değer sergilediği yerde V_{\min} voltajında düz beslem voltaj değeridir.

2.7. Kapasite – Gerilim Karakteristikleri

MY kontak oluşurken metal ile yarıiletken arasında, yüklerden arındırılmış bir uzay yükü bölgesi oluşur. MY kontaklarda oluşan boşaltılmış bölge (dipol tabakası),

yarıiletken tarafındaki uzay yükleri ve metal tarafındaki yüzey yüklerinden dolayı bir kondansatör gibi davranır (Deniz 2015). İdeal bir n tipi Schottky kontak ters beslem durumunda, gerilim artırıldığı zaman yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar metalden uzaklaşır gerilim artışından dolayı tüketim bölgesinin genişliği artar. Potansiyel dağılımı ile yük yoğunluğu arasındaki ilişki Poisson denklemi ile verilir.

$$\nabla^2 \Psi(x) = \frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_s \epsilon_0} \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir. ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti ve $\rho(x)$ konuma bağlı uzay yükü yoğunluğunu temsil eder.

n tipi yarıiletkende donör atom yoğunluğu N_d , yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu n olmak üzere $\rho(x)$ uzay yükü yoğunluğu

$$\rho(x) = e(N_d - n) \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir.

$e(V_d - V) \gg kT$ olduğunda $0 \leq x \leq w$ aralığında $N_d \gg n$ 'dir. Eşitlik düzenlenirse

$$\rho(x) = eN_d \quad (2.14)$$

bağıntısı elde edilir. Bu değer Poisson denkleminde yerine koyulursa;

$$\nabla^2 \Psi(x) = \frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} = -\frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (2.15) sınır şartları altında çözülmüş;

- 1) $x = 0$ için $\Psi(x) = 0$
- 2) $x \geq 0$ için $\Psi(x) = V_d \pm V$
- 3) $x = w$ için $\frac{d\Psi(x)}{dx} = 0$

Üçüncü sınır şartı altında birinci integrali kontak bölgesindeki elektrik alan elde edilir.

$$E(x) = -\frac{d\Psi(x)}{dx} = \frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} (x - w) \quad (2.16)$$

Birinci sınır şartı altında integral alırsak $\Psi(x)$ potansiyel fonksiyonu

$$\Psi(x) = -\frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} \left(\frac{1}{2} x^2 - xw \right) \quad (2.17)$$

Elde edilen bu ifade ikinci sınır şartıyla çözümlenirse Schottky tabakasının w genişliği bulunur.

$$w = \left[\frac{2\epsilon_s \epsilon_0}{eN_d} (V_d \pm V) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.18)$$

Yarıiletkenin birim alanı başına düşen yük yoğunluğu,

$$Q = eN_d w \quad (2.19)$$

Deplasyon bölgesi genişliği w yerine yazılırsa,

$$Q = [2\epsilon_s \epsilon_0 eN_d (V_d \pm V)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

ifadesi elde edilir. Schottky kapasitesi ise Q yükünün uygulanan gerilime göre değişimi olarak tanımlanır.

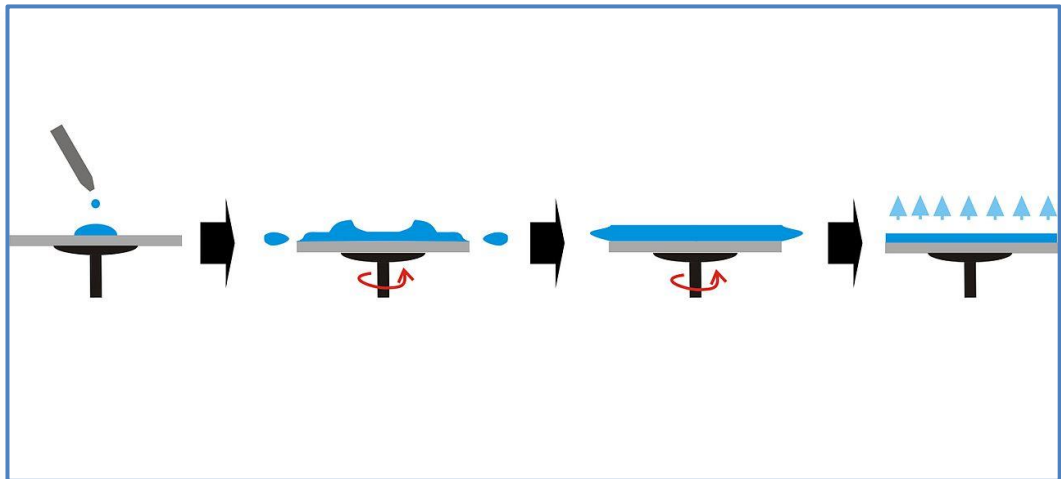
$$C = \left| \frac{\partial Q}{\partial V} \right| \quad (2.21)$$

olarak bulunur. Son iki eşitlik dikkate alındığında Schottky kapasitesi;

$$C = \left[\frac{e\epsilon_s\epsilon_0 N_d}{2(V_d \pm V)} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{\epsilon_s\epsilon_0}{w} \quad (2.22)$$

2.8. Sol-Gel Yöntemi

Sol-jel kaplama yöntemi ilk olarak 1950'lerde Schott Glass tarafından kapsamlı olarak çalışılmaya başlandı. Sol-jel ile çeşitli kaplama şekilleri vardır. Bu kaplama yöntemlerinden bazıları daldırma, döndürme, püskürtmedir. Uzun yıllardır ince filmlerin üretiminde kullanılan döndürme kaplama yönteminin maliyeti de oldukça düşüktür. Genel olarak bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın yüksek dönme hızlarında belirli sürelerde döndürülmesi esasına dayanır. Farklı dönme hızları ve farklı süreler ayarlanabilir. Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur. Filmin kalınlığı ve diğer özellikler, çözelti özellikleri (viskozitesine, kuruma hızına, katı oranına ve yüzey gerilimleri) ile işlem şartlarına (devir ve hızlandırma gibi) bağlıdır. Tipik olarak kaplama işlemi aşağıdaki adımlardan oluşur.



Şekil 2.12. Spin-coating sisteminin kaplama adımları (Anonymous 2018b)

Öncelikle kullanılacak alttaş spin-coating (döndürerek kaplama) sistemine vakum aracılığıyla tutturulur. Hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması ile başlayan işlem yüksek hızlı döndürme ile fazla çözücünün yüzeyden uzaklaşması, çözeltinin yayılması ve sonra kurutma ile çözeltinin buharlaştırması ile kaplama işlemi tamamlanır. İnce filmin istenilen kalınlığa gelmesi için bu işlem tekrarlanır. Spin-coating yönteminde; film kalınlığı, kaplama sayısı, dönüş zamanı ve dönüş hızı gibi parametreler değiştirilerek üretilmek istenen filmler kolayca elde edilebilir. Polimer özellikli organik materyaller ve az maliyetli fabrikasyonlar için kullanılan en yaygın organik ince film kaplama tekniği spin-coating yöntemidir. Şekil 2.12'de kaplama adımları ve Şekil 2.13'te kaplama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Spin-coating cihazı

2.9. Yarıiletkenlerde Soğurma

Bir yarıiletken üzerine foton gönderildiğinde atomların elektronları ile fotonların etkileşmesi sonucu soğurma (absorpsiyon), geçirgenlik, yansıma ve kırılma gibi bazı optik olaylar meydana gelebilir. Değerlik bandında bulunan elektronlar iletkenlik

bandına termal yollarla uyarılabildiği gibi optik yollarla da uyarılabilir. Temel şart gönderilen fotonun enerjisinin en az yarıiletkenin yasak enerjisine eşit olmasıdır.

Yarıiletkenlerde temel örgü soğurması olarak adlandırılan soğurma olayı; bir elektronunun arkasında boşluk bırakarak valans bandından iletkenlik bandına uyarılması olarak tanımlanır (Şekil 2.14). Bu işlemde enerji ve momentumun her ikisi de korunmalıdır. Foton momentumu kristal momentumuna göre küçükken, soğurma işlemi elektron momentumunu koruması gerekir. Fotonun frekansı ν ve dalga boyu λ olduğuna göre fotonun enerjisi;

$$E = h\nu = hc / \lambda \quad (2.23)$$

eşitliği ile verilir.

Kalınlığı x olan bir numuneye λ dalga boyulu ve I_0 ışık şiddetli bir ışık demeti gönderilir. Geçen ışığın şiddeti gelen ışığın şiddetine, numunenin kalınlığına ve fotonun dalga boyuna bağlıdır. Optik soğurma yöntemi, yarıiletkenlerin bant yapılarını hakkında bilgi elde edebilmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bir yarıiletkenin sahip olduğu bant tipi ve yasak enerji aralığı hakkında bilgiyi bu yöntemle elde etmek mümkündür (Cullity 1996).

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.24)$$

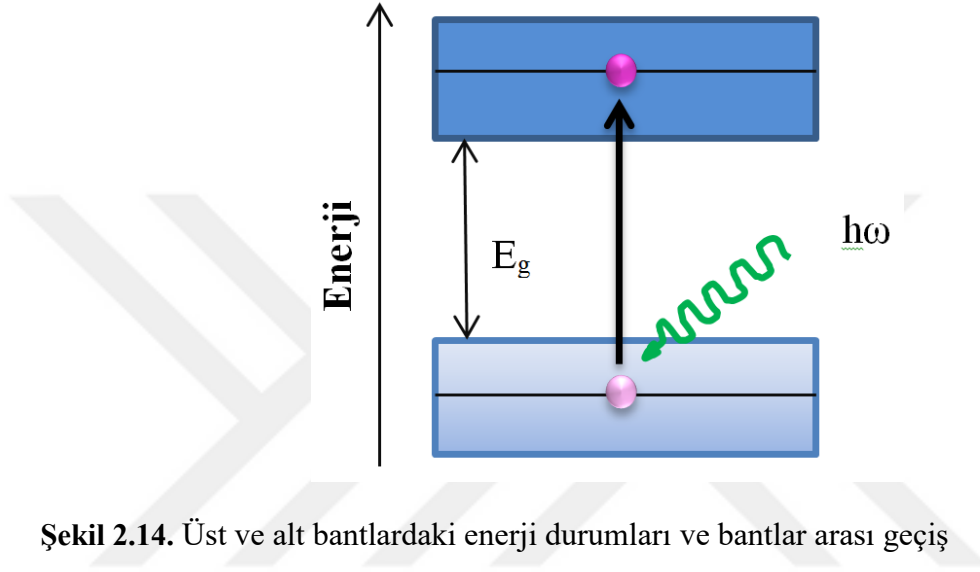
$$e^{\alpha x} = \frac{I_0}{I} \quad (2.25)$$

Denklemin logaritması alınırsa

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2.26)$$

elde edilir.

α , soğurma katsayısı olarak bilinir ve birimi cm^{-1} 'dir. Bu katsayı fotonun dalga boyuna ve numuneye bağlı olarak değişir.



Şekil 2.14. Üst ve alt bantlardaki enerji durumları ve bantlar arası geçiş

Işığın ortamda yayılması sırasında ışığın frekansı ile ortamdaki atomların geçiş frekansıyla rezonansa gelirse soğurma olayı meydana gelir. Bu durumda ışın ilerledikçe zayıflayacaktır. Geçirgenlik ise soğurmaya ilgilidir. Soğurulmamış ışık malzemenin diğer tarafına geçebilecektir (Fox 2001).

Temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğiyle yasak enerji aralığı hesaplanabilir. $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinin $h\nu$ eksenini kestiği nokta yani $(\alpha h\nu)^2$ değerinin sıfıra eşit olduğu nokta yasak enerji aralığını verir. Yasak enerji aralığına bakarak malzeme hakkında yorum yapabiliriz.

Temel soğurma sınırında yarıiletkenlerde iki tür geçiş vardır.

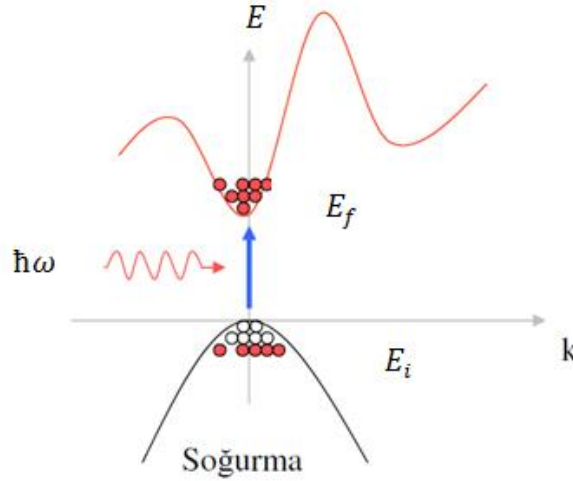
- 1) Doğrudan (direkt) bant geçişi
- 2) Dolaylı (indirekt) bant geçişi

2.9.1. Doğrudan (Direkt) bant geçişi

İletkenlik bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji momentum uzayında aynı k değerinde ise ($k=0$) bu tür geçişlere doğrudan (direkt) bant geçişi denir (Şekil 2.15). Değerlik bandından iletkenlik bandına $h\omega$ enerjili fotonu soğurarak; E_i yarıiletkenin ilk durum enerjisi, E_s son durum enerjisi olmak üzere enerjinin korunumu yasasından yola çıkarak;

$$E_s = E_i + h\omega \quad (2.27)$$

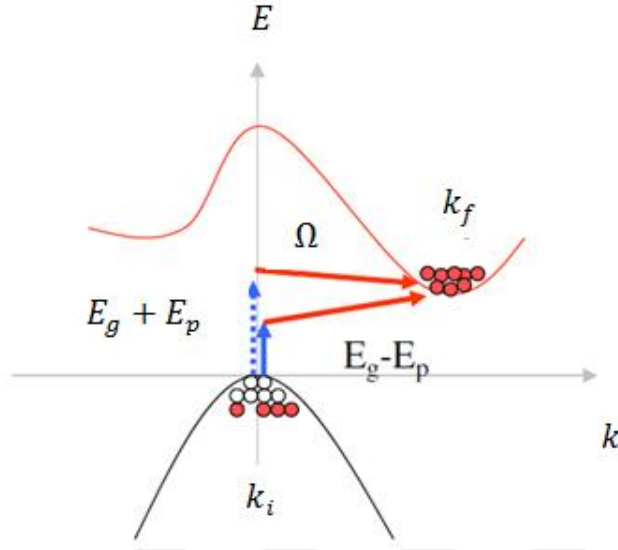
eşitliği yazılır.



Şekil 2.15. Direkt bant geçişli yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı (Sarı 2008)

2.9.2. Dolaylı (İndirekt) bant geçişi

İletkenlik bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji momentum uzayında aynı k değerinde değilse ($k \neq 0$) bu tür geçişlere dolaylı (indirekt) bant geçişi denilmektedir (Şekil 2.16). Burada minimum enerji aralığında doğrudan bir foton geçişi dalga vektörü korunumu şartını sağlamaz.



Şekil 2.16. İndirekt bant geçişli yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı (Sarı 2008)

İletkenlik bandına elektron geçerken momentumun korunabilmesi için bir fotonun soğurularak bir fononun da salınması ya da soğurulması gereklidir.

Bu geçişler;

$$h\nu = E_s = E_g + E_p \text{ (fonon salınımı gerçekleştiğinde)}$$

$$h\nu = E_s = E_g - E_p \text{ (fonon soğurulması gerçekleştiğinde)}$$

bağıntılarıyla verilir. E_p , fononun enerjisidir.

2.10. Fotovoltaik Etki

Edmund Becquerel 19. yüzyılda elektrolit içinde yer alan platin elektrot yüzeyine gümüşün kaplanmasıyla akım oluştuğunu keşfetmiş ve bu alanla ilgili yoğun denemeler yapılmıştır (Bequerel 1839; Andrews 1879). İlk olarak 1883 yılında Amerikalı bir bilim insanı Siemens tarafından geniş alanlarda selenyum tabakaları kullanılarak güneş hücreleri yapılmıştır (Siemens 1885). O zamanlarda yapılan bu denemeler günümüzde oldukça popüler olan güneş hücreleri ile ilgili çalışmaların öncüleri olmuşlardır.

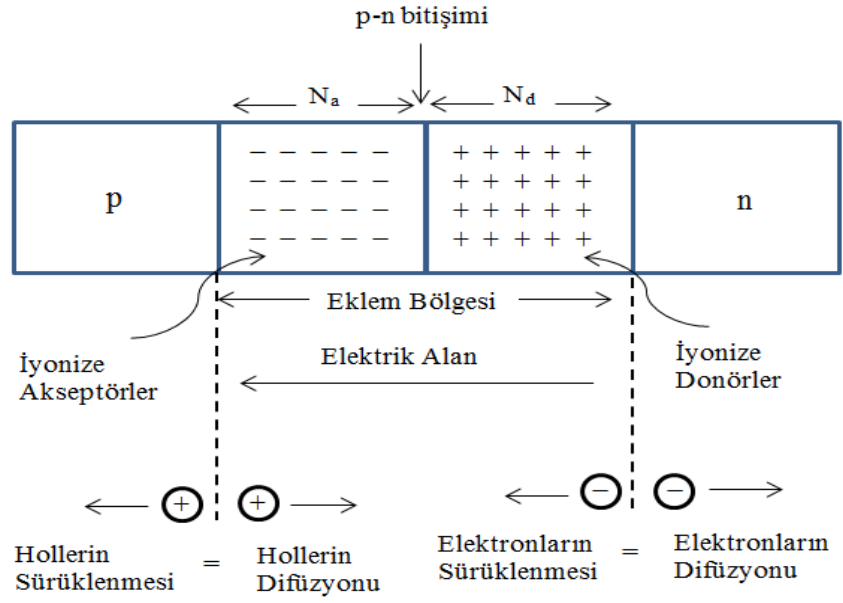
İyi bir verimlilikle güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirebilen güneş pilleri, düşük maliyeti, daimi güç sağlayabilir olduğu ve çevreye zarar vermedikleri için alternatif enerji kaynağıdır.

2.11. p - n Eklem Güneş Pilleri

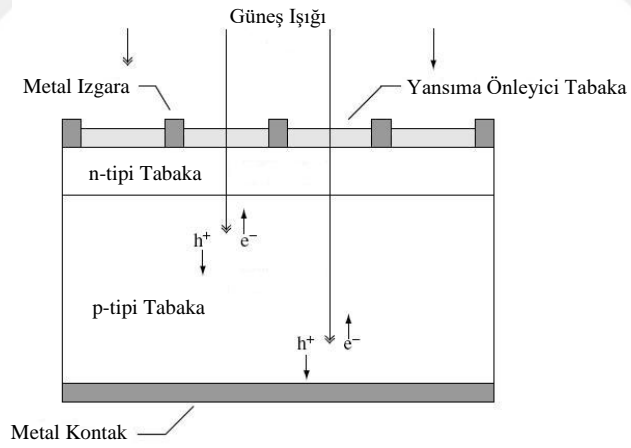
p tipi ve n tipi iki yarıiletken atomik boyutta üst üste geldiği zaman p tipinde çoğunluk taşıyıcı olan holler n tarafına, n tipinde çoğunluk taşıyıcı olan elektronlar p tarafına doğru bir geçiş yapar (Şekil 2.18). Bu geçiş, sistem termal dengeye ulaşmaya kadar devam eder. Bu geçiş sırasında birleşme kısmında deplasyon bölgesi adı verilen bir bölge oluşur. Bu bölgede karşılıklı geçişten dolayı bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan hareket halindeki elektron ve holleri deplasyon bölgesinin dışına doğru sürükler.

Bir p-n eklemi güneş ışığı ile aydınlatıldığında, p-n eklem bant aralığından daha büyük enerjili fotonlar tarafından elektron-hol çifti meydana getirilir. Elektron hol çiftlerinin sayısı ışığın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. İyonize olmuş atomlardan kaynaklanan deplasyon bölgesindeki elektrik alandan dolayı deplasyon bölgesinde n tarafına doğru elektronlar ve p tarafına doğru holler sürüklenir. Bu yük ayrımı dış bir kısa devre telinde n tarafından p tarafına akan akıma sebep olur (Şekil 2.17).

Yarıiletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşüm sağlanır. Bu dönüşüm eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur. Elektron-hol çiftleri bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirinden ayrılır. Birbirinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında bir güç çıkışı oluştururlar (Kıncay 2018). İdeal bir güneş pilinde $I-V$ karakteristiği bir diyodun karanlıkta alınmış $I-V$ karakteristiği ile aynıdır.

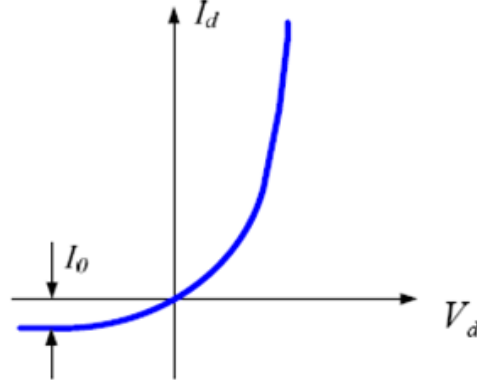


Şekil 2.17. p-n eklem oluşmadan önceki p-tipi ve n-tipi yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Mutlu 2010)



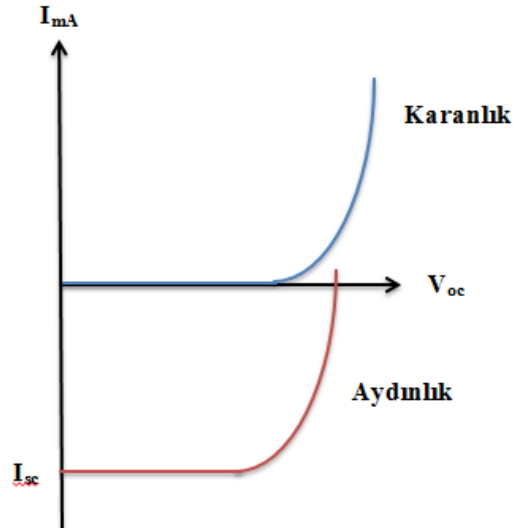
Şekil 2.18. Tek eklemli güneş pilinin yapısı

İdeal güneş pilinde $I-V$ karakteristiği bir diyodun karanlıkta alınmış $I-V$ karakteristiği ile aynıdır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. İdeal güneş pilinin karanlık ortamdaki $I-V$ grafiği

Güneş pili ışık aldığı durumda $I-V$ grafiği Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Karanlık ve aydınlıkta güneş pili $I-V$ grafiği

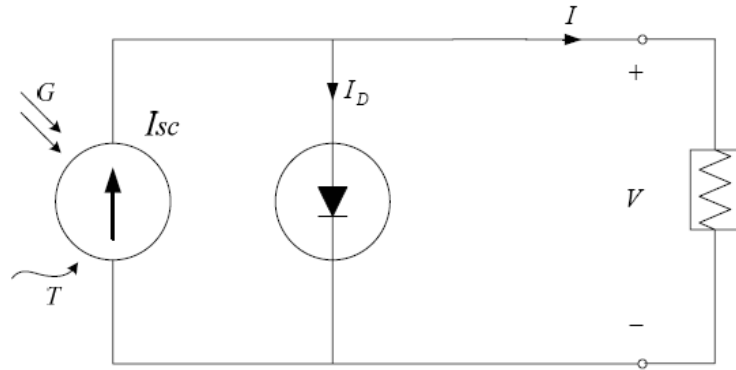
Aydınlıkta güneş pilinin $I-V$ bağıntısı:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right) \quad (2.28)$$

şeklinde gösterilir.

I_L , ışıktan oluşan akım olarak adlandırılır (Kundakçı 2014).

Güneş pilinin eşdeğer şeması ise Şekil 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2.21. Güneş pili eşdeğer şeması

Güneş pili eşdeğer şemasında, I_{sc} ile gösterilen akım kaynağı aydınlatma sonucu güneş pili tarafından üretilen akımı temsil eder. I akımı, herhangi bir yeniden birleşme olmadan, birim zamanda ayrılan elektron-boşluk çiftlerinin sayısına eşittir. Eşdeğer devrede bulunan diyot ideal bir diyot olup, gerilime bağlı direnç gibi davranır (Sajjad 2013).

2.12. Güneş Pili Yapımında Kullanılan Hesaplamalar

2.12.1. Kısa devre akımı (I_{sc})

Gerilim sıfır olduğu zaman elde edilen azami akımdır. İdeal olarak $V=0$ olursa $I_{sc} = I_L$ olmaktadır. Burada I_{sc} mevcut güneş ışınımı ile doğru orantılıdır.

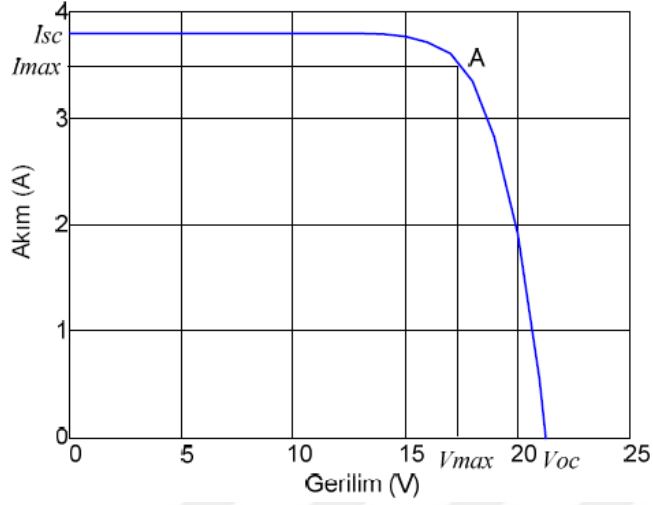
2.12.2. Açık devre gerilimi (V_{oc})

Akım sıfır olduğu zaman elde edilen azami gerilimdir. Artan güneş ışınımına bağlı olarak V_{oc} logaritmik olarak artmaktadır. $I=0$ olduğu zaman;

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2.29)$$

ile verilmektedir.

$I-V$ grafiği üzerindeki her noktada, akım ve gerilimin çarpımı, gücü vermektedir. Güneş pilleri "azami güç noktasına" göre de karakteristik özelliğe sahiptirler. Azami gerilim noktası V_{max} ile azami akım noktasının I_{max} çarpımı, ulaşılabilecek azami değeri vermektedir. Azami çıkış gücü, grafiksel olarak $I-V$ grafiğinin altına sığabilen en büyük kare olarak gösterilebilir.



Şekil 2.22. Güneş pilinin azami çıkış gücü

2.12.3. Dolum faktörü (FF)

Bağlantının kalitesinin ve pilin seri dirençlerinin ölçümüdür. Tanım olarak azami gücün, kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımına oranı olarak belirtilir.

$$\text{Dolum Faktörü} = FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.31)$$

Elde edilecek güç de açık devre gerilimi V_{oc} , kısa devre akımı I_{sc} ve dolun faktörünün (FF) çarpımına eşittir.

$$P_m = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.32)$$

2.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

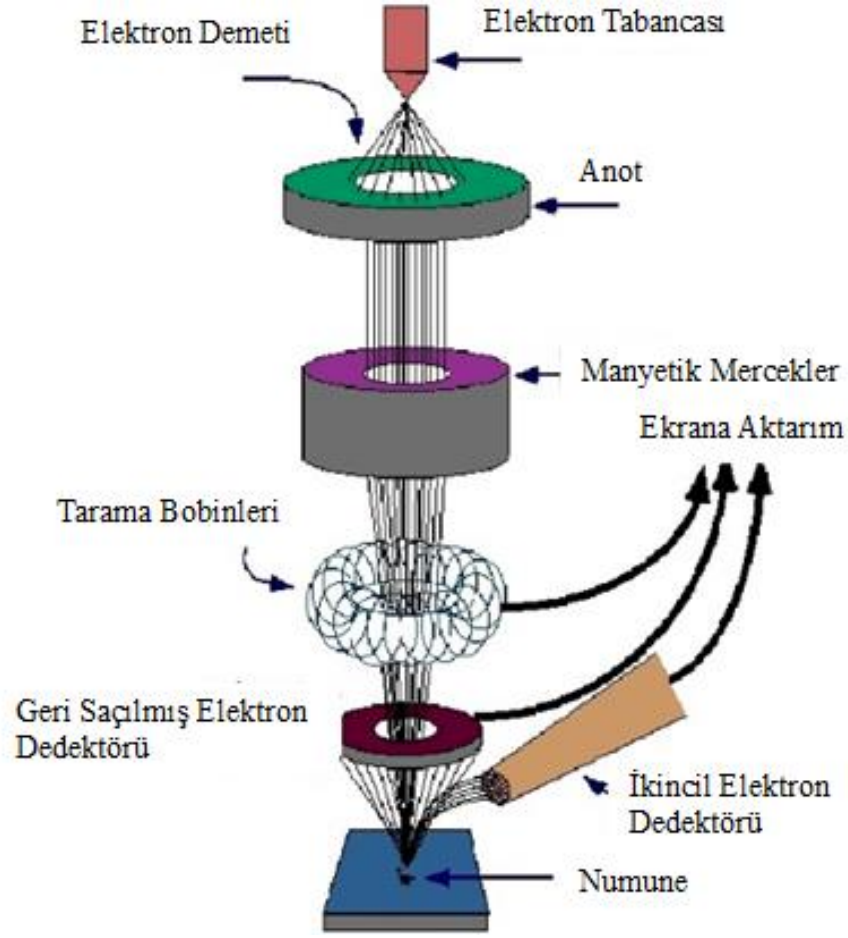
Temel olarak taramalı elektron mikroskobu (SEM), Tungsten, Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) tabanca'dan ortaya çıkan elektronların incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır. Numunenin sadece odaklanan bölgesini tarar. SEM'ler de genel olarak bu

elektron enerjisi 200 - 300 eV'tan 100 keV'a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik merceklerle (condenser lense) toplanan, objektif merceklerle odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek yüzeyinde tarama işlemini (scanning) gerçekleştirir. Bir taramalı elektron mikroskopunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır. Bunlardan ilki, gelen elektron demetindeki elektronların, malzemedeki atomlarla yapmış olduğu elastik olmayan çarpışma sonucu (yani, örnek yüzeyindeki atomlardaki elektronlara enerjilerini transfer ederek) ortaya çıkan ikincil elektronlardır (SE). İkincil elektronlar, elektron demeti ile iletkenlik veya valans bandında bulunan elektronların (yüzeye yakın) etkileşimi ile oluşurlar ve SEM'de kullanılan temel sinyali oluşturan bu elektronlar örnek yüzeyinin yaklaşık 10 nm'lik bir derinliğinden ortaya çıkarlar. Genelde enerjileri 2-10 eV arasında olup, 50 eV'a kadar çıkabilirler. İkincil elektron dikey kesitte saçılması elektron enerjisinin azalması ile arttığından düşük hızlandırma voltajları daha çok ikincil elektron sinyali verir. İkincil elektronlar foto çoğaltıcı tüp yardımıyla toplanıp, örneğin tarama sinyali konumuyla ilişkilendirilerek yüzey görüntüsü elde edilir.

Elektron demeti ile incelenen örnek yüzeyindeki malzeme arasındaki etkileşimde ortaya çıkan diğer bir elektron grubu ise geri saçılma elektronları (BSE) adı verilen elektronlardır (bu elektronlar, yüzeye gelen elektron demeti ile yaklaşık 180° açı yapacak biçimde saçılırlar). Geri Saçılan Elektronlar, numune üzerine gönderilmiş elektronların bir kısmı çekirdeğin elektromanyetik alanı tarafından yavaşlatılırlar ve yönleri değiştirilerek 180°'lik açı ile geldikleri yönde numuneden elastik olarak saçılırlar. Bu BSE elektronları da SEM tekniğinde kullanılabilir. Enerji kaybı yoktur sadece kırılma ve saçılma nedeni ile yönleri değişmiştir. Bu elektronların miktarı yüzey topografisine ve numuneyi oluşturan atomların numarasına bağlıdır. Geri saçılan elektronları dedektör - numune açısına bağlıdır. Geri saçılma elektronları, yüzeyin derin bölgelerinden (yaklaşık 300 nm'ye kadar) gelen daha yüksek enerjili elektronlardır. Bu enerjideki elektronlar bir fotoçoğaltıcı tüp tarafından tespit edilemeyecek kadar yüksek enerjiye sahip olduklarından, genellikle quadrant foto dedektörlerle (yani katihal

dedektörleri) yardımıyla tespit edilir. Bilindiği üzere bu tür dedektörler üzerine gelen elektronların indüklediği elektrik akımın şiddetine göre çıkış sinyali verirler. Yani, incelenecek örnekteki yüksek atom numarasına sahip bir atomdan saçılan elektronun enerjisi küçük atom numaralı bir atomdan saçılana göre daha yüksektir. Sonuç olarak ikincil elektronlar incelenen örneğin kompozisyonu hakkında bilgi verir.

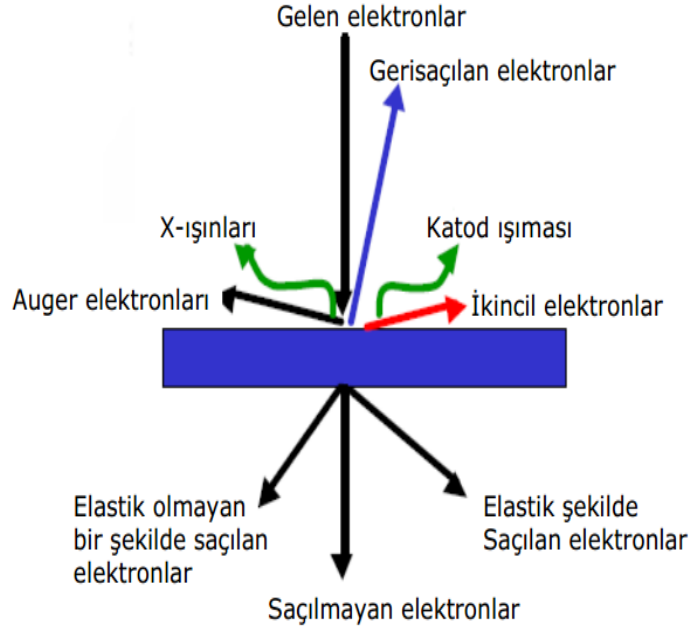
Gelen elektron demetinin incelenen örnek yüzeyi ile yapmış olduğu diğer bir etkileşme ise (yaklaşık 1000 nm derinlik civarında), karakteristik X ışınlarının çıktığı durumdur (enerjileri keV mertebesindedir). Buna göre örneğe çarpan elektron, örnekteki atomun iç yörüngesinden bir elektron kopmasına neden olunca, enerji dengelenmesi gereği bir üst yörüngedeki elektron bu seviyeye geçer ve geçerken de ortama bir X ışını yayar ve buna da karakteristik X-ışını adı verilir. Bu X-ışını mesela 10 mm² çapındaki bir Si (Li) dedektörle algılanır, ortaya çıkan sinyal yükselticiye, oradan çok kanallı analizöre ve daha sonra da SEM sistemin bilgisayarına gönderilir. Sonuçta ortaya çıkan karakteristik X ışını (ki bu ışının enerjisi her atoma özeldir), SEM'de incelenen malzemenin element bakımından muhtevasının nitel ve nicel olarak tespit edilmesine yardımcı olur.



Şekil 2.23. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Polat 2009)

SEM numunelerin topografik yapısının çok yüksek büyütme oranlarında incelenmesini sağlayan mikroskopi tekniğidir. SEM ile büyütme gücü 300.000 büyütmeden fazla olabilir.

Numune çok ince olursa TEM (Geçirmeli Elektron Mikroskobu) kullanılır. SEM'de ölçü alabilmek için numunelerin iletken olması gerekir. Biyolojik numunelerin görüntüsünün alınması için yüksek vakum ortamı gerektirir. SEM yüzey topografyası, kristal yapısı ve kimyasal bileşimi hakkında bilgi verir.



Şekil 2.24. Numune yüzeyine gönderilen ışınların numuneyle etkileşimi (Evcin 2016)

Elektron Tabancaları, SEM için yüksek enerjili elektron kaynağı sağlar. Elektron tabancasının iyi performans göstermesi için kimyasal ve termal kararlılık gerekir. Alan emisyon tabancası $\sim 10^{-10}$ Torr, Lanthanum hexaboride (LaB_6) için $\sim 10^{-8}$ Torr basınç gerekir. Sinyal elektronları numune yüzeyinden dedektöre ulaşması için vakum gereksinimleri dedektör ve elektron kaynağı tipine bağlıdır.

Tungsten filaman, uçtan elektronların termal emisyonlarıyla 2500°C 'ye kadar ısıtılarak üretilir. LaB_6 filaman; termoiyonik emisyonla çalışır. Daha parlak akım ve daha uzun süre çalışabilen elektron tabancalarıdır ve ayrıca maliyeti pahalıdır. Alan emisyon tabancaları; ısınmayan soğuk katot yayınlayan tabancalardır. En iyi görüntüleme alınan tabancalardır.

SEM'de görüntüleme alınırken şu yol izlenir; Elektron tabancası, toplayıcı lens, tarama bobini, hedef lens, numune.

Toplayıcı lens, elektron kaynağından gelen elektronlar geniş bir aralıkta bir kinetik enerjiye ve yönlenmeye sahip olduklarından toplayıcı lensler elektron demetinin bir

araya sıkıştırılması toplanması ve akımın kontrol edilmesi için kullanılır. Kondensör lensleri elektrostatik veya elektromagnetik olabilir. Elektron demetinin kalınlığı, akımı ve yüksek açılı elektronların elimine edilmesi bu lensler ve apertür (çıkış aralığı) ile birlikte ayarlanır.

Tarama bobini, bir bobin (sarım) seti elektron demetinin numune yüzeyinde gezdirilmesi (taranması) için kullanılır. Tarama yapılırken elektron demeti hedefte belli zaman (mikrosaniye) aralıklarında bekletilerek veya belli zaman aralıklarında ikincil elektronların tayini ile görüntü oluşturulur. Bu süreç istenilen alan taranana kadar devam eder.

Hedef lens, objektif lensler manyetik alan kuvveti ve apertür aralığı değiştirilerek elektron demetinin odaklanmasını sağlar. Elektron demeti ~ 10 nm çapında ve demet akımı $\sim 10^{-9}$ - 10^{-13} A. Elektron demeti yoğunlaştırıcı apertürü ile küçük bir alana sıkıştırılır. Böylelikle hem yüksek açılı elektronlar elimine edilir hem de elektron demeti numune üzerinde istenilen alana istenilen çapta düşürülür.

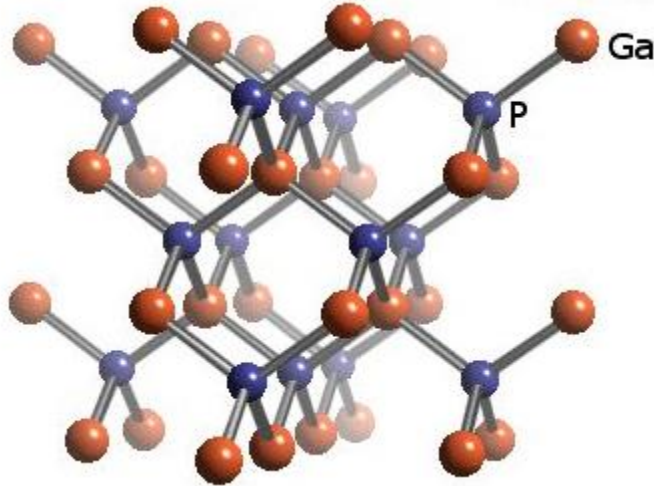
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölüm numune hazırlanması, temizlenmesi, deney ve ölçüm sistemi ile ilgili bilgileri içermektedir. Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapılarının *I*-*V*, *C*-*V* ve fotovoltaiik karakteristiklerini belirlemede kullanılan cihazların özelliklerinden bahsedilmektedir.

3.2. GaP Yarıiletkeninin Özellikleri

GaP periyodik tablonun III. grubunda bulunan Galyum (Ga) ve V. grubunda bulunan Fosfor (P) elementlerinden meydana gelen III-V bileşik yarıiletkenidir. Molar kütlesi 100,697 g/mol olan GaP bileşiğinin erime noktası da 1477°C (1750 K)'dir. 300 K'de yasak enerji aralığı 2,26 eV'dir (Kabushemeyet *et al.* 1989). Ayrıca çinko blend kristal yapıda olan GaP bileşiği tetrahedral koordinasyon geometrisine sahip olup (Şekil 3.1), yoğunluğu 4,138 g/cm³'tür. İndirekt bant yapısına sahiptir. Örgü sabiti 5,4513 Å olarak hesaplanmıştır (Yiğit 2011).



Şekil 3.1. GaP yarıiletkenin atomik hücre yapısı (Anonymous 2018a)

3.3. Numunelerin Temizlenmesi

Yapıların oluşturulması için (100) doğrultusunda büyütülmüş, 400 µm kalınlığındaki n tipi GaP kristali kullanılmıştır. Yapının kaliteli olması için numune yüzeyinin organik ve mekanik kirlere temizlenmesi gerekmektedir. Numune yüzeyinin parlatılma işlemi fabrikasyon olarak yapıldığı için mekanik temizlemeye gerek kalmamıştır. Organik kirlere temizlemek için kimyasal temizleme işlemi kullanılmıştır. Kimyasal temizleme işleminin basamakları şöyledir:

1. Triklor Etilen ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkama.
2. Aseton ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkama.
3. Metanol ile ultrasonik banyoda 3 dakika yıkama.
4. DIW (18MΩ) ile durulama.
5. H₂SO₄:H₂O₂:H₂O(5:1:1) ile 1 dakika süreyle yıkama.
6. DIW (18MΩ) ile durulama.
7. H₂O+HF(10:1) içinde 30 saniye yıkama.
8. Yüksek saflıkta N₂ gazı ile kristal kurutma

Ayrıca numune tutucu, cımbız ve maskeler metanol ile yıkayıp N₂ gazı ile kurutulmuştur. Buharlaştırmada kullanılacak metaller 5 dakika aseton, 5 dakika metanol, 5 dakika da deiyonize suda ultrasonik olarak temizlenmiştir.

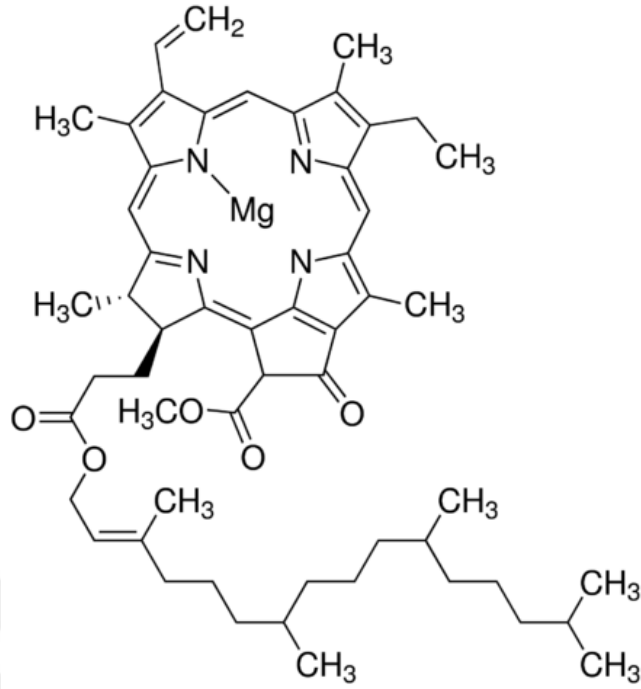
3.4. Klorofil-a Yapısı ve Özellikleri

Yeryüzünde yaşam güneş enerjisiyle sağlanır. Güneş enerjisi, bitkiler üzerinden kimyasal enerjiye dönüştürülerek (besin sentezi) yeryüzünde yaşayan bütün organizmalara hayat kaynağı olması yönü ile yaşam kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Kloroplastlarda besin moleküllerinin sentezi, klorofil tarafından soğrulan güneş enerjisiyle gerçekleşir. Bitkiler güneş enerjisini, CO₂ ve H₂O'yu kullanarak canlıların yaşaması için ham madde olan şeker sentezini yani diğer deyişle fotosentezi gerçekleştirmektedir. Fotosentez ise bitkilerin yeşil kısımlarında bulunan kloroplast

organeli içerisinde meydana gelir. Diğer bir deyişle; kloroplastlar güneşten 160 milyon kilometrelik yol kat ederek gelen ışık enerjisini yakalar ve bu enerjiyi şeker ve diğer organik moleküllerde depolanmış kimyasal enerjiye dönüştürür. Yeşil gövdeler ve olgunlaşmış meyveler dâhil, bir bitkinin tüm yeşil kısımlarında kloroplast bulunmakla birlikte, çoğu bitkide yapraklar fotosentezin gerçekleştiği başlıca organlardır. Yarım milimetrelik yaprak yüzeyinde yaklaşık yarım milyon kloroplast bulunur. Aslında kloroplast fotosentez olayının gerçekleştiği organeldir. Fakat fotosentez mekanizması kloroplast içerisinde yerleşmiş olan ve bitkiye yeşil rengini veren klorofil pigmenti üzerinden gerçekleştirilir.

Klorofilleri, çeşitli dalga boylarındaki ışıkları emerek bitkide fotosentez (özümleme) olayının meydana gelmesini sağlayan, yeşil renkli bir pigment (renk verici madde) olarak da tanımlamak mümkündür. Bitki bünyesinde, kimyasal yapılarında meydana gelen küçük farklılıklar neticesinde 5 farklı tip klorofil pigmenti (klorofil a, b, c, d ve e) bulunmaktadır. Foto sentetik bitkilerde bu beş tip klorofil içerisinde en fazla klorofil a ve b bulunmaktadır. Diğer tip klorofiller ise mevcut olmakla birlikte eser miktardadır.

Klorofil-a bakteriler hariç bütün yeşil bitkilerde, Klorofil-b yüksek bitkilerde ve yeşil yosunlarda bulunur. Klorofil-d kırmızı yosunlarda, Klorofil-c kahverengi yosunlarda, diatome ve öglena gibi bir hücreli kamçılılarda bulunur. Yaptığı iş, fotosentez olayında, karbondioksidin şekerlere ve diğer organik bileşiklere indirgenmesinde kullanılan ışık enerjisini soğurmaktadır. Klorofil-a, dalga boyu 662 μm , Klorofil-b ise dalga boyu 654 μm olan ışığı soğururlar. Klorofil-a'nın formülü $\text{C}_{55} \text{H}_{72} \text{O}_5 \text{N}_4 \text{Mg}$ olup dört tane pirol halkasına sahiptir. Ortada, Mg pirol halkasındaki azotlar ile çekirdek teşkil etmiştir (Şekil 3.2). Pirol halkaları birbirlerine karbon köprüleriyle bağlanmışlardır. Böylece büyük bir halka meydana gelmiştir.



Şekil 3.2. Klorofil-a yapısı

Katalog numarası C5753, %100 saflık derecesine sahip Klorofil-a molekül formülü $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ ve molekül ağırlığı 893,49 g/mol olup Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir.

Kloroplastlar enerjisini güneşten alan kimya fabrikalarıdır. Bu dönüşümü daha iyi anlamak için ışığın bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Işık elektromanyetik enerji olarak bilinen bir enerji biçimidir. Ayrıca elektromanyetik radyasyon olarak da isimlendirilmektedir.

Güneş, elektromanyetik enerjinin tüm spektrumunu yaymasına karşın, atmosfer, görünür ışığı geçirirken diğer ışınların önemli bir bölümünü süzer. Bu yönüyle seçici bir pencere olarak iş görür. Fotosentezde spektrumun gözle görünür kısmı yani görünür ışık kullanılmaktadır.

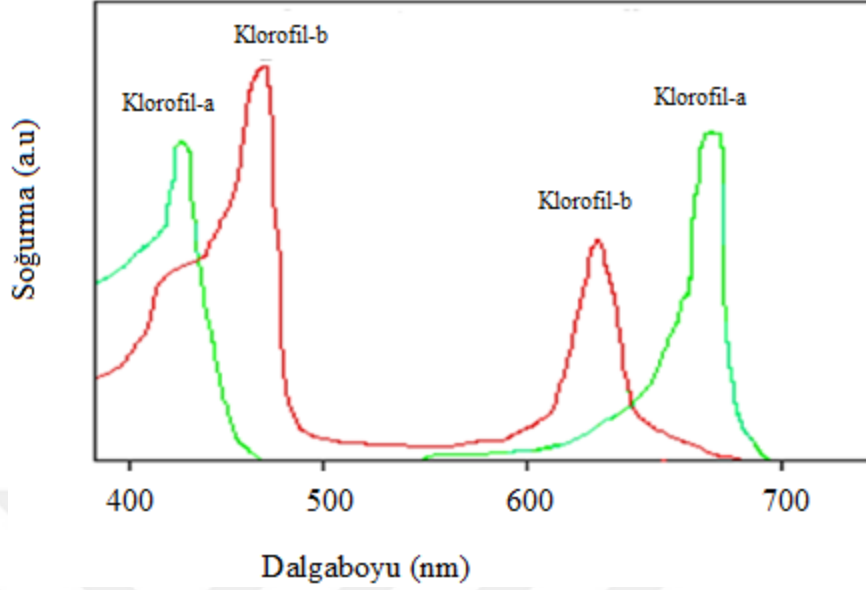
Işık maddeyle karşılaşınca, madde tarafından yansıtılabilir, maddenin içinden geçebilir ya da emilebilir. Görünür ışığı soğuran maddeler pigment olarak isimlendirilir. Farklı

pigmentler farklı dalga boyundaki ışığı soğururlar ve soğurulan dalga boyu ortadan kaybolur. Eğer bir pigment beyaz ışıkla ışıklandırılırsa, pigment tarafından yansıtılan ya da geçirilen ışığın büyük bir kısmı gözümüzün seçebildiği rengi oluşturur. Bir yaprak bize yeşil görünür. Çünkü klorofil kırmızı ve mavi ışığı soğurur, yeşil ışığı yansıtır.

Bir pigmentin, dalga boyuna karşı soğurduğu ışığı gösteren bir grafik soğurma spektrumu olarak isimlendirilir. Kloroplasttaki pigmentlerin soğurma spektrumları, farklı dalga boylarının fotosentezin sürdürülmesinde farklı dalga boylarının oransal etkisine ilişkin ipucu verir. Çünkü ışık yalnızca kloroplastlar tarafından soğrulunca iş görür. İlk olarak mavi ve kırmızı ışığın fotosentezde en etkili oldukları, buna karşılık yeşilin etkisini az olduğu görülür. Bu durum fotosentezin etkin spektrumu tarafından da doğrulanmaktadır.

Bir spektrofotometre, bir pigment çözeltisi tarafından soğurulan ve geçirilen farklı dalga boylarındaki oransal ışık miktarını ölçer. Beyaz ışık spektrofotometrenin iç kısmında bir prizma tarafından çeşitli renklere ayrılır. Daha sonra, tek tek, ışığın farklı renkleri örnekten geçirilir. Geçirilen ışık bir fotoelektrik tüpe çarpar. Fotoelektrik tüp, ışık enerjisini elektriğe dönüştürür ve elektrik akımı bir galvanometre tarafından ölçülür (Campbell 2010).

Klorofil ve diğer pigmentler fotonları soğurunca soğurulan dalga boyuna karşılık gelen renkler geçirilen ve yansıtılan ışığın spektrumunda ortadan kalkar; fakat, enerji yok olamaz. Bir molekül bir foton soğurunca, molekülün elektronlarından biri, potansiyel enerjisinin daha yüksek olduğu bir yörüngeye yükselir. Elektron normal yörüngesindeyken, pigment molekülünün temel durumda olduğu söylenir. Şekil 3.3'te klorofilin soğurma spektrumu verilmiştir.



Şekil 3.3. Klorofilin soğurma spektrumu

Farklı araştırmacılar tarafından güneş pillerinin arayüzey tabakasında farklı malzemeler kullanılarak hem üretimi daha kolay hemde maliyeti düşük piller elde etmek amaçlanmıştır. Klorofilin; güneş pili sistemleri için ucuz bir malzeme olması, solar spektrumun görünür bölgede olması, optik soğurmaya gözlemlemeye uygun olması, fotovoltaj özellikleri üzerine etkileri sebebiyle ilgi çekici bir malzeme olmasını sağlamıştır.

3.5. Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al Yapılarının Üretilmesi

n-GaP yarıiletkeni iki parçaya ayrılmış ve metaller temizlendikten sonra kirlilik oluşmaması için hemen omik kontak işlemine geçilmiştir. Omik kontak için molibden ısıtıcı kaplama ünitesine yerleştirilip yakılarak hazır hale getirilmiştir. *n*-GaP numunelerinin mat tarafına gelecek şekilde molibden ısıtıcıya yerleştirilen Al vakum kazanı içindeki basınç değeri 10^{-5} Torr basınca ulaşıncaya buharlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te kullanılan vakum buharlaştırma ünitesi gösterilmiştir.



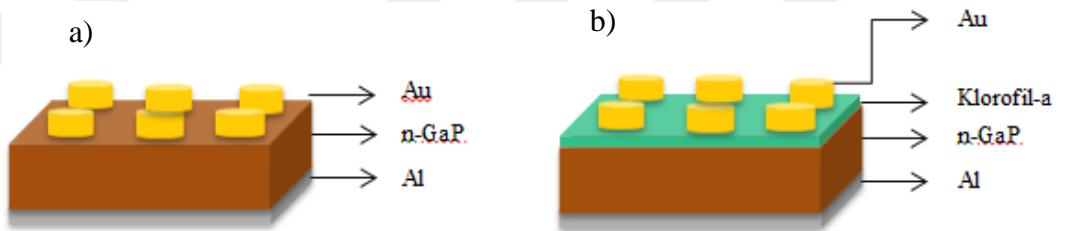
Şekil 3.4. Vakum buharlaştırma ünitesi

Buharlaştırma işlemi bittikten hemen sonra kaplama ünitesinden alınan numuneler azot gazı altında tavlama fırınına yerleştirilmiş ve 500°C'de 3 dakika tavllanmış ve omik kontak işlemi tamamlanmıştır. Şekil 3.5'te kullanılan tavlama fırını gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Tavlama fırını

1 mg Klorofil-a 2 ml kloroform metanol (2:1) karışımı içerisinde çözülerek -18°C 'de muhafaza edilmiştir. Numunenin mat yüzeyine oluşturulan omik kontak işleminden hemen sonra numunelerden birinin parlak yüzeyi üzerine $10\ \mu\text{l}$ Klorofil-a damlatılmış ve spin-coating yöntemiyle 3000 rpm'de 25 s döndürme işlemiyle Klorofil-a tabakası oluşturulmuştur. Daha sonra numuneler buharlaştırma ünitesinde 0,5 mm yarıçaplı bir maske üzerine yerleştirilmiş 10^{-5} Torr basınçta Au buharlaştırılarak Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları elde edilmiştir. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının şematik gösterimi Şekil 3.6 a) ve b)'de verilmiştir.



Şekil 3.6. a) Au/n-GaP/Al ve b) Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının şematik gösterimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Giriş

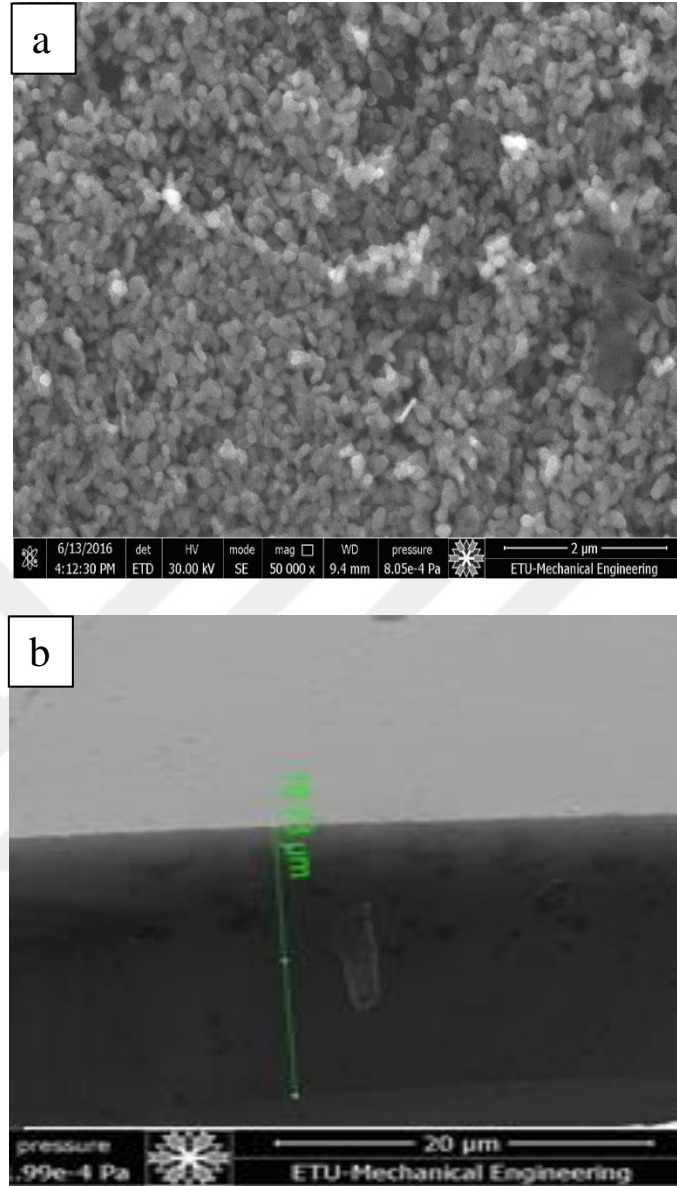
Bu bölümde GaP kristali üzerine üretilmiŐ Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapısının SEM görüntüleri, Klorofil-a yapısının soğurma ls, Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapılarının $I-V$, $C-V$ ölçümlerinden elde edilen grafikler ve bu grafikler yardımıyla hesaplanan bazı diyot karakteristik parametreleri ve fotovoltatik parametreleri hesaplamalarına yer verilmektedir.

4.2. SEM Görüntüleri

n-GaP zerine spin-coating sistemiyle büyütülen Klorofil-a ince filminin SEM görüntüsünün alındığı sistemin fotoğrafı Şekil 4.1'de SEM görüntüleri ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ölçümlerde kullanılan SEM sistemi



Şekil 4.2. a) Klorofil-a/*n*-GaP yapısının yüzey görüntüsü b) tesir kesitsel (yanal) SEM görüntüsü

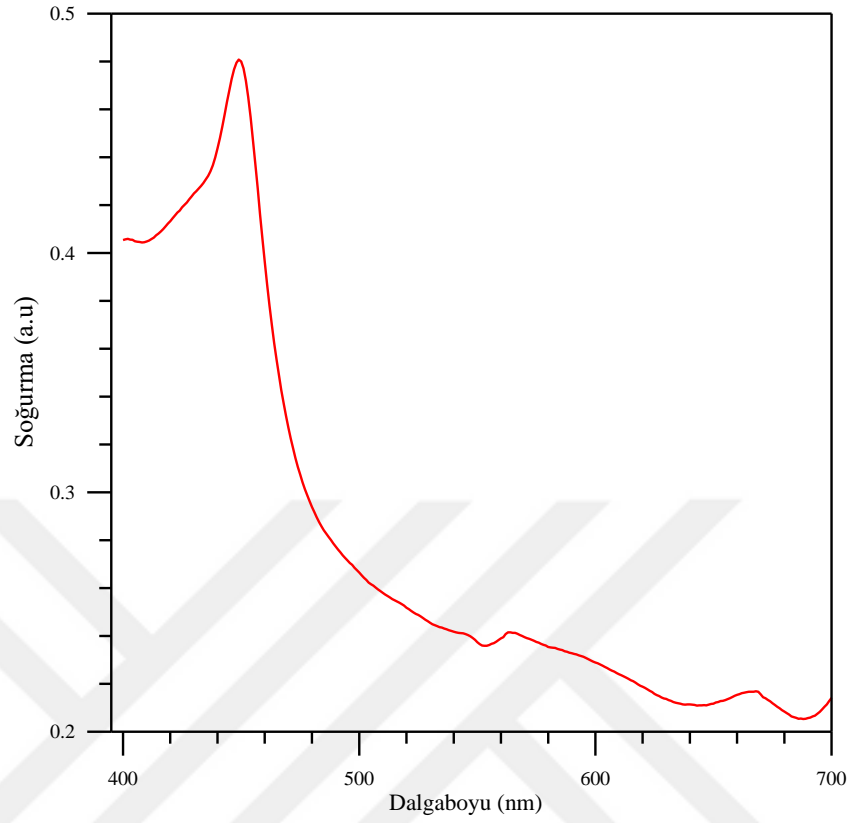
SEM görüntüleri incelendiğinde *n*-GaP üzerine spin-coating sistemiyle büyütülen Klorofil-a çözeltisinin yüzeyi tamamen kapladığı ve homojen bir şekilde alttaş üzerine tutunduğu görülmektedir. İki boyutlu SEM görüntüsünden *n*-GaP yüzeyi üzerinde çubuk şeklinde çoğunlukla yüzeye dik olarak büyüyen mikron altı büyüklükte parçacıklar gözükmemektedir. Bunun yanı sıra bazı bölgelerde düzenli kümelenmeler sergilemektedir.

4.3. Soğurma Ölçüleri

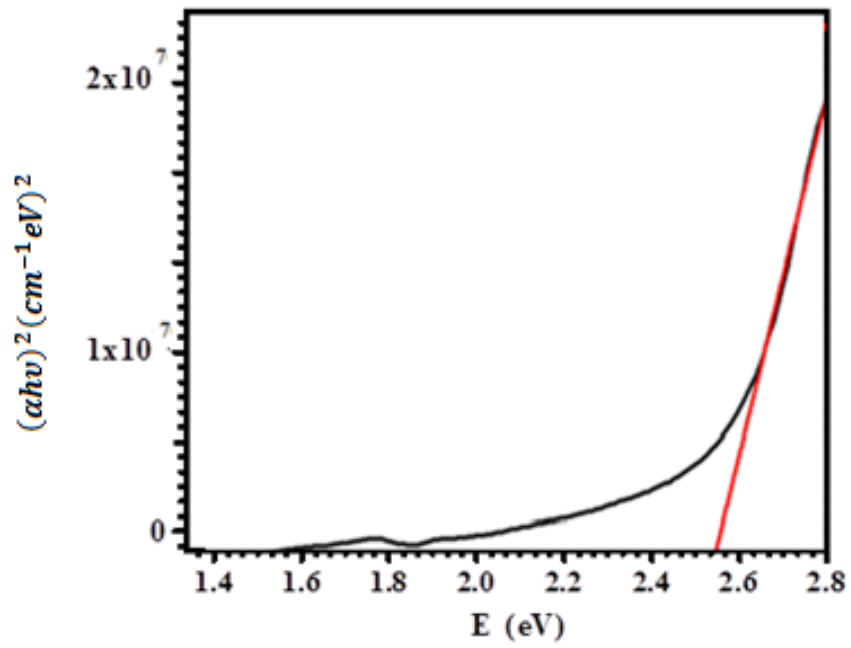
Hem cam altlık üzerine spin-coating yöntemiyle büyütülen Klorofil-a tabakasının hem de Klorofil-a çözeltisinin soğurma ölçüleri oda sıcaklığında ve 300 - 900 nm dalga boyu aralığında Perkin Elmer Lambda 35 uv/vis Spektrometre cihazıyla alınmıştır. Soğurma ölçüleri nin alındığı sistem Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Cam yüzeyine büyütülen Klorofil-a tabakasını soğurma ölçüleri Şekil 4.4 ve 4.5'te ve Klorofil-a çözeltisinin soğurma ölçüsü ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



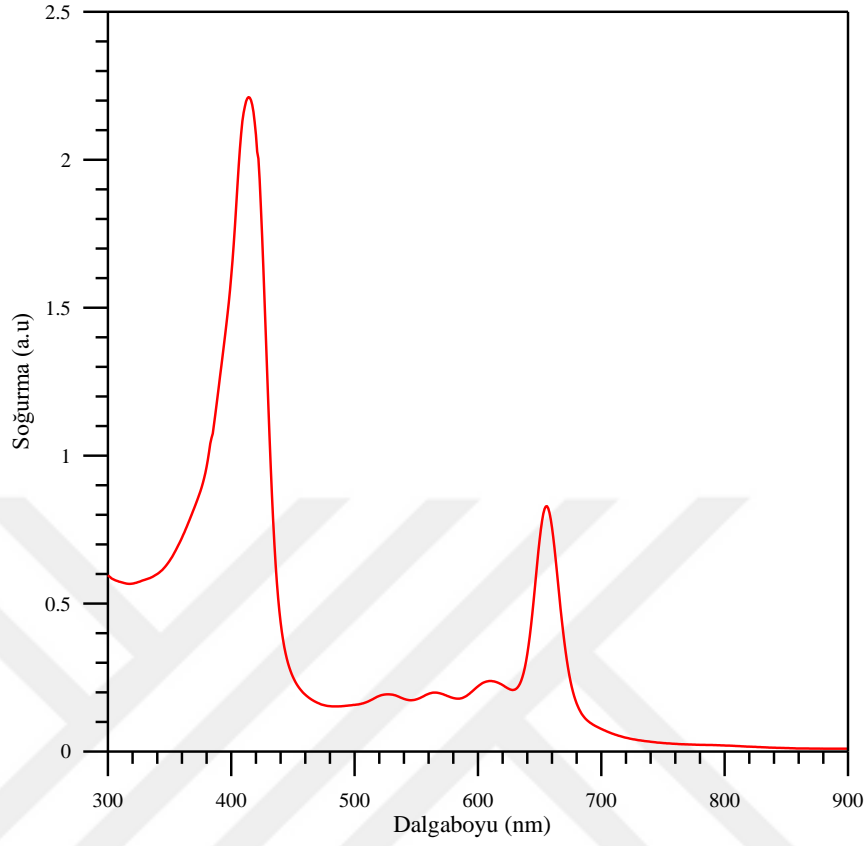
Şekil 4.3. Soğurma ölçüm cihazı



Şekil 4.4. Cam üzerine büyütülen Klorofil-a yapısının soğurma spektrumu



Şekil 4.5. Cam üzerine büyütülen Klorofil-a yapısının $(\alpha h\nu)^2(\text{cm}^{-2}) - E$ (eV) grafiği



Şekil 4.6. Klorofil-a çözeltilisinin soğurma spektrumu

Klorofil-a ince filminin yasak enerji aralığını belirlemek amacıyla aşağıda verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$T = \frac{\exp(-\alpha t)(1-R)^2}{\exp(-2\alpha t)(1-R^2)} = \exp(-A) \quad (4.1)$$

Burada R yansıtma (reflektans) katsayısı, T geçirgenlik (transmittans), A soğurma, α soğurma katsayısı ve t ise filmin kalınlığıdır.

$$T = \frac{(1-R)^2}{1-R^2} = \exp(-A) \quad (4.2)$$

şekline dönüşür. Buradan R değeri

$$R = \frac{1 - \exp(-A)}{1 + \exp(-A)} \quad (4.3)$$

elde edilir. Film kalınlığı (t) ve transmittansa bağlı olarak, Siciliano *et al.* (2012) soğurma katsayısını;

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \left[\left[\frac{(1-R)^2}{2T} \right] + \sqrt{\left[\frac{(1-R)^2}{2T} \right]^2 + R^2} \right] \quad (4.4)$$

şeklinde tanımlamıştır. Eşitlik (4.5)'te transmittans, soğurma bağıntısı ve Beer yasasından elde edilen $A = -\ln(e^{-\alpha t})$ ifadesi kullanılarak reflektans ve soğurma ifadelerini içeren soğurma katsayısı;

$$\alpha = -\ln \left[\frac{-(1-R)^2 + \sqrt{(1-R)^4 - 4R^2 \exp(-A)(-\exp(-A))}}{2R^2 \exp(-A)} \right] \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir (Çakıcı 2014).

Şekil 4.5'te soğurma katsayısının karesinin $(\alpha hv)^2 - hv$ grafiği çizilmiş ve bu grafikte lineer bölgenin enerji eksenine fit edilmesiyle yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. Cam üzerine büyütülen Klorofil-a ince filminin yasak enerji aralığı yaklaşık 482 nm (2,58 eV) civarında olduğu bulunmuştur Klorofil-a çözeltisinin soğurma spektrumu alınmış ve Şekil 3.3 ile uyum içerisinde olduğu sonucu görülmüştür.

4.4. Akım-Gerilim Parametrelerinin Hesaplanması

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının $I-V$ ölçümleri bilgisayar programına bağlı KEITLEY 2400 Picoammeter/Voltage Source cihazı ile oda sıcaklığında (T=300 K), karanlık ve aydınlık ortamda alınmıştır (Şeki 4.10).

Bir diyodun karakteristiğini belirleyen en önemli parametre idealite faktörüdür. Boyutsuz bir parametre olan idealite faktörü "n" sembolü ile gösterilir. İdeal bir diyot için n değeri 1'dir ve n değeri 1'den büyük bir değere ulaştıkça diyot ideal olmayan bir davranış sergiler (Tung 1991).

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{-eV}{kT}\right)\right] \quad (4.6)$$

bağıntısında doğru beslem durumunda $eV \gg 3kT$ olduğunda (4.6) denklemdeki '1' terimi ihmal edilir. Bu durumda denklem

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (4.7)$$

haline gelir. (4.7) denkleminin her iki tarafının tabii logaritması alındıktan sonra V 'ye göre türevi alınarak idealite faktörü;

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (4.8)$$

olarak elde edilir. Ölçümden elde edilen $I-V$ verilerinden, $\ln(I)-V$ grafiği çizilip bu grafiğin doğru beslem tarafına bir doğru fit çizilerek ve bu doğrunun eğiminden $\frac{dV}{d(\ln I)}$ bulunur. Bulunan bu değerler ve diğer sabit terimler denklem (4.8)'de yerine yazılarak idealite faktörü hesaplanır. Yine bu fit edilen doğruların $V = 0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akımını verir. I_0 doyma akımı;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (4.9)$$

şeklinde verilmektedir. (4.9) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınarak Φ_b 'ye göre çözümü yapılırsa,

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{e\Phi_b}{kT} \quad (4.10)$$

eşitliği elde edilir. (4.10) eşitliğinin her iki tarafının doğal logaritması alınıp denklem çözülürse, (4.11) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

$$\Phi_b = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4.11)$$

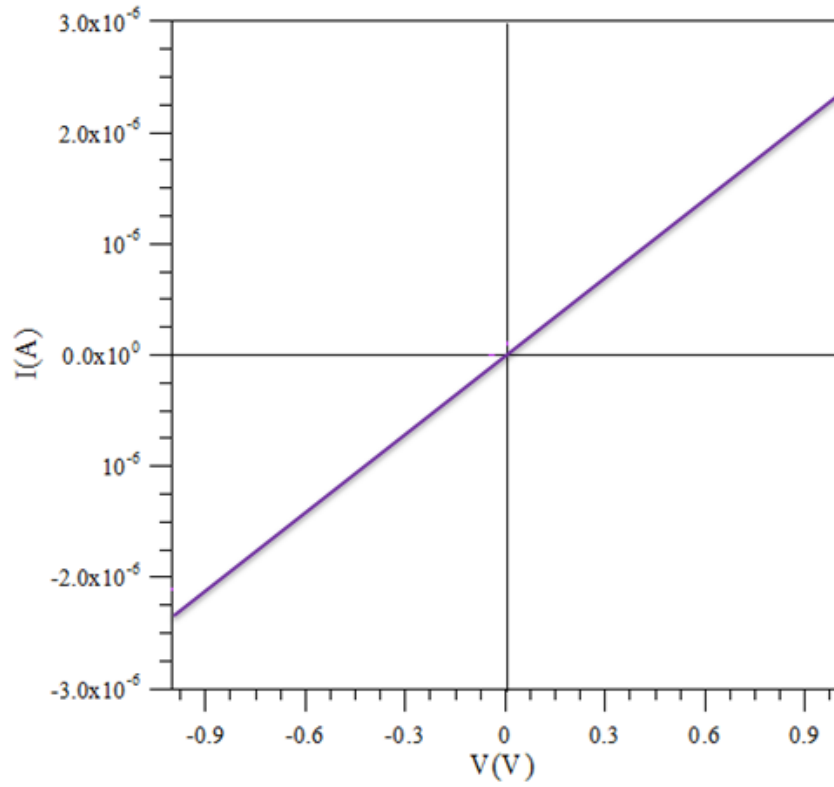


Şekil 4.7. $I-V$ karakteristiklerini almak için kullanılan deney düzeneği

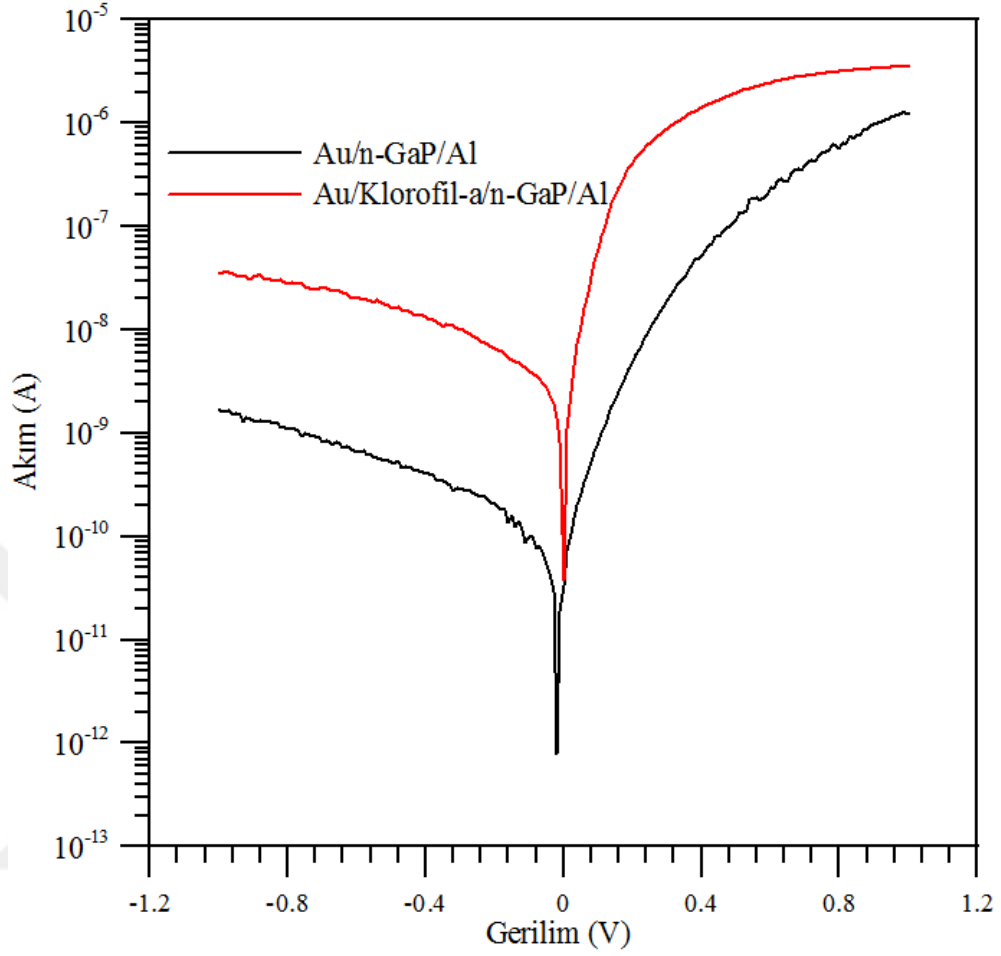
İdealite faktörü değerinin 1'den büyük olmasının nedeni ince doğal ara yüzey oksit tabakalarının ve seri direnç gibi etkilerin varlığına atfedilir. Bununla birlikte homojen olmayan engel yüksekliği yüksek idealite faktörü değerleri için önemli bir açıklama olmaktadır (Gupta and Yakuphanoglu 2012). Ayrıca idealite faktörünün büyük olması arayüzey tabakasındaki potansiyel düşmesine, aşırı akımın ve yarıiletken/yalıtkan tabakalar arasındaki arayüzey halleri boyunca rekombinasyon akımının varlığına atfedilebilir (Reddy 2014).

Schottky diyotlardan elde edilen $I-V$ karakteristiklerinin bazı durumlarda (örneğin; idealite faktörünün yaklaşık 1,03'den büyük olduğu durumlarda) termiyonik-emisyon

modeli ile doğrudan açıklanamayacağını göstermiştir. Bu durumu, Schottky engel yüksekliğinin uygulanan gerilime bağlı olduğunu kabul ederek açıklamıştır. Aynı zamanda idealite faktörünün 1'den daha büyük olduğu durumları, engelin imaj kuvvet etkisiyle azalması, jenerasyon-rekombinasyon akımları, arayüzey halleri ve tünelleme gibi etkilerin varlığıyla açıklamıştır. Au/Klorofil-a tabakasının omik kontak sergilediği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Au/Klorofil-a yapısının $I-V$ grafiği



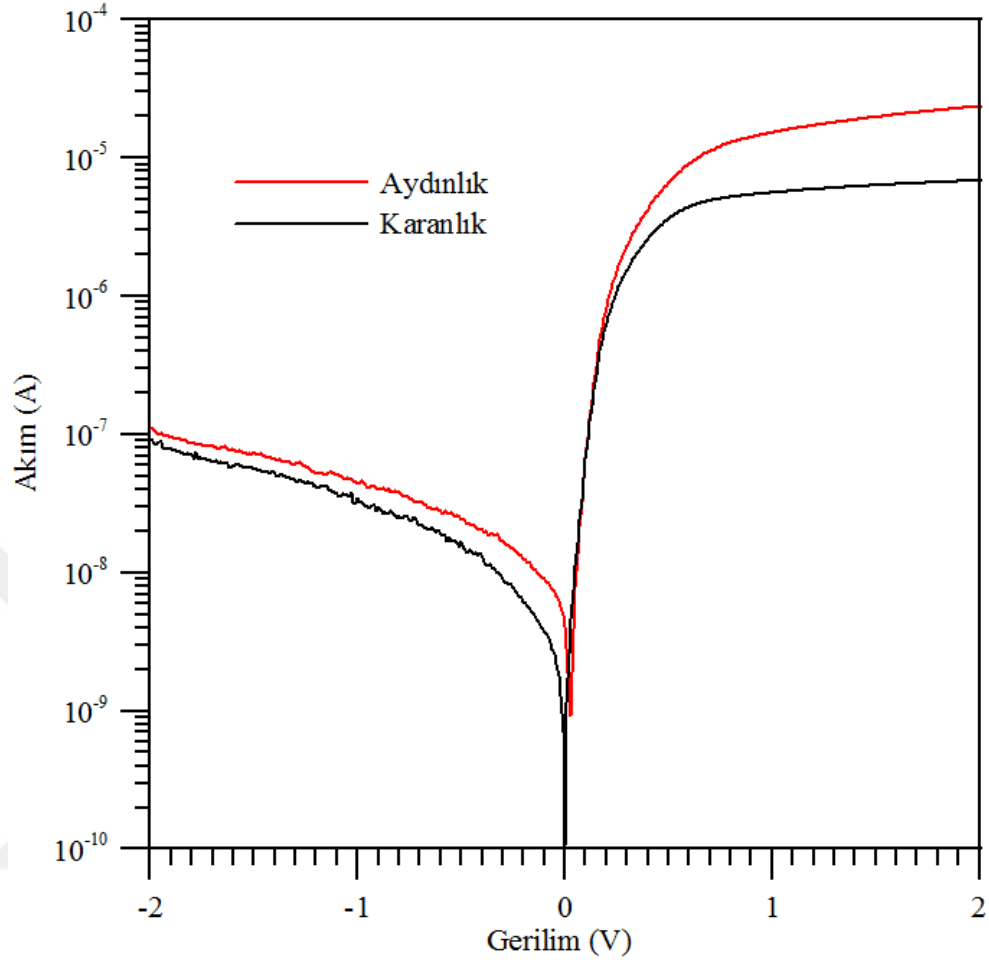
Şekil 4.9. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının $I-V$ grafiği

Elde edilen Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının 4 noktasının $I-V$ ölçümleri alınmıştır. Au/n-GaP/Al (1. nokta) ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al (1. nokta) yapılarının $I-V$ grafikleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Au/n-GaP/Al yapısı için idealite faktörü değeri 1,14, engel yüksekliği değeri 0,858 eV ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al üretilen yapının idealite faktörü 1,16, engel yüksekliği değeri ise 0,810 eV olarak hesaplanmıştır. Arayüzey tabakası ile kontaktaki engel yüksekliği değişimi arayüzey tabakası ile yarıiletken yüzey arasındaki arayüzey yüklerinin varlığına bağlıdır. Arayüzey hallerindeki mevcut negatif veya pozitif yüklerdeki artış yarıiletkenin deplasyon tabakasını etkileyecektir. n-tipi yarıiletken yüzeyde pozitif yüklenmiş donör gibi arayüzey halleri, pozitif uzay yükleri deplasyon bölgesinde azalırken negatif yüklenmiş akseptör gibi arayüzey yükleri artacağından dolayı engel yüksekliğini azaltır. Bu yüzden arayüzey tabakası ile yarıiletken yüzey arasındaki negatif yüklenmiş

akseptörlerden veya pozitif yüklenmiş donörlerin varlığından dolayı engel yüksekliği artmaktadır. (Rhoderick and Williams 1988).

Genellikle düz beslem $I-V$ karakteristikleri düşük düz beslem gerilimlerinde yarı-logaritmik ($\log I-V$) ölçekte lineerdir. Fakat uygulanan gerilim yeterince büyük olduğunda arayüzey halleri, arayüzey yalıtkan tabakası ve seri direnç etkisinden dolayı önemli ölçüde lineerlikten sapar. Seri direnç düz beslem $I-V$ karakteristiğinin aşağı yönlü kavisinde (lineer olmayan bölgede) önemlidir, fakat arayüzey halleri ve arayüzey yalıtkan tabakası $I-V$ karakteristiğinin lineer ve lineer olmayan her iki bölgesinde de önemlidir. Arayüzey hal yoğunluğunun ve seri direncin düşük olması, daha büyük bir aralıkta $I-V$ eğrisinin düz bir çizgi vermesini sağlar. $I-V$ grafiğinin lineer aralığı azaldıkça engel yüksekliği ve idealite faktörünün belirlenme doğruluğu daha zayıf olur (Karataş and Altındal 2005).

Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapısının (3.nokta) aydınlık ve karanlık ortamda alınan ölçüleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Karanlık ortamda idealite faktörü değeri 1,16 ve engel yüksekliği değeri 0,810 eV ve oda ışığında alınan ölçülerden elde edilen idealite faktörü değeri 1,02 ve engel yüksekliği değeri 0,823 eV olarak hesaplanmıştır. $I-V$ karakteristiğinden hesaplanan idealite faktörünün 1'den büyük olmasının sebepleri; imaj-kuvvet etkisi, rekombinasyon-jenerasyon ve tünelleme mekanizmalarının varlığından kaynaklandığı söylenebilir (Rhoderick 1988; Tung 2001).



Şekil 4.10. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının aydınlık ve karanlık ortamda $I-V$ grafiği (3. Nokta)

4.5. Norde Fonksiyonlarından Hesaplanan Parametreler

Norde fonksiyonu $F(V)$ (Norde 1979) engel yüksekliği ve seri direnç değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. $F(V)$ fonksiyonu;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA * T^2}\right) \quad (4.12)$$

eşitliği dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Burada $I(V)$, $I-V$ eğrisinden elde edilen akımdır ve γ , n'den daha büyük boyutsuz bir tamsayıdır. Şekil 4.11'de Au/n-

GaP/Al ve Şekil 4.12'de Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının karanlık ve aydınlık ortamdaki $V-F(V)$ grafikleri verilmiştir. Diyotların engel yüksekliği değerleri (Norde fonksiyonu kullanılarak)

$$\Phi = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.13)$$

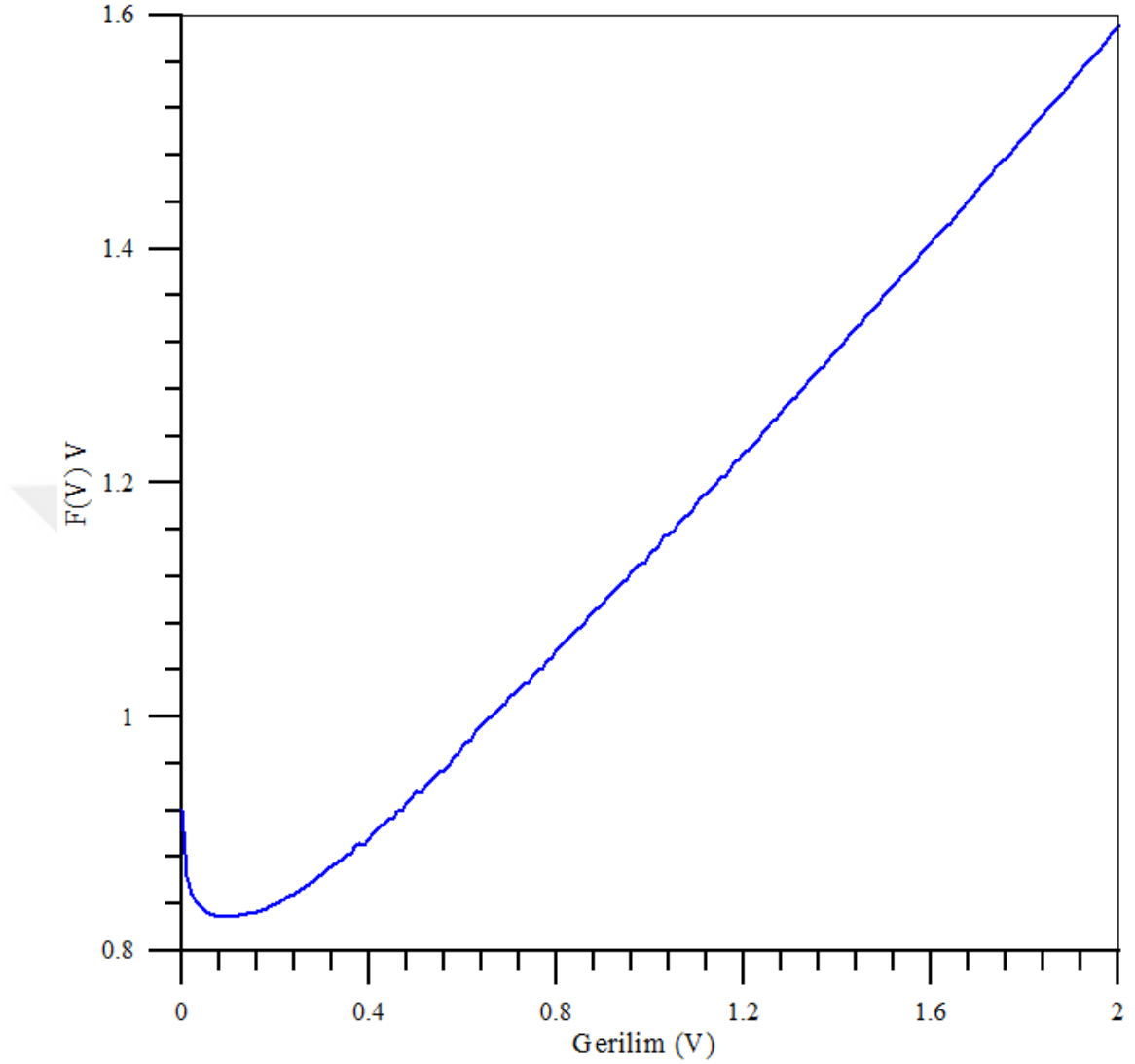
denklemini kullanılarak hesaplanmıştır.

Seri direnç değerlerini hesaplamak için,

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{\min}} \quad (4.14)$$

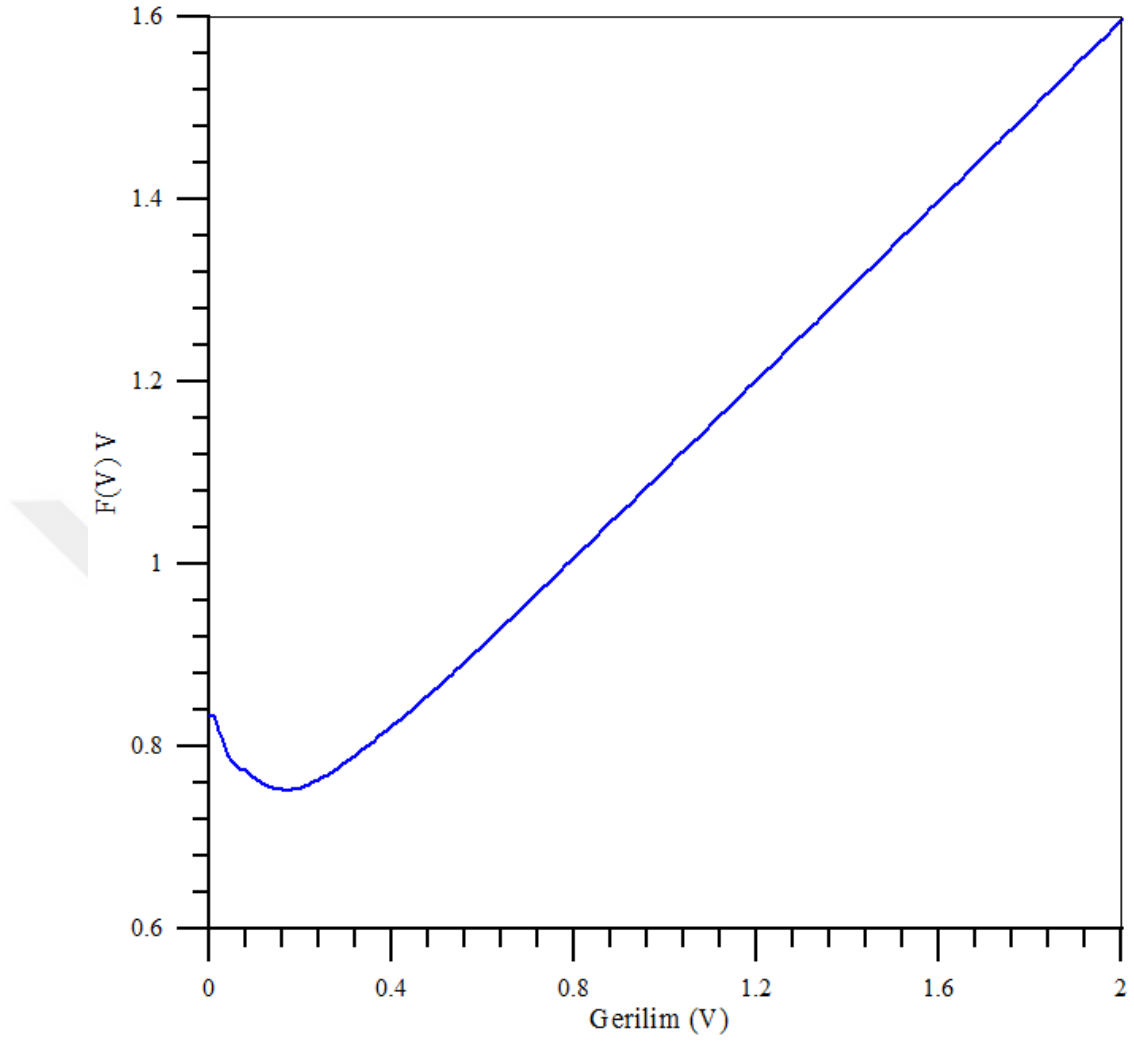
eşitliği kullanılmıştır ve elde edilen çeşitli parametreler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Burada I_{\min} , $F(V)$ fonksiyonunun minimum değer sergilediği yerde V_{\min} voltajında düz beslem voltaj değeridir.



Şekil 4.11. Au/n-GaP/Al yapısının karanlık ortamda $V-F(V)$ grafiği (1. Nokta).

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları için Norde fonksiyonları kullanılarak karanlık ortamda idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplanmıştır . Au/n-GaP/Al yapısı için karanlık ortamda idealite faktörü 1,14, engel yüksekliği 0,858 eV ve seri direnç değeri $3,791 \times 10^6 \Omega$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısı için karanlık ortamda idealite faktörü 1,16, engel yüksekliği 0,810 eV ve seri direnç değeri $1,077 \times 10^5 \Omega$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).



Şekil 4.12. Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapısının karanlıkta $V - F(V)$ grafiği (3. Nokta)

Seri direnç, düz beslemde akımı sınırlandırır ve $I - V$ karakteristiklerindeki lineerlikten sapma durumunu gösterir (Rhoderick 1988).

Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapıları için termiyonik emisyon modeli ve Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen parametreler karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Au/n-GaP/Al yapısının Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri

Diyot	İdealite faktörü	Engel yüksekliği (eV)	Seri direnç (Ω)
1. Nokta	1,14	0,858	$3,791 \times 10^6$
2. Nokta	1,23	0,795	$2,127 \times 10^6$
3. Nokta	1,21	0,856	$3,490 \times 10^6$
4. Nokta	1,24	0,903	$7,869 \times 10^7$

Çizelge 4.2. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri

Diyot	İdealite faktörü	Engel yüksekliği (eV)	Seri direnç (Ω)
1. Nokta	1,16	0,810	$4,824 \times 10^4$
2. Nokta	1,09	0,812	$1,039 \times 10^5$
3. Nokta	1,16	0,810	$1,077 \times 10^5$
4. Nokta	1,02	0,812	$7,709 \times 10^4$

Çizelge 4.3. Au/n-GaP/Al yapısının $I-V$ ve Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri

Diyot	Norde Fonksiyonu		$I-V$ Karakteristiği	
	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (eV)	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (eV)
1. Nokta	1,14	0,858	1,14	0,857
2. Nokta	1,23	0,795	1,22	0,794
3. Nokta	1,21	0,856	1,21	0,855
4. Nokta	1,24	0,903	1,24	0,902

Çizelge 4.4. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının $I-V$ ve Norde metoduyla hesaplanan karakteristik parametreleri

Diyot	Norde Fonksiyonu		$I-V$ Karakteristiği	
	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (eV)	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (eV)
1. Nokta	1,16	0,810	1,16	0,810
2. Nokta	1,09	0,812	1,09	0,813
3. Nokta	1,16	0,810	1,15	0,809
4. Nokta	1,02	0,812	1,02	0,812

Karanlık ortamda Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları için termioyonik emisyon ve Norde fonksiyonları kullanılarak hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

4.6. Oda Sıcaklığında $C-V$ Karakteristiklerinin İncelenmesi

MY Schottky kontaklarda bir kondansatör gibi davranan uzay yükü bölgesi ve bu bölgenin kapasitesi MY arayüzeyinin oluşumu hakkında önemli bilgiler vermektedir. Kapasitenin ters beslem durumunda gerilime bağlı değişiminden, Schottky kontakın engel yüksekliği, yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi parametreler belirlenebilmektedir. Yapıların $I-V$ karakteristiklerinden elde edilen bazı temel diyot parametreleri, diyotların elektriksel özelliklerini incelemeye ve özellikle kullanılan ara yüzey malzemesinin diyodun elektriksel özelliklerinde yaptığı değişiklikleri anlamada tek başına yeterli olmayabilir. Yapıyı daha iyi analiz etmek için $C-V$ ölçümleri de değerlendirilmelidir.

Artan ters beslem gerilimi ile yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar geriye doğru çekilir ve deplasyon bölgesinin genişliği ΔW kadar artar ve bunun sonucunda deplasyon bölgesi $W + \Delta W$ olur. Deplasyon bölgesindeki yükte meydana gelen

değişim, kapasitede bir değişime neden olur (Orak 2013). Deplasyon bölgesindeki yük değişir ve dolayısıyla sığa da değişir (Ziel 1968; Rhoderick and Williams 1988). Bu nedenle bu diyotlar değişken kapasitör olarak kullanılabilirler.

$$C = A \left(\frac{\epsilon_s \epsilon_0 e N_d}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(V_d - \frac{kT}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.15)$$

Burada ϵ_s , yarıiletkenin dielektrik sabiti (GaP için $\epsilon_s=11,1$), ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti ($\epsilon_0= 8,85 \times 10^{-14}$ F/cm), e elektronun yükü, V_d difüzyon potansiyeli, k Boltzmann sabiti, N_d iyonize olmuş donör konsantrasyonu ve T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. (4.15) ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$C^{-2} = \frac{2(V_d + V)}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 N_d} \quad (4.16)$$

olarak elde edilir. Burada V uygulama gerilimidir. Grafiği çizildiğinde yapılacak lineer fit ile $C^{-2} = 0$ için $V_d = V$ olarak difüzyon potansiyeli elde edilir. $C^{-2}-V$ (4.16) ifadesinin V 'ye göre türevi alınırsa,

$$\frac{d(C^{-2})}{dV} = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 N_d} \quad (4.17)$$

elde edilir.

Bu ifade N_d için yeniden düzenlenerek,

$$N_d = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 \frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (4.18)$$

bağıntısı elde edilir.

Termal dengede n -tipi bir yarıiletkendeki elektron konsantrasyonu,

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (4.19)$$

ile verilmektedir. Burada N_c , termal dengede iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu olup, GaP için $N_c = 2,4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 'tür. n -tipi bir yarıiletken için $N_d \gg n_i$ olacağı için $n_0 \cong N_d$ olur (Neamen 1992). Burada n_i , intrinsic elektron konsantrasyonudur. Bu durum dikkate alındığında, (4.20) ifadesi,

$$N_d = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (4.20)$$

olarak elde edilir. Son ifadenin tabii logaritması alınacak olursa ve iletkenlik bandı referans seviye olarak ($E_c = 0$) kabul edilirse,

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_c}\right) \quad (4.21)$$

Fermi enerji seviyesi elde edilmiş olur. Bu ifade kullanılarak diyot için hesaplanan Fermi enerji seviyesi değerleri kullanılarak, $C-V$ verilerinden engel yükseklikleri,

$$\Phi_b = E_f + V_d \quad (4.22)$$

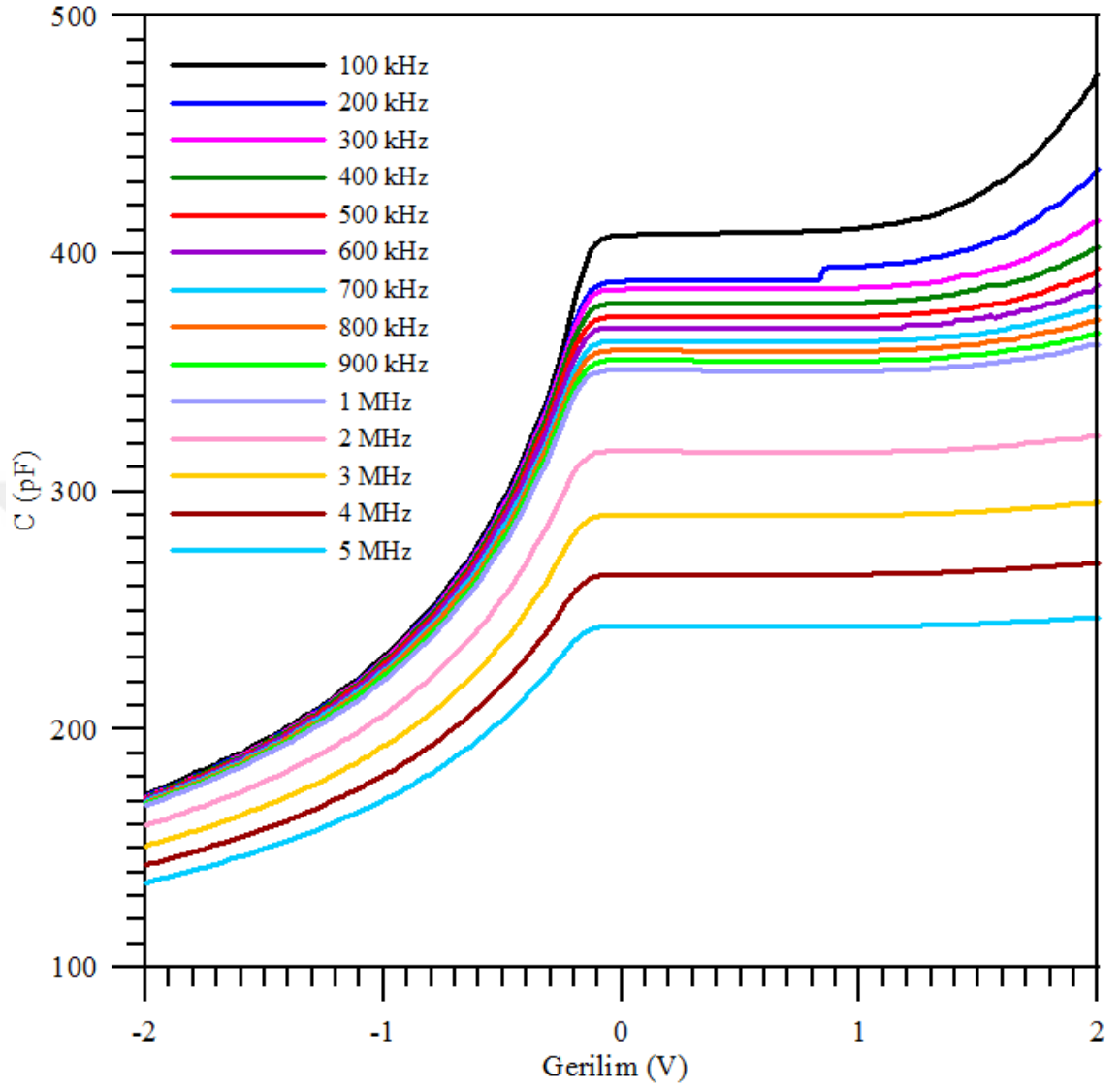
ifadesi ile elde edilebilir (Neamen 1992).

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının -2 V ile +2 V aralığında, oda sıcaklığında $C-V$ ölçümleri 100 kHz, 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz, 500 kHz, 600 kHz, 700 kHz, 800 kHz, 900 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 4 MHz, 5 MHz frekanslarında HP 4192A LF Impedance Analyzer cihazı ile kullanılarak alınmıştır.

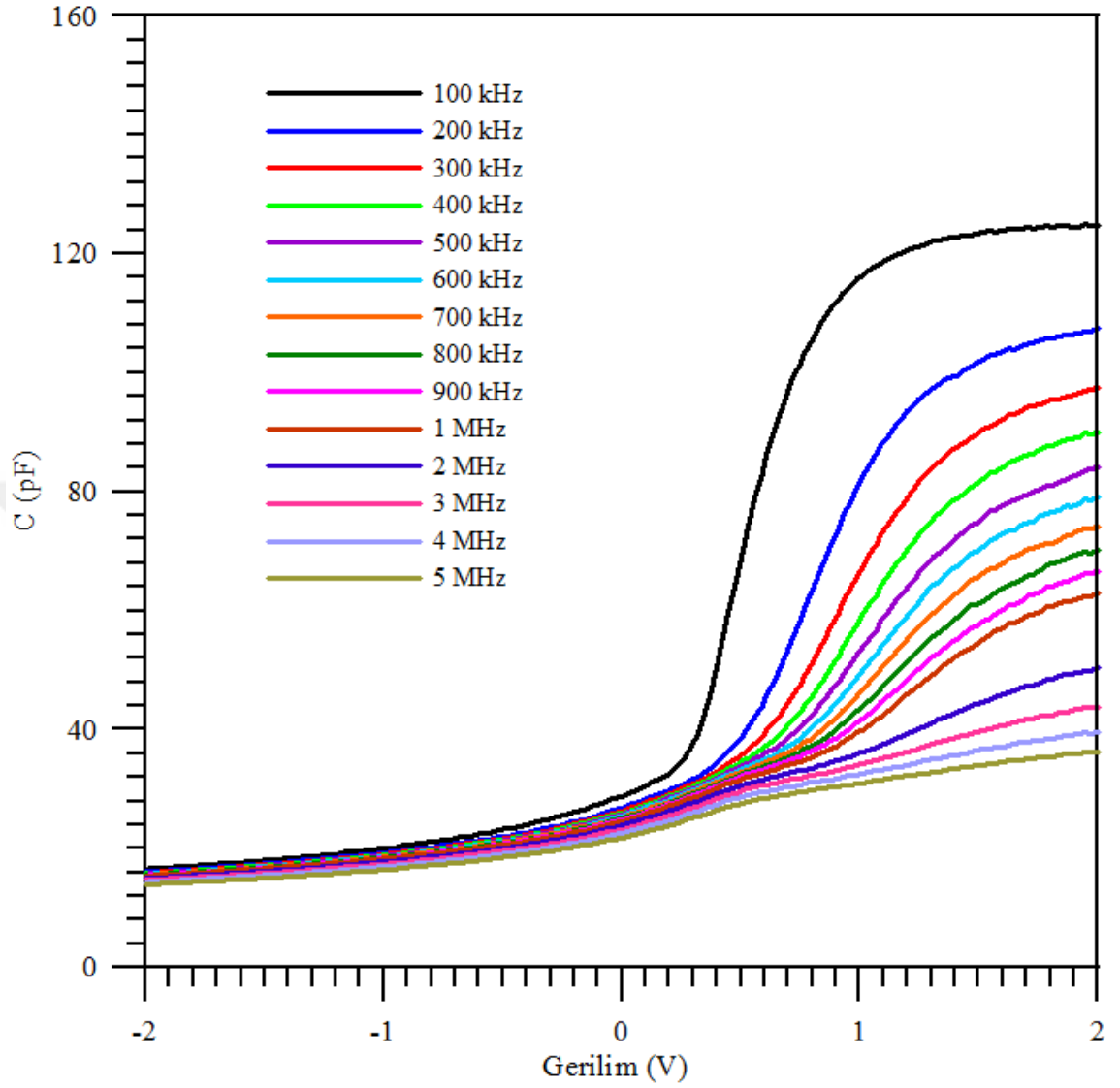
Kapasitenin pik değeri ve konumu katkılama konsantrasyonuna, arayüzey durumlarına, arayüzey tabakanın kalınlığından kaynaklandığı söylenebilir (Bülbül *et al.* 2006; Arslan

et al. 2010). Diyot iletken olduğu için düz beslem altında deplasyon bölgesinin kapasitesinin ölçümü zordur.

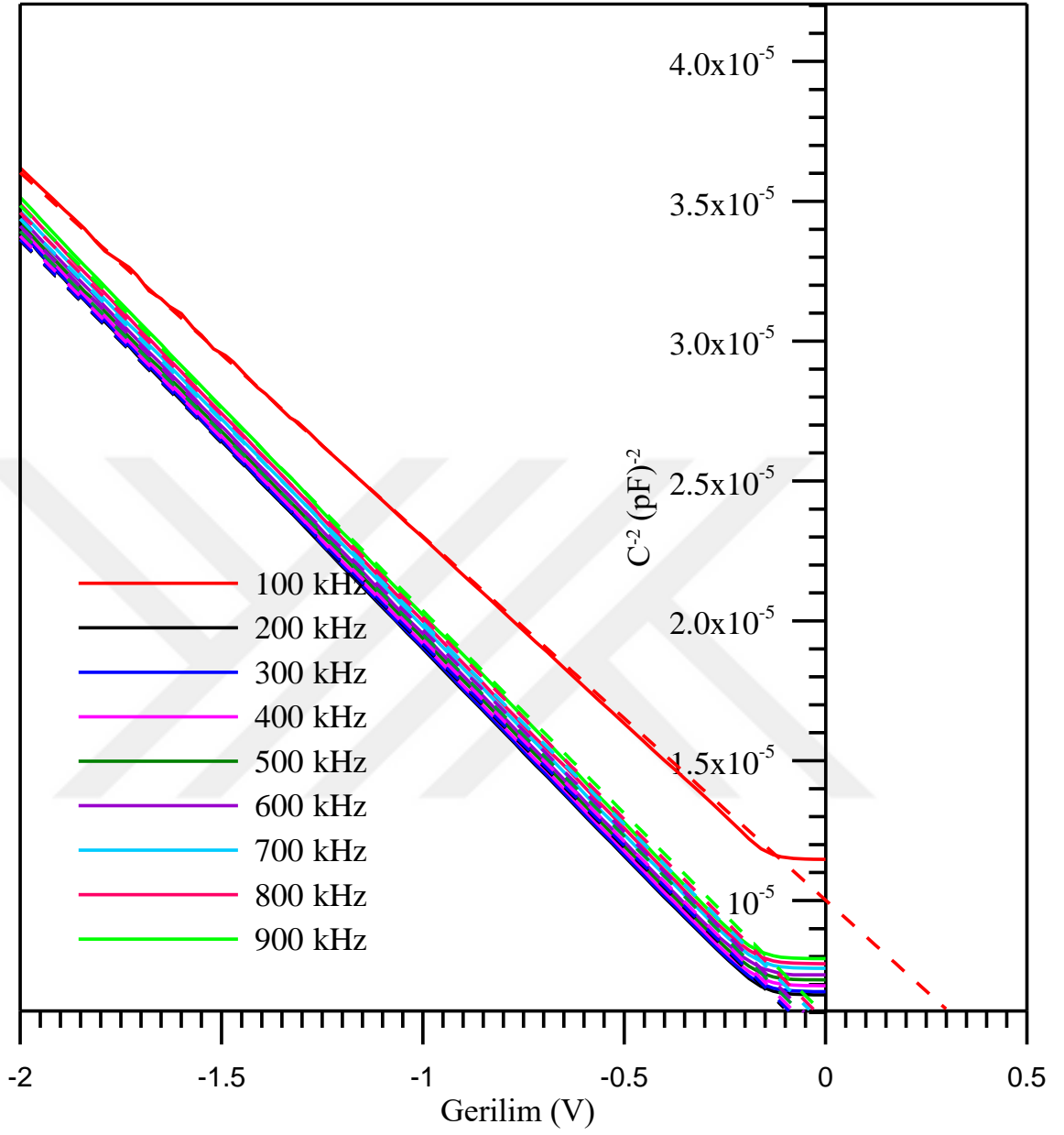
Oda sıcaklığında Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapılarının farklı frekans değerlerindeki düz ve ters beslem durumunda Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir. $C-V$ grafiklerinden elde edilen C^2-V grafikleri ise Au/*n*-GaP/Al yapısı için 100-900 frekans kHz aralığında Şekil 4.15, 1-5MHz frekans aralığında Şekil 4.16'da Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapısı için 100-900 kHz frekans aralığında Şekil 4.17, 1-5MHz frekans aralığında Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Ters beslem durumunda düşük negatif voltajlara doğru kapasite değerinin arttığı ve düz beslem durumunda yüksek voltajlara doğru kapasitenin keskin bir şekilde arttığı grafiklerden görülebilir. Diyot ters beslem altındayken deplasyon bölgesi genişleyeceği ve azalan gerilim ile N_d azalacağı için kapasitenin artması beklenir. (4.16) denkleminde görüldüğü gibi donör konsantrasyonu ile kapasite ters orantılıdır. Grafiklerden görüldüğü üzere artan frekans değeriyle kapasite azalmaktadır.



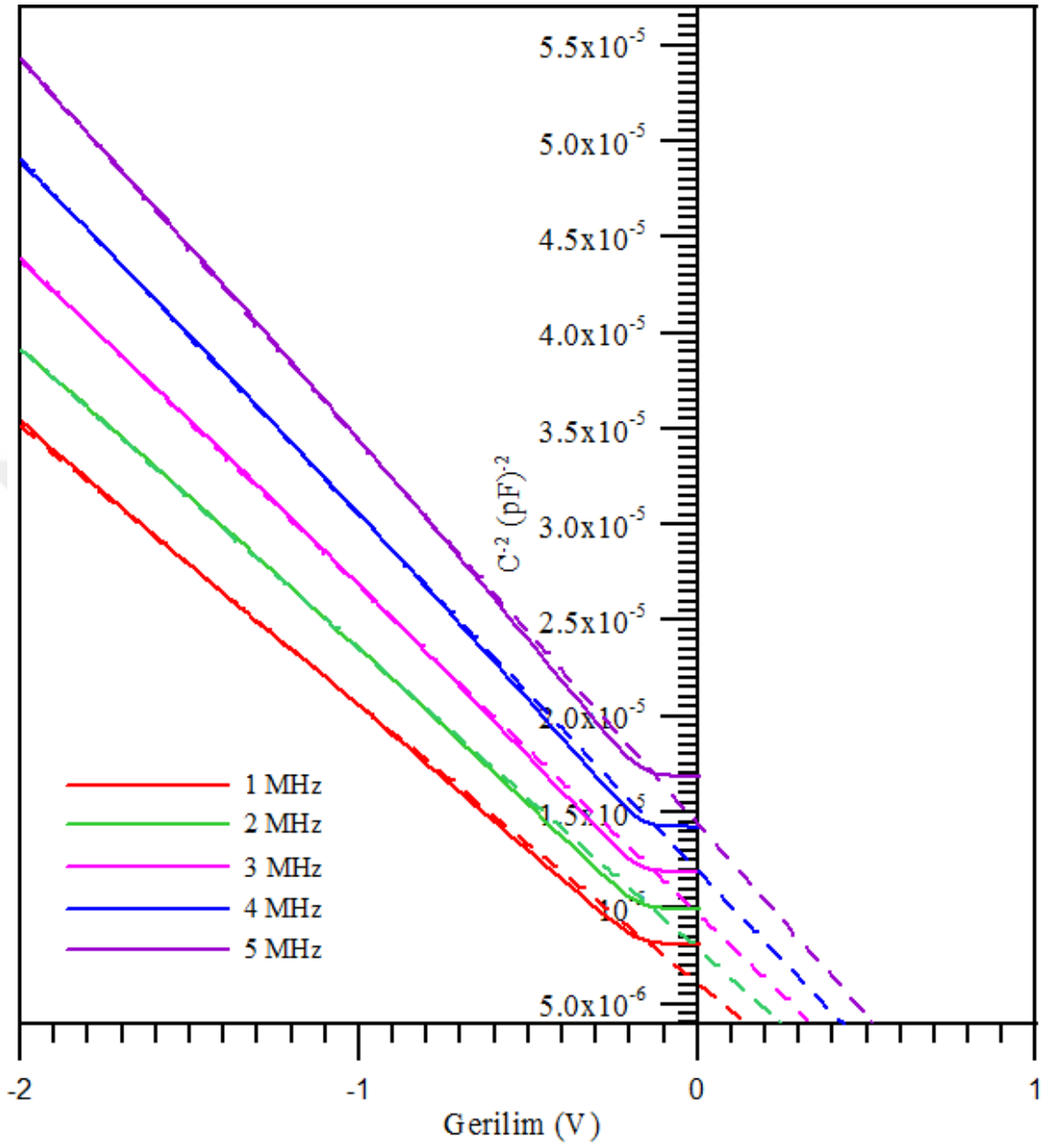
Şekil 4.13. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100 kHz -5 MHz frekans aralığında $C-V$ grafiği



Şekil 4.14. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100 kHz -5 MHz frekans aralığında $C-V$ grafiği



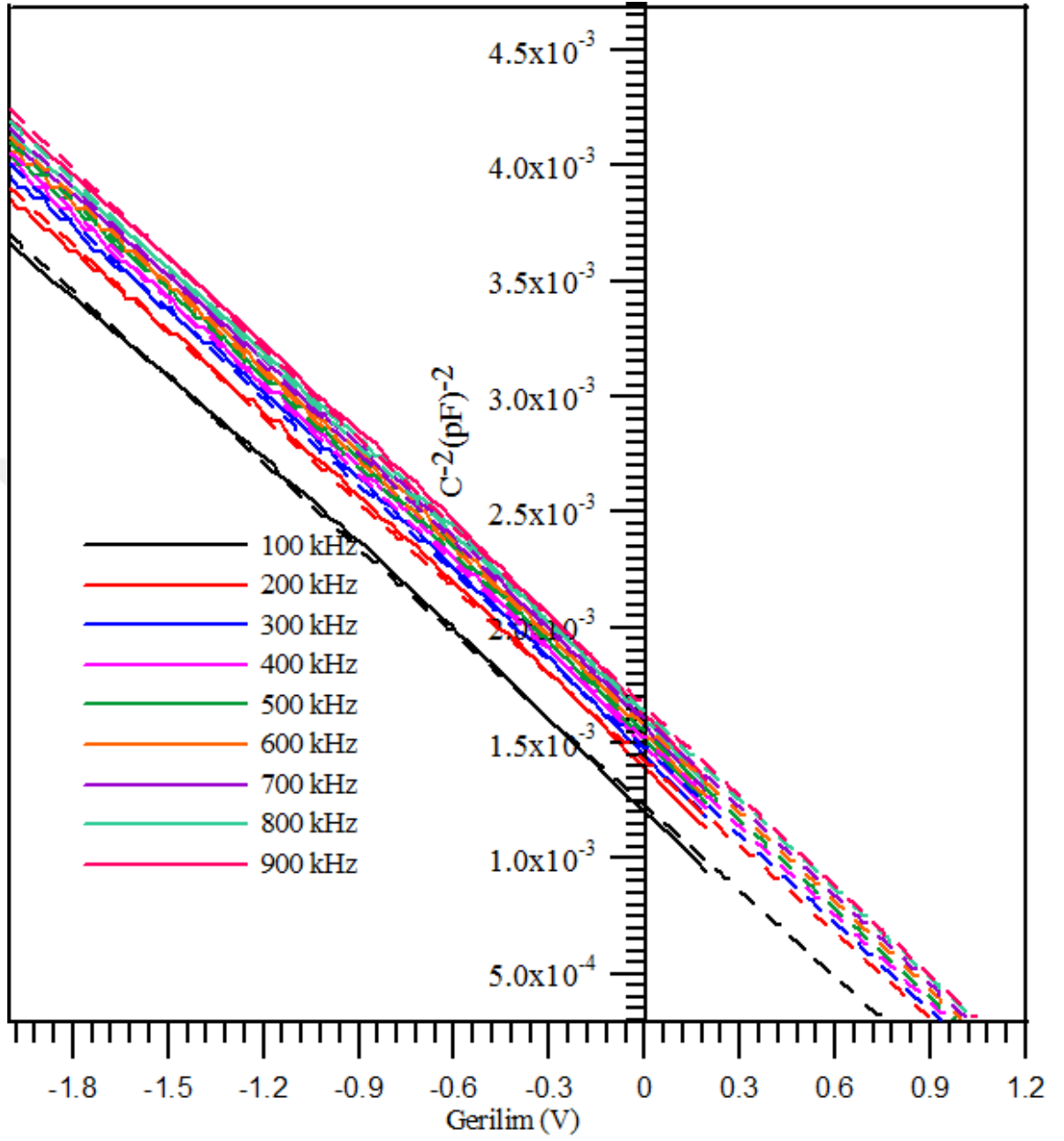
Şekil 4.15. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100-900 kHz frekans aralığında $C^{-2}-V$ grafiği



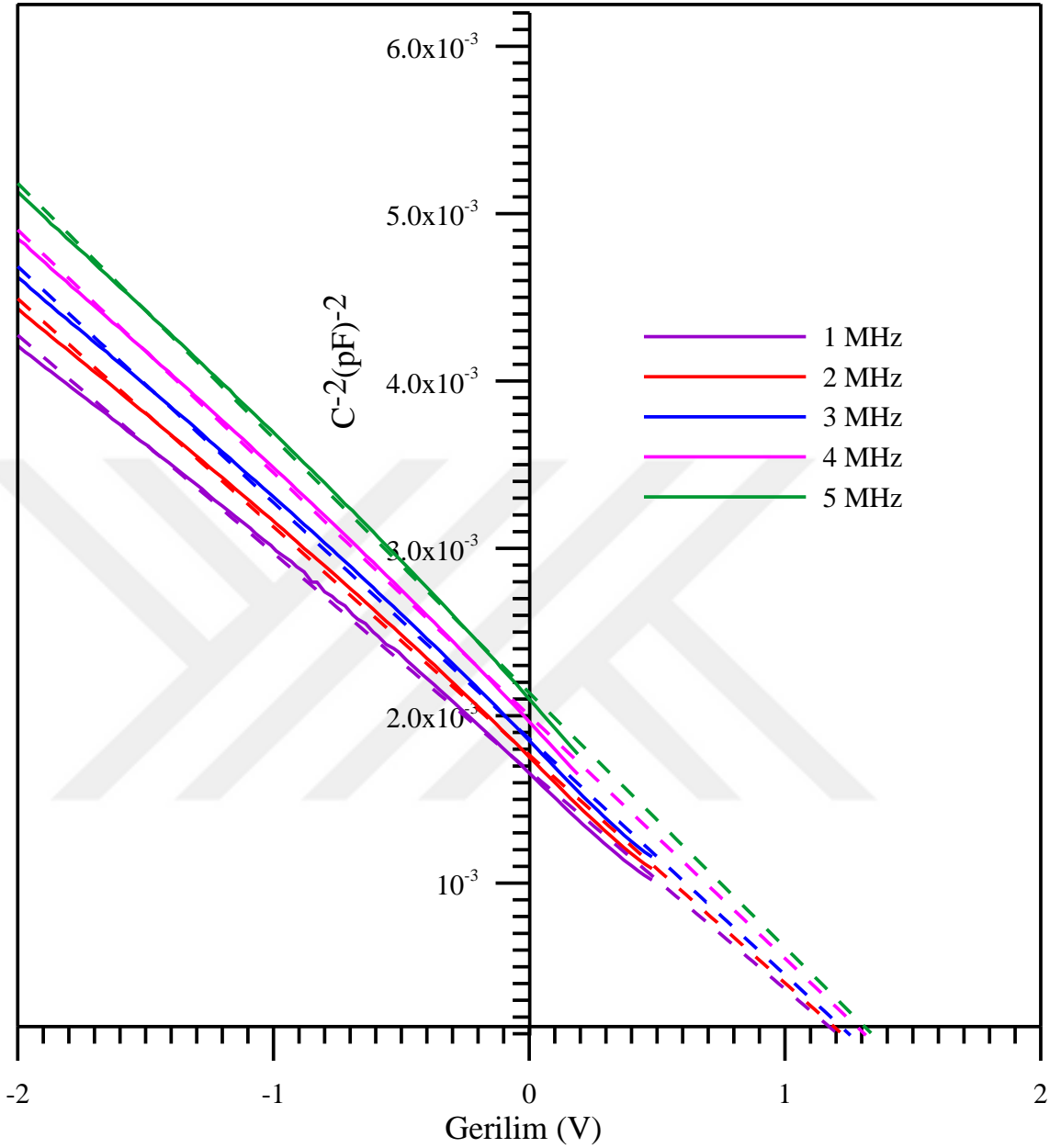
Şekil 4.16. Au/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 1-5 MHz frekans aralığında $C^{-2}-V$ grafiği

Çizelge 4.5. Au/n-GaP/Al yapısının $C^{-2}-V$ ölçümlerinden elde edilen karakteristik parametreler

V_D (eV)	N_D (m^{-3})	E_F (eV)	Φ_b (eV)	Frekans (kHz)
0,30	$1,343 \times 10^{22}$	0,015	0,320	100
0,32	$1,342 \times 10^{22}$	0,015	0,338	200
0,33	$1,344 \times 10^{22}$	0,015	0,344	300
0,34	$1,345 \times 10^{22}$	0,015	0,355	400
0,35	$1,346 \times 10^{22}$	0,015	0,368	500
0,36	$1,345 \times 10^{22}$	0,015	0,379	600
0,38	$1,345 \times 10^{22}$	0,015	0,397	700
0,39	$1,342 \times 10^{22}$	0,015	0,408	800
0,41	$1,340 \times 10^{22}$	0,015	0,421	900
0,42	$1,335 \times 10^{22}$	0,015	0,434	1000
0,50	$1,240 \times 10^{22}$	0,017	0,521	2000
0,57	$1,136 \times 10^{22}$	0,019	0,589	3000
0,64	$1,046 \times 10^{22}$	0,022	0,665	4000
0,72	$9,714 \times 10^{21}$	0,023	0,744	5000



Şekil 4.17. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 100-900 kHz frekans aralığında $C^{-2}-V$ grafiği



Şekil 4.18. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında 1-5 MHz frekans aralığında $C^{-2}-V$ grafiği

Ters beslem grafiğinde her bir frekans için uygun lineer fit çizildiğinde $C^{-2}=0$ için difüzyon potansiyeli V 'ye eşit olur, yani $V_d = V$ olur. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları için (4.18) denklemi kullanılarak N_d , (4.21) denklemi kullanılarak Fermi enerjisi ve (4.22) denklemi kullanılarak engel yüksekliği değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

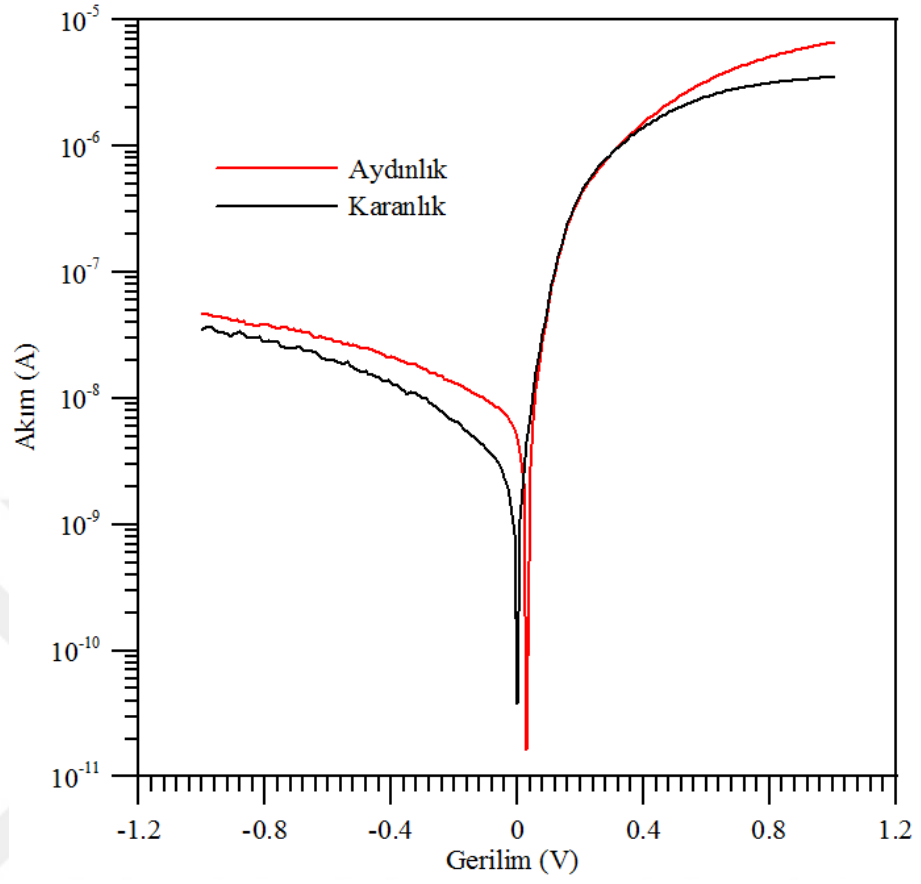
Çizelge 4.6. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısı için $C^{-2}-V$ eğrilerinden elde edilen karakteristik parametreler

V_D (eV)	N_D (m^{-3})	E_F (eV)	Φ_b (eV)	Frekans (kHz)
0,996	$1,5 \times 10^{20}$	0,130	1,126	100
1,149	$1,5 \times 10^{20}$	0,130	1,279	200
1,170	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,301	300
1,194	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,325	400
1,212	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,344	500
1,237	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,368	600
1,257	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,388	700
1,279	$1,5 \times 10^{20}$	0,131	1,410	800
1,280	$1,4 \times 10^{20}$	0,131	1,412	900
1,283	$1,4 \times 10^{20}$	0,132	1,414	1000
1,296	$1,4 \times 10^{20}$	0,133	1,429	2000
1,321	$1,3 \times 10^{20}$	0,134	1,455	3000
1,380	$1,3 \times 10^{20}$	0,134	1,514	4000
1,405	$1,2 \times 10^{20}$	0,136	1,541	5000

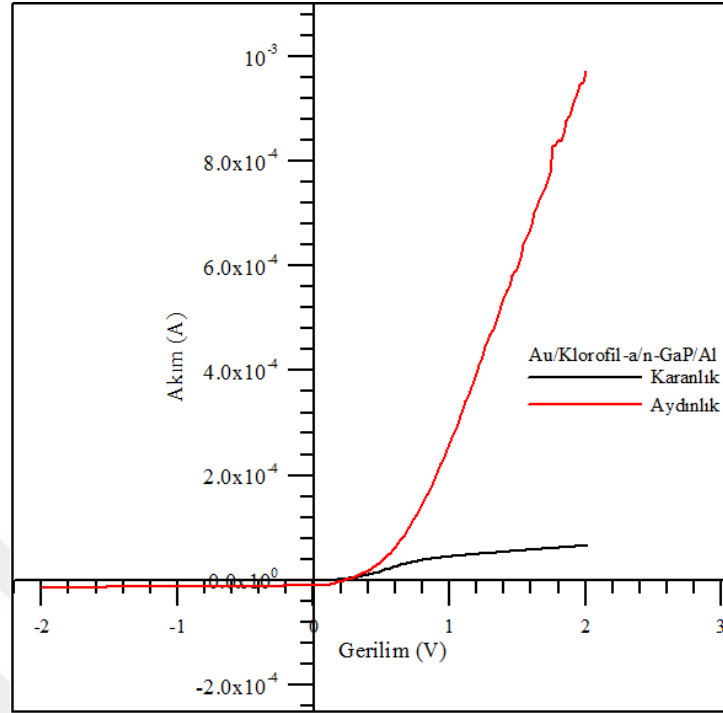
Ters beslem altında deplasyon bölgesi genişler ve azalan gerilim ile donör konsantrasyonu (N_d) azalacağı için kapasitenin artması beklenir.

4.7. Fotovoltaik Parametrelerin Hesaplanması

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları için karanlıkta, oda ışığında ve 30 mW.cm^{-2} , 40 mW.cm^{-2} , 60 mW.cm^{-2} , 80 mW.cm^{-2} ve 100 mW.cm^{-2} olmak üzere farklı ışık şiddetlerinde $I-V$ karakteristiklerinden çeşitli parametreler hesaplanmıştır. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının aydınlık ve karanlık ortamda alınan ölçülerinden elde edilen $I-V$ grafiği Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu şekillerden aydınlık ortamda $I-V$ karakteristiğini değiştiği görülmektedir



Şekil 4.19. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının oda sıcaklığında karanlık ve aydınlık ortamdaki $I-V$ karakteristiği (4. Nokta)



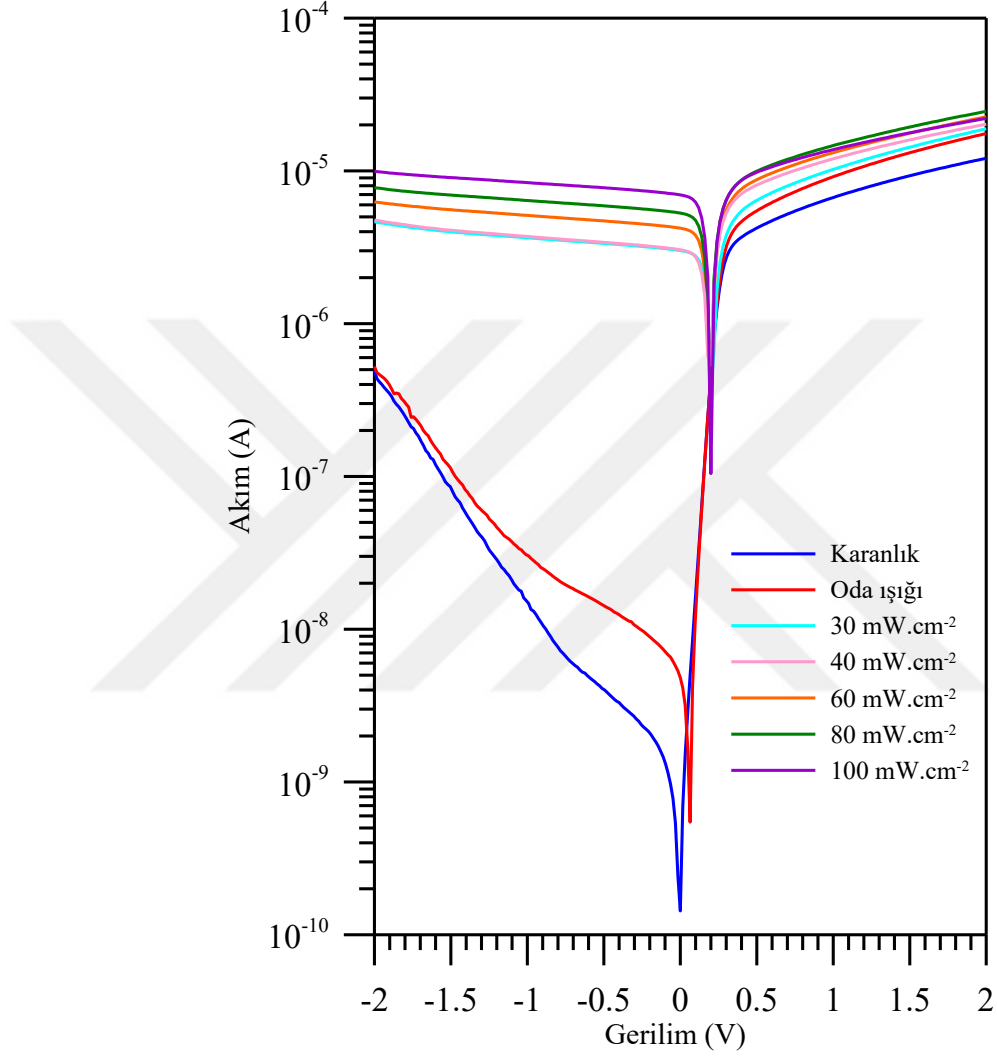
Şekil 4.20. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının karanlık ve aydınlıkta $I-V$ grafiği (4.Nokta)

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının ışık şiddetine bağlı ölçümlerinin alındığı cihaz Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



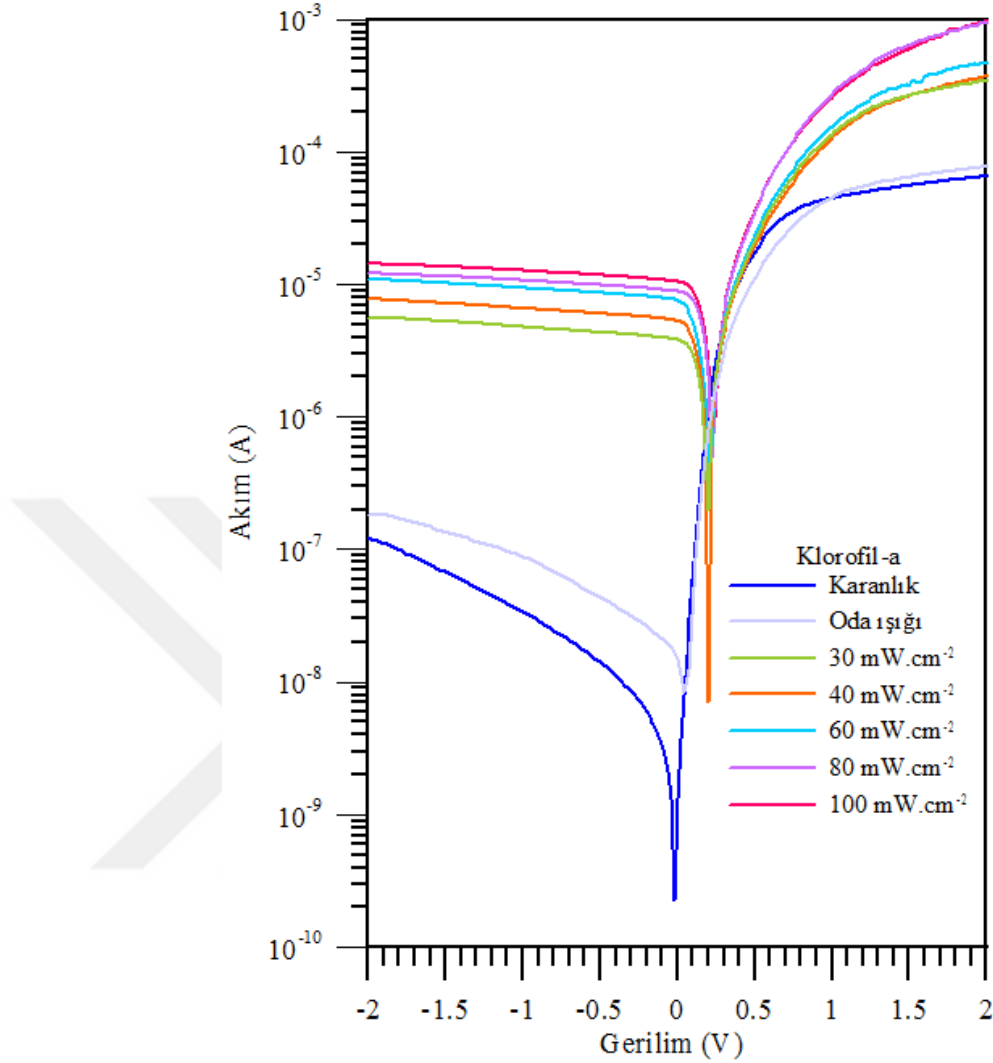
Şekil 4.21. Solar simülatör ölçüm cihazı

Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/*n*-GaP/Al yapıları için farklı ışık şiddetleri uygulanarak alınan ölçümler Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Au/*n*-GaP/Al yapısının farklı ışık şiddetlerinde $I-V$ grafiği

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'ten görüldüğü üzere karanlık ve ışık şiddetine bağlı alınan ölçümlerinde ters beslem akım değeri artmıştır. Klorofil-a tabakası kullanılarak üretilen yapının aydınlıkta ters beslemde akım değeri artmış, düz beslem akım değerinde de kayma olmuştur. Bu nedenle, Klorofil-a malzemesinin fotovoltajik özelliklerini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

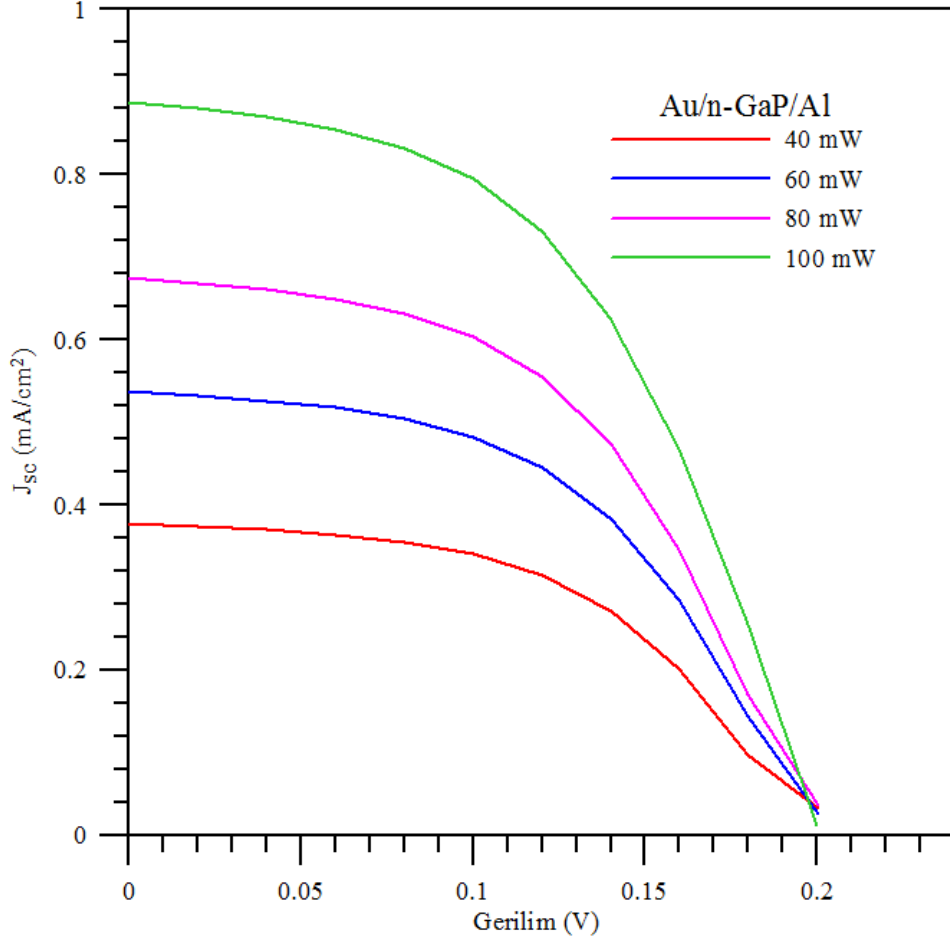


Şekil 4.23. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $I-V$ grafiği

Düz beslem akımı voltajla eksponansiyel olarak artarken ters beslem akımı voltaja zayıfça bağlıdır. Heteroyapılardaki akım iletim mekanizmaları arayüzeydeki enerji bariyeri tarafından karakterize edilir. Böylece, metal-organik tabaka-inorganik yarı iletken heteroeklem yapıları Schottky benzeri MS gibi davrandığı belirtilmiştir (Gencer İmer *et al.* (2016)).

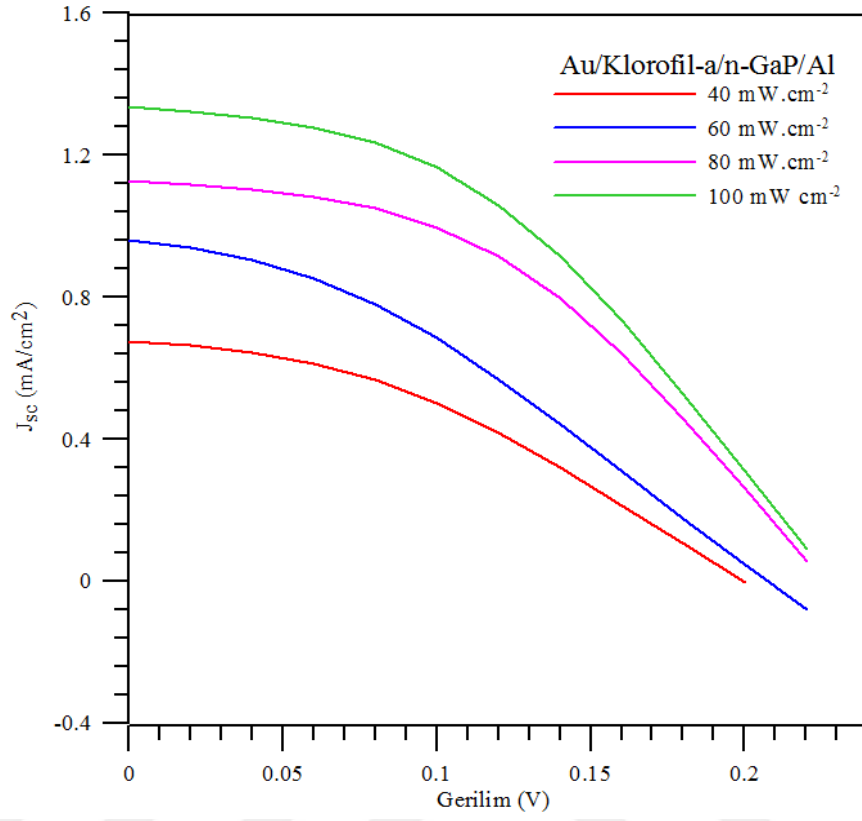
Dere *et al.* (2017), Al/p-Si/phosphotungstic acid(PTA)/Al yapısı için fotovoltaik parametreleri incelenmiştir. Düz beslem akımı aydınlanma şiddetine bağlı olarak

değişmezken, ters beslem akımının aydınlanma şiddetine bağlı olarak arttığı belirtilmiştir.



Şekil 4.24. Au/n-GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $J_{sc} - V$ grafiği

Au/n-GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı akım yoğunluğu-gerilim ($J_{sc} - V$) grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Artan ışık şiddetiyle akım yoğunluğu değeri artmaktadır. Yani ışık şiddeti ne kadar yüksekse akım yoğunluğu değeri de o kadar yüksektir. $J_{sc} - V$ grafiği altında kalan maksimum dikdörtgen alanı güneş pilinin o anda üretmiş olduğu maksimum gücü (P_{max}) verir ve bu güçteki akım I_{max} , gerilim ise V_{max} ile gösterilmektedir.



Şekil 4.25. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının ışık şiddetine bağlı $J_{sc} - V$ grafiği

Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının $J_{sc} - V$ grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının akım yoğunluğu değerleri Au/n-GaP/Al yapısının akım yoğunluğu değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucu olarak Klorofil-a tabakasının maksimum gücü arttırdığı ve fotovoltaik özellikleri iyileştirdiği sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.7. Farklı ışık şiddetlerinde Au/n-GaP/Al yapısının V_{oc} , FF ve η değerleri

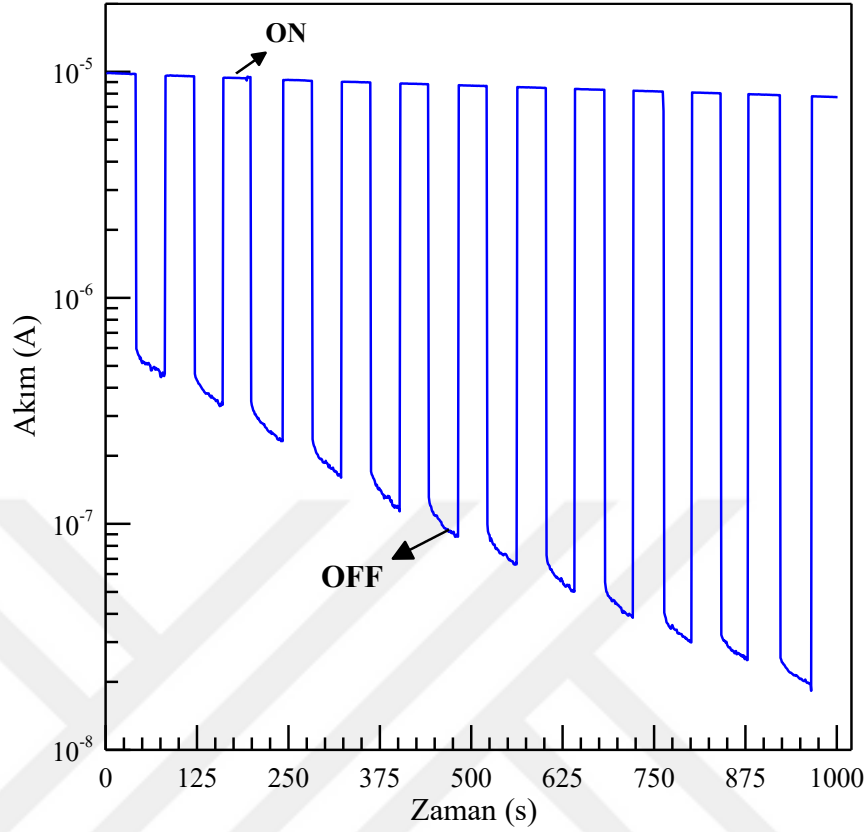
Au/n-GaP/Al	V_{oc}	FF (%)	η (%)
30 mW.cm ⁻²	0,22	50,00	0,12
40 mW.cm ⁻²	0,20	50,00	0,09
60 mW.cm ⁻²	0,20	47,61	0,08
80 mW.cm ⁻²	0,20	47,16	0,08
100 mW.cm ⁻²	0,20	50,00	0,08

Çizelge 4.8. Farklı ışık şiddetlerinde Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının V_{oc} , FF ve η değerleri

Au/Klorofil-a/n-GaP/Al	V_{oc}	FF (%)	η (%)
30 mW.cm ⁻²	0,20	40,87	0,13
40 mW.cm ⁻²	0,20	37,73	0,13
60 mW.cm ⁻²	0,22	33,33	0,11
80 mW.cm ⁻²	0,22	46,48	0,14
100 mW.cm ⁻²	0,22	43,29	0,13

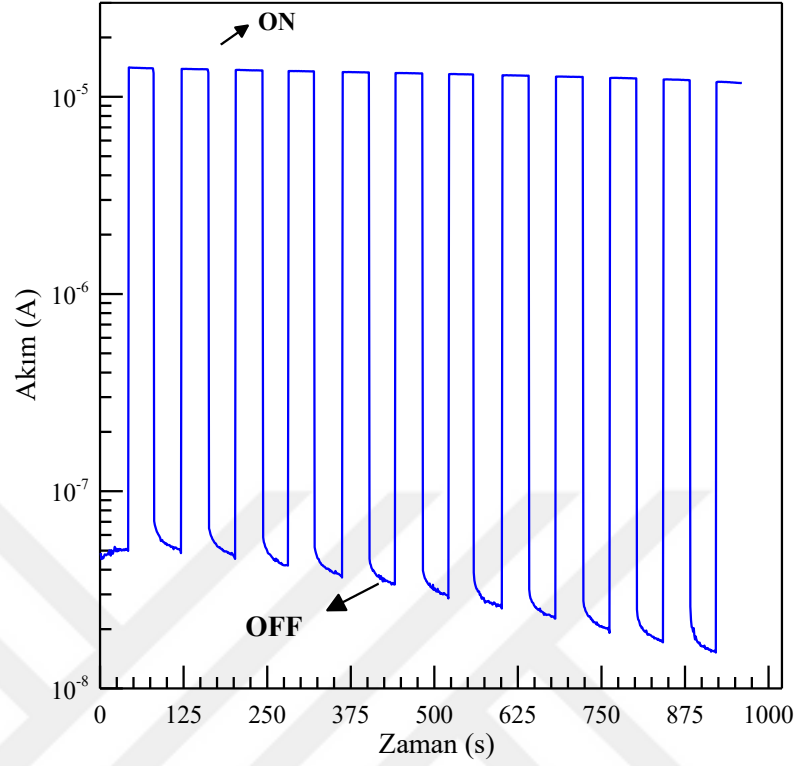
Bir güneş pilinin ürettiği maksimum güç ışıkla değişmektedir ve ışık şiddeti pilin ürettiği kısa devre akımını doğrudan etkilemektedir. Açık devre gerilimi ise kısa devre akımına oranla daha düşük bir oranda değişmektedir. Değişik ışık şiddeti altında çalışan bir güneş pilin performansı güneş pili ile beslenecek güç sistem tasarımlarında göz ardı edilemeyecek bir öneme sahiptir. Değişken ışıklardaki fotovoltaj performans tanımlamaları, fotovoltaj güç sistem tasarımlarında önemli bir yer teşkil etmektedir.

Foto-akım ölçümleri fotoiletkenlik mekanizmasını analiz etmek için kullanılır. Zamanla foto-akım değişikliklerini göstermektedir. Au/n-GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği Şekil 4.26 ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği ise Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Akım ışığın açılmasıyla doyum seviyesine ulaşınca kadar artmakta ve daha sonra sabit kalmaktadır. Bu artış akıma katkıda bulunan serbest yük taşıyıcıların artmasından kaynaklanmaktadır. Fotoakım ışığın açık ve kapalı olduğu durumlarda değişiklik gösterir. Aydınlatma kapatıldıktan sonra fotoakımı, başlangıç değerine düşmektedir. Bu düşüşün sebebi, yük taşıyıcılarının derin seviyelerde tuzaklanmasındandır (Gencer İmer 2016). Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapıları için $I-t$ karakteristikleri, 100 mW/cm²'de darbeli ışık ışını ile elde edilmiştir. Işığın açık ve kapalı olduğu durumlarda 10⁻⁸ ve 10⁻⁵ amper akım değerleri arasında ölçümler alınmıştır.



Şekil 4.26. Au/n-GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği

Fotodiyot uygulamalarında ve güneş pili çalışmalarında ışık şiddetine bağlı olarak I_{on}/I_{off} değeri ne kadar yüksek olursa kullanılan aygıt veya arayüzeyde kullanılan malzemenin performansı daha kolay incelenecektir. Bu nedenle doğru besleme geçmeden önceki kısımda her bir yapı için ışık açılıp kapatılarak solar simulator kullanılarak ölçümler alınmıştır. Bu ölçüm esnasında ışık açık iken 40 s bekledikten sonra, ışık kapatılmış ve 40 s beklenmiştir. Bu işlem yaklaşık 25 kere tekrar edilerek ölçüm tamamlanmıştır. Au/n-GaP/Al için alınan ölçümlerden başlangıç voltajında I_{on}/I_{off} değeri 20 iken, bitiş uygulama voltajında bu değer yaklaşık olarak 500 olarak belirlenmiştir. Bu durumda Au/n-GaP/Al yapısı için uygulanacak olan voltajın V_{oc} değerine yakın bir değerde olması daha avantajlı olacaktır. Buna ilaveten ışığın açık (on) olduğu durumda Au/n-GaP/Al yapısının akım değerinde ihmal edilecek seviyede düşüşlerin olması bu yapının kullanılabilirliğini artırmaktadır.



Şekil 4.27. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının $I-t$ grafiği.

Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının başlangıç voltajında daha iyi bir karakteristik sergilediği Şekil 4.27'de görülmektedir. Başlangıç voltajında I_{on}/I_{off} değeri 400 ve bitiş voltajında da bu değer yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Günümüzde MY yapıların elektriksel parametrelerinin optimizasyonuna yönelik çalışmalar çok önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte yarıiletken aygıtlara ilginin artması, arayüzey tabakaları kullanılarak yapıların karakteristik parametrelerinde iyileşmeler sağlanması amaçlanmıştır. MY yapılarının arayüzeyinde farklı metotlarla oluşturulan ince filmler kullanılması elektriksel karakteristikleri önemli ölçüde değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada doğada çokça var olan, ucuz, kolay üretilen ve çevreye zararı olmayan bir malzeme olması nedeniyle Klorofil-a tabakası tercih edilmiştir.

Bu amaçla, (100) doğrultusunda büyütülmüş, 400 μm kalınlığında, 1,95 $\Omega\cdot\text{cm}$ öz direncine sahip n-tipi GaP yarıiletkeni kullanılmıştır. Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarını elde etmek için ilk olarak n-GaP yarıiletkeninin mat yüzeyine omik kontak işlemi yapılmıştır. 10^{-5} Torr basınç altında termal buharlaştırma ünitesi kullanılarak %99,9 saflıkta Al elementi buharlaştırılmış ve ardından 500°C 'de azot gazı altında 3 dk tavlansarak omik kontak işlemi tamamlanmıştır. Omik kontak yapılan n-GaP yarıiletkenlerinden birisinin parlak yüzeyine 10^{-5} Torr basınç altında %99,9 saflıkta Au elementi buharlaştırılarak Au/n-GaP/Al yapısı elde edilmiştir. Diğer n-GaP yarıiletkeninin parlak yüzeyine spin-coating yöntemiyle 3000 rpm'de 25 s döndürme işlemiyle Klorofil-a tabakası oluşturulmuş ve bu tabakanın üzerine Au metali buharlaştırılarak Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısı elde edilmiştir.

Öncelikle Klorofil-a çözeltisinin soğurma ölçümleri alınmış ve Klorofil-a çözeltisinin soğurma spektrumunun Şekil 3.3 ile uyum içinde olduğu görülmüştür (Campbell and Reece 2010). Daha sonra cam üzerinde spin-coating yöntemiyle 3000 rpm hızında 25 s döndürülerek elde edilen Klorofil-a tabakasının soğurma ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Soğurma spektrumundan yasak enerji aralığı yaklaşık 2,58 eV olarak hesaplanmıştır. n-GaP üzerine büyütülen Klorofil-a ince filminin morfolojik özellikleri SEM kullanılarak araştırılmıştır. Klorofil-a ince film tabakasının yüzeyi

tamamen kapladığı ve homojen bir şekilde n -GaP yüzeyi üzerine tutunduğu görülmüştür.

Üretilen Au/ n -GaP/Al ve Au/Klorofil- a / n -GaP/Al yapılarının I - V , C - V ve fotovoltajik parametreleri hesaplanarak Klorofil- a tabakasının yapı üzerine etkisi araştırılmıştır. Termoyonik emisyon modeli ve Norde metodu kullanılarak bu yapıların I - V ve C - V karakteristiklerinden çeşitli parametreler hesaplanmış ve bu parametreler her iki yapı için karşılaştırılmıştır.

Her iki yapı için oda sıcaklığında alınan ölçümlerden elde edilen $\ln(I)$ - V grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Düz beslem $\ln(I)$ - V eğrilerinden görüldüğü üzere geniş bir bölgede lineer olmasına rağmen yüksek voltajlarda seri direnç etkisinden dolayı lineerlikten sapma olduğu görülmüştür. Termoyonik emisyon teorisi kullanılarak Au/ n -GaP/Al ve Au/Klorofil- a / n -GaP/Al yapılarının, deneysel idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri $\ln(I)$ - V grafiğinin eğiminden ve $V=0$ 'da akım eksenini kestiği noktadan hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir. Oda sıcaklığı ve karanlıkta idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri sırasıyla Au/ n -GaP/Al (1. Nokta) yapısı için karanlıkta 1,14, 0,857 eV; ve Au/Klorofil- a / n -GaP/Al (4. Nokta) yapısı için karanlıkta 1,02 ve 0,812 eV olarak hesaplanmıştır.

Norde fonksiyonları kullanılarak Au/ n -GaP/Al ve Au/Klorofil- a / n -GaP/Al yapılarının karanlık ortamda idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verildiği üzere; oda sıcaklığı ve karanlıkta idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri sırasıyla Au/ n -GaP/Al (1. Nokta) yapısı, karanlıkta 1,14, 0,858 eV ve $3,791 \times 10^6 \Omega$ ve Au/Klorofil- a / n -GaP/Al (2. Nokta) yapısı için karanlıkta 1,09, 0,812 eV, $1,039 \times 10^5 \Omega$ ve olarak hesaplanmıştır.

Uzay yükü bölgesinin kapasitesi MY yapılarıdaki arayüzeyinin oluşumu hakkında önemli bilgiler verir ve MY kontaklarda kapasitenin ters beslem durumunda gerilime bağlı değişiminden çeşitli parametreler hesaplanmaktadır. Doğrultucu kontağın engel

yüksekliği, yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi parametreler belirlenebilmektedir.

Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapılarının oda sıcaklığında 100 kHz ve 5 MHz frekans aralığında alınan $C-V$ grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiş ve artan frekans ile kapasite değeri azalmıştır. Verilen herhangi bir frekans değerinde Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapısının kapasite değerlerinin Au/*n*-GaP/Al yapısına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ters beslem durumunda negatif voltajlara doğru gidildikçe ve düz beslem durumunda ise yüksek voltajlara çıkıldıkça kapasite belirgin bir şekilde artmıştır. Ters beslem altındayken uygulanan voltaja bağlı olarak deplasyon bölgesi genişlemekte ve azalan gerilim ile N_d azalacağı için kapasite artmaktadır.

Oda sıcaklığında Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapıları için I/C^2-V grafikleri kullanılarak farklı frekans değerlerinde engel yüksekliği, yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi parametreler belirlenmiştir. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere frekans değerinin artmasıyla engel yüksekliği değeri artmıştır.

Au/*n*-GaP/Al ve Au/Klorofil-*a*/*n*-GaP/Al yapılarının ışık şiddetine bağlı çeşitli fotovoltaiik parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametreler doğrultusunda kullanılan Klorofil-*a* tabakasının fotovoltaiik parametrelere iyileştirici etkisinin olduğu görülmüştür. Işık şiddetine bağlı alınan ölçümlerin ışık şiddeti arttıkça dolum faktörü ve verim değerlerinin arttığı görülmüştür.

Artan ışık şiddetiyle akım yoğunluğu değerinin doğru orantılı olarak artmıştır. $J_{sc}-V$ grafiği altında kalan maksimum dikdörtgen alanı güneş pilinin o anda üretmiş olduğu maksimum gücü (P_{max}) verir ve bu güçteki akım I_{max} , gerilim ise V_{max} ile gösterilmektedir. P_{max} ise oluşan $I-V$ eğrisinin altına sığabilen en büyük dikdörtgen alanıdır.

Au/n-GaP/Al yapısının $J_{sc} - V$ grafiği Şekil 4.24'te ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının $J_{sc} - V$ grafiği ise Şekil 4.25'te verilmiştir. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının akım yoğunluğu değerleri Au/n-GaP/Al yapısının akım yoğunluğu değerlerine göre daha fazladır. Her iki yapı içinde artan ışık şiddetiyle akım yoğunluğunu da artmıştır. Klorofil-a tabakasının maksimum gücü arttırdığı ve fotovoltaik özellikleri iyileştirdiği sonucuna varılabilir.

Farklı ışık şiddeti altında çalışan bir güneş pilinin performansı güneş pili ile beslenecek güç sistem tasarımlarında göz ardı edilemeyecek bir öneme sahiptir. Değişken ışınımlardaki fotovoltaik performans tanımlamaları, fotovoltaik güç sistem tasarımlarında önemli bir yer teşkil etmektedir.

Foto-akım ölçümleri foto iletkenlik mekanizmasını analiz etmek için kullanılır ve zamanla foto-akımın değişimini göstermektedir. Işığın açılmasıyla doyum seviyesine ulaşıncaya kadar sürekli artmış ve daha sonra sabit kalmıştır. Bu artış akıma katkıda bulunan serbest yük taşıyıcıların artmasından kaynaklanmaktadır. Işık kaynağı kapatıldıktan sonra fotoakım, başlangıç değerine düşmektedir. Bu düşüşün sebebi, yük taşıyıcılarının derin seviyelerde tuzaklanmasındandır.

Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapılarının $I-t$ grafikleri $100\text{mW}/\text{cm}^2$ lik ışık şiddeti altında solar simülatör kullanılarak alınmıştır. Fotodiyot uygulamalarında ve güneş pili çalışmalarında ışık şiddetine bağlı olarak I_{on}/I_{off} değeri ne kadar yüksek olursa kullanılan aygıt veya arayüzeyde kullanılan malzemenin performansı o kadar kolay incelenir. Au/n-GaP/Al yapısı için alınan ölçümlerden başlangıç voltajında I_{on}/I_{off} değeri 20 iken, bitiş uygulama voltajında bu değer yaklaşık olarak 500 olarak belirlenmiştir. Bu durumda Au/n-GaP/Al yapısı için uygulanacak olan voltajın V_{oc} değerine yakın bir değerde olması daha avantajlı olacaktır. Buna ilaveten ışığın açık (on) olduğu durumda Au/n-GaP/Al yapısının akım değerinde ihmal edilecek seviyede düşüşlerin olması bu yapının kullanılabilirliğini artırmaktadır. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al yapısının alınan ölçümler neticesinde Klorofil-a tabakası kullanılarak üretilen yapının başlangıç voltajında daha iyi bir karakteristik sergilediği tespit edilmiştir. Au/Klorofil-a/n-GaP/Al

yapısı Au/*n*-GaP/Al yapısına nazaran fotovoltaik uygulamalar için daha elverişli olduğu kanısına varılmıştır.



KAYNAKLAR

- Andrews E. A., 1879, A Latin Dictionary, Clarendon Press Oxford, 845p
- Anonim, 2018, www.megep.meb.gov.tr, 15.06.2018.
- Anonymous, 2018a, www.webelements.com, 25.08.2018
- Anonymous, 2018b, <http://dorit.mercatodos.co>, 13.09.2018
- Arslan, E., Şafak, Y., Altındal, S., Kelekçi, O., Özbay, E., 2010. Temperature dependent negative capacitance behavior in (Ni/Au)/AlGaN/AlN/GaN heterostructures. *J. Non-Cryst Solids*. 356,(20-22), 1006-1011.
- Aslan, F., 2011. Sol-Jel Metoduyla Polikristal Heteroeklem Güneş Pili Üretimi, Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Balkanski, M., Wallis, R. F., 2000, *Semiconductor Physics and Applications*, Oxford Univ. Press, New York.
- Becquerel, A.E., 1839. Memoire Sur Les Effets Électriques Produits Sous l'influence Des Rayons Solaires. *C.R.Acad.Sci.*, 9: 561 – 567.
- Bethe H. A., 1942. Theory of Boundary Layer of Crystal Rectifiers. MIT Radiation Laboratory Report 43-12.
- Boussaad, S., Hotchandani, S., and Leblanc, R. M., 1993. Influence of temperature on photocurrent of Al/chlorophyll a/Ag cells, *Applied Physics Letters* 63.
- Boy, F., 2013. Organik arayüzeyli GaAs Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Boz, İ., 2016. Fotovoltaik Uygulamalar için Saydam İletken Oksit Film Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Braun, K.F., 1874. *Physical Chemistry*, 153: 556.
- Brillson, L. J., 1993. *Contacts to Semiconductors*, Noyes Publications, New Jersey.
- Bülbül, M.M., Zeyrek, S., Altındal, Ş., Yüzer, H., 2006. On the profile of temperature dependent series resistance in Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Schottky diodes, *Microelectron. Engin.* 83(3) 577-581- 115.
- Card, H. C., Rhoderick, E. H., 1973. The Effect on Interfacial Layer on Minority Carrier Injection in Forward Biased Silicon Schottky Diodes. *Solid-State Electron*, 36,365p.
- Card, H.C. ve Rhoderick, E.H., 1971. Studies of Tunnel MOS Diodes I. Interface Effects in Silicon Schottky Diodes. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 4, 1589-1601.
- Chand, S., and Bala, S., 2005. Analysis of current-voltage characteristics of inhomogeneous Schottky diodes at low temperatures. *Appl. Surf. Sci.* 252(2), 358-363.
- Coluzza, C., Almeida, J., Orto, T., Barbo, F., Bertolo, M., Bianco, A., Cerasari, S., Fontana, S., Bergossi, O., Spajer, M., Courjon, D., 1996. Spatially resolved internal and external photoemission of Pt/n-GaP Schottky barrier. *Applied Surface Science*, 104(105), 196-203.
- Corker, G. A., Lundström, I., 1978. Trapped-electron doping of photovoltaic sandwich cells containing microcrystalline chlorophyll a, *Journal of Applied Physics*, 49.

- Cowley, A.M., Sze, S.M., 1965. Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems. J.Appl. Phys, 36, 3212-3216.
- Crowell, C.R., Sze, S.M., 1966. ' Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers'Solid State Electron., 9: 1035.
- Cullity B.D. 1996. X ışınlarının Difraksiyonu, (Çev. A. Sümer), İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, Türkiye, 664 s.
- Çakıcı, T., (2014). In₂S₃ İnce Filminin *n*-InP Altlık Üzerine Kimyasal Püskürtme Metoduyla Büyütülmesi Ve Üretilen Au/*n*-InP/In ve Au/In₂S₃/*n*-InP/In Yapıların Numune Sıcaklığına Bağlı Olarak Elektriksel Karakteristiklerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Demir, M., 2011. GaP Yarıiletkeninde Optik ve Elektriksel Karakterizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Deniz, A. R., 2015, Au/Fe₃O₄/*p*-Si/Al ve Au/Fe₃O₄/*n*-Si /Al Heteroyapıların Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dere, A., Tataroğlu, A., Al-Sehemi, Abdullah G., Al-Ghamdi, Ahmet A., F., Farid El-Tantawy, W.A., Farooq, Yakuphanoglu, F., 2017, A functional material based photodiode for solar tracking systems, Physica B, 76–81.
- Duman, S., 2006. *n*-InSe ve *n*-InSe:Sn Tek Kristallerinin Yasak Enerji Aralığına Elektrik Alanın Etkisi ve *n*-InSe:Sn Yarıiletkeninin Schottky Kontak Davranışı. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Duman, S., Ejderha, K., Yiğit, Ö., Türüt, A., 2012. Determination of contact parameters of Ni/*n*-GaP Schottky contacts. Microelectronics Reliability, 52(6), 1005-1011.
- Evcin, A., Malzemelerin Karakterizasyon Metodları Ders Notu, 2016. <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2016/11/8.pdf>, 20.07.2018
- Fox M., 2001. Optical Properties of Solids, Oxford University Press, 305, Newyork.
- Gencer İmer, A., Karaduman, O., Yakuphanoglu, F., 2016. Controlling of the photosensing properties of Al/DMY/*p*-Si heterojunctions by the interface layer thickness. Synthetic Metals, 114-119.
- Ghita, R.V., Lazarescu, V., Logofatu, C., Negri, C.C., Lazarescu, M.F., 2008. Electrical characterization of thiols self-assembled layers on GaP (111) structure. Materials Science in Semiconductor Processing, 11, 394-397.
- Goldberg, Y. A., Nasledov, D. N., 1971. The techniques of manufacturing surface-barrier structure by chemical deposition of metals on semiconductor surface. Pribory and Tekh. Eksp, 207-209.
- Gupta, R.K. and Yakuphanoglu, F., 2012. Photoconductive Schottky diode based on Al/*p*-Si/SnS₂/Ag for optical sensor applications. Solar Energy, 86(5), 1539-1545.
- Güzel, T., 2006. Metal Yarıiletken Kontaklarda Schottky Engelinin Sığa Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasih, S., Senin H.B., and Mohamad H., 2007. Electrical Characterization Of Chlorophyll, Journal of Sustainability Science and Management Volume 2(1): 95-98.
- Ismail, A., Boumedienne, M., Lassabatere, L., 1995. Schottky diode properties of Au/*n*-GaP (111) and (110) chemically etched surfaces. Solid-State Electronics, 38(2), 497-501.

- Jiang, Y. L., Ru, G. P., Lu, F., Qu, X. P., Li, B. Z. and Yang, S., 2003. Ni/Si solid phase reaction studied by temperature-dependent current-voltage technique. *Journal of Applied Physics*, 93 (2), 866-870.
- Kabushemeyet, E., Van Meirhaeghe, R. L, Laflere, W. H., and Cardon, F., 1989. *Semicond. Sci. Technol.*, 4, 543.
- Karataş, Ş., Altındal, Ş., 2004. İdeal Olmayan Schottky Diyotlarının Temel Parametrelerinin Akım-Voltaj (I-V) Karakteristiklerinden Hesaplanması. *KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(2)-2004 KSU. *Journal of Science and Engineering* 7(2)-2004 20.
- Kıncay, O., Bekiroğlu, N., Yumurtacı, Z. 2018. Güneş Pilleri Ders Notu. <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf>, 25.09.2018
- Kittel, C., 2014. *Katıhal Fizikine Giriş*, Palme Yayıncılık, 680, Ankara.
- Kundakçı, M. Fotovoltaik Piller Ders Notu, 2014.
- Lee, H.Y., Lee, C.T., 2003. The investigation for various treatments of InAlGaP Schottky diodes. *Optical Materials*, 23, 99-102.
- Lei Tan F., Lee, Chung, L., Chang, Chun, Y., 1979. Metal/*n*-GaP Schottky barrier heights. *Solid-State Electronics*, 22(12), 1035-1037.
- Lin, K.W., Chen, H., Cheng, C.C., Chuang, H.M., Lu, C.T., Liu, W.C., 2003. Characteristics of a new Pt/oxide/InGaP hydrogen-sensing Schottky diode. *Sensors and Actuators B*, 94, 145-151.
- Mott, N. F., 1938. Note On The Contact Between A Metal and An Insulator or Semiconductor. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 34, 568. .
- Mönch W., 1998. Valence-band Offsets and Schottky barrier Heights of Layered Semiconductors Explained by İnterface-induced Gap States. *Appl. Phys. Lett*, 72, 1899
- Mönch W., 1999. 125 years metal-semiconductor contacts:Where do we stand?. *Advances in Solid State Physics*, 39, 1-13
- Mönch W., 1999. Barrier heights of real Schottky contacts explained by metal-induced gap states and lateral inhomogeneties. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 17, 1867.
- Mönch W., 2001 *Semiconductors Surfaces and Interfaces*, 3rd Edition.(Springer, Berlin) Springer Series on Science, 26.
- Mutlu, T., 2010. Au/p-GaAs_{1-x}P_x/*n*-GaAs Yapılı p-n Eklem Diyotun Tavlanma Sıcaklıklarına Göre Elektriksel Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Nannishi, Y., and Pearson, G. L., 1969. Properties of GaP Schottky barriers diodes at elevated temperatures. *Solid-State Electron*, 12, 341-348.
- Neamen, D. A., 1992. *Semiconductors Physics and Devices*, R. R. Donnelley & Sons Company, Sydney.
- Norde, H., 1979. A Modified Forward I-V Plot for Schottky Diodes With High Series Resistance. *J. Appl. Phys.*, 50(7), 5052-5053.
- Nuhoğlu, Ç., Aydoğan, Ş., And Türüt, A., 2003. The barrier height inhomogeneity in identically prepared Pb/p-type Si Schottky barrier diodes. *Semicond. Sci. Technol.* 18, 1-5.
- Ohl, R.S., 1941. Light-Sensitive Electric Device, US Patent No. 2: 402: 622.
- Orak, İ, 2013. Saçtırma Yöntemiyle Elde Edilen Co/*n*-GaP Schottky Diyotların Tavlama ve Numune Sıcaklığına Bağlı Elektriksel Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Oueriagli, A., Kassi, H., Hotchandani, S., and Leblanc, R. M., 1992. Analysis of dark current-voltage characteristics of Al/chlorophyll a/Ag sandwich cells, *Journal of Applied Physics*, 71.
- Önal, B., 2009. GaP Yarıiletkeni ile Hazırlanan Metal-Yarıiletken Kontakların Elektriksel Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Peaker, A. R., Smith, B. L., 1970. The measurement of doping profiles in thick epitaxial layers of GaP using Schottky barrier C-V data. *Solid-State Electronics*, 13(10), 1407-1413.
- Polat, E.G., 2009. Sol-Jel Yöntemi İle Bakır Ve Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik Ve Mikroyapısal Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Reddy, V.R., 2014. Electrical properties of Au/polyvinylidene fluoride/*n*-InP Schottky diode with polymer interlayer. *Thin Solid Films*, 556, 300-306.
- Reddy, V.R., Janardhanam, V., Leem, C-H., Choi, C-H., 2014. Electrical properties and the double Gaussian distribution of inhomogeneous barrier heights in Se/*n*-GaN Schottky barrier diode. *Superlattices and Microstructures*, 67, 242-255.
- Rhoderick, E.H., Williams, R.H., 1988. *Metal Semiconductor Contacts*, Clarendon Press, Oxford.
- Sajjad, S., 2013. Tabanlı Güneş Pili Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sarı, H., 2008. Yarıiletken Fiziği: Elektronik ve Optik Özellikler Ders Notu.
- Sarıtaş, S., 2017. Zn, Ni ve Co Katkılı Demir Oksit İnce Filmlerinin Yapısal, Elektriksel Ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Schmitsdorf, R. F., Kampen, T. U., Monch, W., 1997. Explanation Of the Linear Correlation Between Barrier Heights and Ideality Factors of Real Metal-semiconductor Contacts by Laterally Nonuniform Schottky Barriers. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 15(4), 1221-1226.
- Shiwakoti, N., Bobby, A., Asokan, K., Antony, B., 2016. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena* 34, 051206.
- Shiwakoti, N., Bobby, A., Asokan, K., Antony, B., 2016. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 42, 378-382.
- Shiwakoti, N., Bobby, A., Asokan, K., Antony, B., 2017. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 61, 145-149 .
- Siciliano, T., Giulio, M. D., Tepore, M., Genga, A., Micocci, G., Tepore, A., 2012, In₂O₃ films prepared by thermal oxidation of amorphous InSe thin films *Thin Solid Films* 520 2455-2460.
- Siemens W., 1885, On the Electromotive Action of Illuminated Selenium Discovered by Mr. Fritts, of New York. *Van Nostrand's Eng. Mag.*, 32, 392.
- Sullivan, J. P., Tung R. T., Pinto, M. R., Graham, W. R., 1991. Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers: a numerical study. *J. Appl. Phys*, 70, 7403-7424.
- Sze, S.M., 1981. *Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductor Devices*, 2nd ed. Wiley, 225, New York.

- Tang, C. W., Albrecht, A. C., 1974. Photovoltaic effects of metal chlorophyll-a-metal sandwich cells, *The Journal of Chemical Physics*, 62.
- Tung, R. T., 2001. Resent Advantage in Schottky barrier Concept. *Mat. Sci. Eng. R*, 35, 1-138.
- Türkiye Atom Enerji Kurumu.
- Yiğit, Ö., 2011. Ni/*n*-GaP Schottky Diyodunun Kontak Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Zhu, S.Y., Van Meirhaeghe R. L., Forment, S., Ru, G. P., and Li, B. Z., 2004. Effects of the annealing temperature on Ni silicide/*n*-Si(100) Schottky contacts. *Solid-State Electron*. 48(1), 29-35.
- Ziel, A., 1968. *Solid-State Physical. Electronics*, Prentice-Hall Inc., New Jersey. (<http://dorit.mercatodos.co>)



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2011 yılında bu bölümden mezun oldu ve aynı yıl içerisinde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans programına başladı. 2013 yılında bu bölümden mezun olarak aynı yılda Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilimdalı Katıhal Fiziği Bilim Dalı'nda Doktora yapmaya başladı.