

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ-BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI ORTAK LİSANSÜSTÜ PROGRAMI

METAL/ CuPc / İNORGANİK YARIİLETKEN KONTAKLARIN
FABRİKASYONU
VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİLİZ ASLAN
Enstitü No : (.....)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.06.2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 25.06.2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ (Batman Üniv.)
Diğer Juri Üyeleri : Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK (Dicle Üniv.)
Yrd. Doç. Dr. Murat SÜNKÜR (Batman Üniv.)

HAZİRAN – 2013

Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ danışmanlığında, Filiz ASLAN' ın ” **Metal/ CuPc/ İnorganik Yarıiletken Kontakların Fabrikasyonu ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi** ” konulu bu çalışma 25/06/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bingöl Üniversitesi Fen - Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ

Üye : Doç Dr. Yusuf Selim OCAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat SÜNKÜR

Bu tezin Fizik Anabilim Dalı'nda ve Enstitümüz Kurallarına göre düzenlendiğini onaylıyorum.

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve sanat Eserleri kanundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen değerli hocam Ömer GÜLLÜ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarım boyunca yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve laboratuvarını kullanmama izin veren Dicle Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK hocama teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU hocama teşekkür ederim.

Çalışmamın deneysel kısmında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Ahmet TOMBAK hocama teşekkür ederim.

Grafik çizimlerin de yardımcı olan Arş. Gör. Cihat ÖZAYDIN hocama teşekkür ederim.

Çalışmamın hesaplama kısmına yardımcı olan Arş. Gör. Şerif RÜZGAR hocama teşekkür ederim.

Batman ve Bingöl Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyeleri hocalarıma teşekkür ederim.

Yardımlarını gördüğüm Elektrik-Elektronik Mühendisi arkadaşım Fırat ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

FİLİZ ASLAN
BİNGÖL - 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve METOT.....	11
3.1 Metal Yarıiletken Kontaklar.....	11
3.1.1 Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar.....	11
3.1.2 Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	14
3.1.3 Metal / p- Tipi Yarıiletken – Metal Yapısı.....	16
3.1.4 Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi.....	17
3.1.5 Schottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkiler.....	20
3.2 Norde Fonksiyonu.....	21
3.3 Cheung Fonksiyonu.....	25

	<u>Sayfa No</u>
3.4	Güneş Pillerinin Karakterizasyonu.....27
3.5	İndiyum Fosfat (InP).....29
3.5.1	İndiyum Fosfatın Yapısal Özellikleri.....30
3.6	Deneysel İşlemler.....33
3.6.1	Kristalin Temizlenmesi.....33
3.6.2	Schottky Diyotların Hazırlanması.....33
3.6.3	Deney ve Ölçüm Sistemi.....36
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....37
4.1	Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri.....37
4.2	Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi.....39
4.3	Norde Fonksiyonu Yardımıyla Engel Yüksekliği ve Seri Direnç Değerlerinin Bulunması.....40
4.4	Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....41
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....44
6.	KAYNAKLAR.....46
	ÖZGEÇMİŞ.....51

ÖZET

Bu çalışmada (1 0 0) doğrultusunda büyütülmüş $1-5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ yoğunluğuna sahip p tipi InP kullanıldı. Termal buharlaştırma metodu kullanılarak bakır fitalosiyanın (CuPc) p-InP kristali üzerine kaplandı. Yine termal buharlaştırma sistemi kullanılarak oluşan ince film üzerine 5×10^{-6} torr basınç altında %99,9 saflığında alüminyum metali kaplandı ve Al/CuPc/p-InP diyotu oluşturuldu. Al/CuPc/p-InP diyotunun oda sıcaklığında, karanlık ve aydınlık ortamda akım gerilim ($I-V$) ölçümleri yapıldı. $I-V$ grafiğinden bu yapının doğrultucu özellik gösterdiği görüldü. Aydınlık ortamda yapılan ölçümler 100 mW/cm^2 ışık şiddeti altında yapıldı ve bu ölçümler doğrultusunda diyotumuzun fotodiyot özellik gösterdiği görüldü. Ayrıca farklı yöntemlerle Al/CuPc/p-InP Schottky diyotunun karakteristik parametreleri (idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_b) ve seri direnç (R_s)) hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Schottky Diyot, Bakır Fitalosiyanın, İdealite Faktörü, Engel Yüksekliği

ABSTRACT

We used p-type InP grown in the direction of (1 0 0) and has $1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ carrier density in this work. Copper phthalocyanine (CuPc) was covered on p-InP crystal by using thermal evaporation method. The Al/CuPc/p-InP diode was constructed by evaporating %99.9 purity aluminum metal on the thin film which composed by thermal evaporating method under pressure order of 5×10^{-6} torr. Current-Voltage (I - V) measured was carried out for Al/CuPc/p-InP diode at room temperature, in the dark and under light. By using (I - V) graphs, it was seen that structure shows rectifying property. We use light of 100 mW/cm^2 intensity and found that our diode has photodiode properties. Furthermore, Al/CuPc/p-InP Schottky diode characteristic parameters (ideality factor (n), barrier height (Φ_b) and series resistance (R_s)) were calculated by different methods.

Keywords: Schottky Diodes, Copper Phthalocyanine, Ideality Factor, Barrier Height

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu diyotun enerji bant diyagramları a) kontakta önce, b) kontakta sonra ve termal dengede, c) düz beslem durumunda ($V>0$), ters beslem durumunda($V<0$),.....	13
Şekil 3.2. Metal p-tipi yarıiletken omik kontakın enerji-bant diyagramı, a)Kontaktan önce, b) Kontakta sonra ve termal dengede, c) düz beslem durumunda ($V>0$), d) ters beslem durumunda($V<0$).....	15
Şekil3.3. P^+PM yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji-bant diyagramı.....	16
Şekil 3.4. Düz beslemde metal yarıiletken Schottky kontaklarda imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı.....	18
Şekil 3.5. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterimi, b) Bir güneş piline ait (güneş pili + diyot) akım gerilim grafiği.....	27
Şekil 3.6. Güneş pillerinde denklem 3.52'ye karşılık gelen akım-gerilim grafiği.....	28
Şekil 3.7. Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterimi.....	29
Şekil3.8. Tetrahedral kristal yapısı.....	31
Şekil3.9. Tavlama işleminin gerçekleştiği fırın.....	34
Şekil3.10. Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotunun şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.11. Termal buharlaştırma sisteminin şematize edilmiş hali.....	35
Şekil 3.12. Termal Buharlaştırma Cihazı.....	36
Şekil 3.13. Keithley 2400 Sourcemeter ve güneş simülatörü	36
Şekil 4.1. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $I-V$ grafiği	38
Şekil 4.2. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotunun karanlık ve aydınlık ortamda $lnI-V$ grafiği...39	
Şekil 4.3. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $F(V) -V$ grafiği	41
Şekil 4.4. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $dV/d(lnI)-I$ grafiği	42
Şekil4.5. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $H(I) - I$ grafiği	43

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. InP' nin materyal özellikleri.....	32

KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

KISALTMALAR LİSTESİ

AM 1.5	: Hava kütlesi 1.5
CuPc	: Bakır Fitalosiyanın
CoPc	: Kobalt Fitalosiyanın
C- V	: Kapasite- gerilim
FePc	: Demir Fitalosiyanın
I-V	: Akım- gerilim
ITO	: İndiyum kalay oksit
LED	: Işık yayan diyot
MIGS	: Metal- induced gap states
MS	: Metal- Yarıiletken kontak
MIS	: Metal- Yalıtkan- Yarıiletken kontak
NiPc	: Nikel Fitalosiyanın
Pc	: Fitalosiyanın
ZnPc	: Çinko Fitalosiyanın

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Diyotun etkin alanı
A*	: Richardson sabiti
AC	: Alternatif akım
C	: Kapasite
d	: Uzay yükü bölgesinin genişliği
DC	: Doğru akım
E_c	: İletkenlik bandının tabanı
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ph}	: Foton enerjisi
E_v	: Değerlik bandının tavanı
eV	: Elektron volt
e	: Elektron yükü
ε_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ε₀	: Boşluğun dielektrik sabiti
Φ_b	: Schottky engel yüksekliği
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	: Yarıiletkenin elektron ilgisi
h	: Planck sabiti
I_M	: Güneş pili için maksimum akım
I₀	: Ters beslem akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
I_{ph}	: Işık tarafından oluşturulan akım
J	: Akım yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti
m_h[*]	: Boşluğun etkin kütlesi
m_n[*]	: Elektronun etkin kütlesi
n	: İdealite faktörü

N_a	: Alıcı konsantrasyonu
N_c	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu
N_d	: Verici konsantrasyonu
η	: Güneş pilinin verimi
p- InP	: p tipi indiyum fosfat
p++	: Aşırı katkılanmış p-tipi yarıiletken
P_{in}	: Pil yüzeyine düşürülen ışığın gücü
P_{max}	: Pilden elde edilen maksimum güç
R_p	: Paralel direnç
R_s	: Seri direnç
S	: Güneş pilinin etkin alanı
T	: Mutlak sıcaklık
V_M	: Güneş pili için maksimum gerilim
V_n	: Yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki fark
V_{diff}	: Difüzyon potansiyeli
V_{oc}	: Açık devre gerilimi

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MS) kontaklar elektronikte önemli rol oynayan yapılar olmakla birlikte yarı iletken tabanlı devre elemanlarının yapımında yer aldıkları için elektronikte büyük öneme sahiptirler.

Metal-yarıiletken kontakların (MS) elektriksel iletkenlik özelliklerinden yeterince faydalanmak, uygun kontaklar uygulanarak uygun elektronik devrelerde kullanmak için karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir (Rhoderick ve Williams, 1988).

Uzun zamandır, çeşitli yarıiletken elemanlarından üretilen metal-yarıiletken (MS) yapıların araştırılmasıyla ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bazı araştırmalar, yeni yarıiletken malzemelerin hazırlanması yönünde yapılırken, bazı araştırmalar da, bu yarıiletkenlerin elektronik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerden faydalanılarak yeni metal-yarıiletken devre elemanları geliştirmesini amaçlar. Bu devre elemanları kullanılarak, lazer yazıcılar, fotokopi makineleri, gaz sensörleri, optik bilgi sistemleri (CD-ROM, DVD), güneş pilleri, LED uygulamaları ve nükleer santrallerde kontrol sistemleri gibi pek çok teknolojik aygıtlar geliştirilmiştir (El-Nahass ve ark., 2005).

Schottky diyotların elektriksel özellikleri çoğunlukla onların ara yüzey özellikleri ile belirlenir. Özel üretilmedikleri müddetçe metal-yarıiletken ara yüzeyinde oksit tabaka oluşur. Bu tabaka Schottky kontakları metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapıya çevirir ve diyot karakteristiğine kuvvetli etkisi vardır.

2000 yılı Kimya Nobel ödüllü ünlü fizikçi Alan Heeger ve arkadaşlarının, 1977 yılında, polimerlerin elektriksel özellikleri üzerine yaptığı çalışmalar bilim camiası için bir çığır açmış ve organik malzemelerin inorganik malzemeler yerine elektriksel ve optoelektronik aygıt yapımında kullanılabileceği fikrinin gelişmesine sebep olmuştur. Düşük maliyet, kolay üretilebilirlik, farklı amaçlar için farklı özelliklere sahip bileşiklerin sentezlenebilme ihtimali ve geniş alanlara uygulanabilirliği organik tabanlı elektronik ve optoelektronik aletlerin üretiminde, organik maddelere olan ilgiyi arttırmıştır. Organik molekülleri bir başka organik molekül veya inorganik madde ile birçok farklı formülasyonlar ile birleştirmek ve böylece çok farklı yapı ve özelliklere sahip elektriksel ve optik aygıtlar üretmek mümkündür (Ocak, 2010). Organik yarıiletken malzemeler, ince film elektroniğinde geniş bir uygulama alanına sahiptirler (Stallinga ve ark., 2002).

Son zamanlarda, organik yarıiletkenler kullanılarak Schottky diyotların üretimi ve karakterizasyonu önemli derecede ilgi görmektedir. Organik yarıiletkenler, elektronik malzemelerde aktif bileşenler olarak kullanılabilir ve bu malzemeler, kolay üretilebilirliği, düşük maliyet ve geniş alan malzeme karakterizasyonundan dolayı farklı avantajlara sahiptirler. Schottky diyotunun performansı, bir metal-organik yarıiletken eklemesinin elektriksel ve elektronik karakteristiklerine bağlıdır. Sonuçta, metal ve organik yarıiletkenler arasındaki ara yüzey elektronik özelliklerinin anlaşılması, malzeme uygulamaları için önemlidir. Çoğu organik yarıiletken malzemeler, p-tipi elektriksel iletkenliğe sahiptirler. Metal yarıiletken eklemesinin ara yüzey özellikleri, malzemenin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Yakuphanoglu, 2007).

Organik moleküller ve organik polimerler temelli güneş pilleri yapımına büyük çaba harcanmıştır. Hafif kütleleri, potansiyel olarak düşük maliyette olmaları, elektronik bant yapılarının kimyasal sentez yoluyla ayarlanabilir olması ve basit fabrikasyon teknikleri bu çabaların sebeplerinden birkaçıdır (Pauling, 1962).

Fitalosiyanimler organik malzeme sınıfına girmektedir. Fitalosiyanimlerin birçoğunun rengi kimyasal ve kristal yapısına göre çeşitlilik gösterir. Örneğin Bakır fitalosiyaniminin rengi, yüzeydeki süstitüye klor atomlarının sayısının artmasıyla maviden yeşile kayar (Ozan, 1999). Monastral Blue (Manastır Mavisini) ticari adıyla bakır fitalosiyanimin ilk kez 1935 yılında endüstriyel olarak üretilmeye başlanmıştır. (Cronshaw, 1942). Mükemmel mavi ve yeşil boyar maddeler olarak fitalosiyanimler tekstil dışında dolmakalem mürekkeplerinde, plastik ve metal yüzeylerinin renklendirilmesinde, fotokopi makinelerinde fotoiletken eleman, tıpta, kanserin fotodinamik terapisi ve diğer tıbbi uygulamalar, laser boyları, kükürtlü gaz atıklarını kontrol etmede, doymuş hidrokarbonları düşük sıcaklıkta yükseltgemedde ve benzinin oktan sayısını artırmada katalizör olarak uygulamaları vardır. Ayrıca elektrokromik görüntü cihazlarında, bilgisayar optik okunan-yazılan diskler ve ilgili veri depolama sistemlerinde, sıvı kristal renkli ekran uygulamalarında ve fotovoltaiik hücre elemanları gibi birçok kullanım alanı mevcuttur. Bugün endüstrinin gittikçe artan ihtiyaçlarını karşılamak üzere mavi ve yeşil boyar madde olarak yılda binlerce ton fitalosiyanimin üretilmektedir (Bekaroğlu, 1996).

Bu çalışmamızın amacı, π -bağları açısından zengin ve güneş ışığına karşı duyarlı olan bakır fitalosiyanimin (CuPc) organik bileşimini kullanarak Al/CuPc/p-InP Schottky diyotunu oluşturmak ve oluşturduğumuz Al/CuPc/p-InP diyotunun karakteristik

parametrelerini oda sıcaklığında, karanlık ve aydınlık ortamda belirlemektir. Ayrıca bu çalışmada Norde ve Cheung fonksiyonları yardımıyla Al/CuPc/p-InP Schottky diyotunun karakteristik parametreleri (idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_b ve seri direnç (R_s)) hesaplandı.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cheung ve Cheung (1986), doğru beslem I - V karakteristikleri yardımıyla Schottky diyot parametrelerinin hesaplanmasına ilişkin bir model geliştirmişlerdir. Bu model idealite faktörü engel yüksekliği ve seri direnç ifadeleri hesaplanmıştır.

Williams ve ark. (1977), Au/n-InP nin engel yüksekliğinin 0,43 eV ve 0,50 eV arasında olduğunu belirlemiş ve p-tipi InP nin engel yüksekliğinin n-tipi InP'nin engel yüksekliğinden daha büyük olduğu göstermiştir.

Daw ve Chattopadhyay (1991), n-tipi ve p-tipi yarıiletkenlerle yapılan MIS tünel diyotlarının, engel yüksekliğinin tuzak yoğunluğuna bağlı değişimini inceledi. Engel yüksekliğinin safsızlığa kuvvetlice bağlı olduğu gözlemledi.

Werner ve Güttler (1991), PtSi/Si Schottky kontaklarının I - V ve C - V karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliğinin artan sıcaklıkla arttığını gözlemlemişlerdir ve elde edilen engel yüksekliklerinin farklı olmasını kontak bölgesinde oluşan engelin inhomojenitesine bağlamışlardır.

Temirci (2000), Sn/p-Si Schottky diyotlarını elde ederek ara yüzey anodik oksit tabakalı diyot için engel yüksekliğini 0,87 olarak elde etmiş ve Schottky diyotlarda engel yüksekliğinin artırılma imkanını elde etmiştir. Ayrıca anodizasyon ve kimyasal muamele ile yüzey pasivasyonu sayesinde Sn/p-Si Schottky diyotlarında fermi seviyesinin mihlanmadan kurtulmasını sağlamıştır.

Kwong ve ark. (2003), dört farklı fitalosiyenin türevlerini (NiPc, CuPc, CoPc ve FePc) kullanarak ITO/fitalosiyenin/Al güneş pilleri elde etmiş ve bu yapıların fotovoltmik özelliklerini karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonunda 0,0052% lik verim ile CuPc ile elde edilen yapının en yüksek verime sahip olduğu görülmüştür.

Karataş ve Altındal (2004), hazırladıkları Zn/p-Si Schottky diyotlarının temel parametrelerini (engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç) yarı logaritmik akım-voltaj ($\ln I$ - V) eğrisinden ve Norde ve Cheung fonksiyonlarından hesaplamış ve bunların birbirleriyle uyum içinde oldukları gözlenmiştir.

Aksoy (2005), InCl₃ ve Na₂HPO₄ ile hazırladığı eriyikleri püskürtme yöntemi ile kuvars cam alttabanları üzerine oluşturduğu InP ince filmlerinin elektrik, optik ve yapısal özelliklerini incelemiştir. Öz direnç sonuçları ile Hall mobilite değerleri karşılaştırdığında

öz dirençteki artışın hall mobilitede azalışa neden olduğu ve öz dirençteki azalışın ise hall mobilitede artışa neden olduğunu gözlemiştir. Ayrıca oluşturduğu örneklerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri üzerine etkili olan bir faktörün film oluşumu sırasında çevresel faktörlerden kaynaklanan artık safsızlıklardır. Bu artık safsızlığın oksijen olduğu bilinmektedir.

El-Nahass ve ark. (2005), NiPc/p-Si organik-inorganik heteroeklem elde etmiş ve bu yapının elektriksel ve fotoelektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen NiPc/p-Si yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğunu ve bu yapının doğrultma oranının 1750, seri direncinin 750 Ω ve paralel direncinin 1,7 M Ω olduğunu rapor etmişlerdir. Bu yapıya ait fotoelektriksel özellikler 6 mWcm⁻² gücünde beyaz bir ışık altında ve oda sıcaklığında incelenmiş ve bu yapının açık devre gerilimi 0,32 V, kısa devre akımının 186 μ A ve veriminin % 1,11 olduğu görülmüştür.

El-Nahass ve ark. (2005), karanlıkta Au/p-ZnPc/p-Si cihazının 302 den 364 K'e değişen sıcaklıklarda akım-voltaj karakteristiklerini araştırmışlardır. Au/p-ZnPc/p-Si cihazı doğrultucu özellik göstermiştir. Düşük ileri beslemde akım yoğunluğu hollerin termiyonik emisyonları tarafından sınırlandırıldığı görülmüştür.

Kılıçoğlu ve Asubay (2005), Au/n-si/AuSb Schottky diyotlarını oluşturmuşlardır. Oluşturdukları diyotlarda oksit tabakasının engel yüksekliği, idealite faktörü, ara yüzey durumları üzerine etkisini incelemişlerdir.

Singh ve ark. (2005), yaptıkları çalışmalarda, altın buharlaştırma yöntemiyle p-InP yarıiletkeni üzerinde Schottky diyotu oluşturulmuştur. Bu diyot üzerinde *I-V* ve *C-V* ölçümlerinde 220 K - 393 K arasında yapılmıştır. Bu sıcaklık değerinde *I-V* grafiklerinden yararlanılarak Φ_b bariyer yükseklikleri hesaplanmıştır.

Vearey-Roberts ve Evans (2005), metal/GaAs diyotlarının arayüzey potansiyel engelini kontrol edebilmek için, sülfür (S) ile pasife edilmiş GaAs ile Ag/S:GaAs MS diyotu ve GaAs yüzeyine 1,2 ve 4 nm kalınlıklı kalay fitalosiyanın (SnPc) ince filmleri oluşturarak Ag/SnPc/S:GaAs yapılar elde etmişlerdir. Ag/S:GaAs MS diyotların engel yüksekliğinin SnPc arayüzeyi ile 0,6 eV den 0,34 eV'ye düştüğü rapor edilmiştir. Vearey-Roberts ve Evans organik ara tabaka ile MS diyotlarda gözlemlenen bu 0,26 eV lik modifikasyonunun S ile pasife edilmiş n-GaAs yüzeyde fotoelektron spektroskopisi ile ölçülen bant bükülmesine çok yakın bir değerde (0,22 eV) olduğunu rapor etmişlerdir.

Chen ve ark. (2006), CuPc (Bakır Fitalosiyanin) bileşiği kullanılarak hazırlanan diyotlar incelenmiştir. Morötesi ışık altında yapılan *I-V* ölçümlerinde bu diyotların morötesi bölgede fotovoltajik karakter gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu diyotların % 1,03 verimliliğe sahip olduğunu hesaplamışlardır.

Çelik (2006), n-InP yarıiletkeni üzerine kalaylama yöntemi ile gümüş buharlaştırarak bir kaç tane n-InP/Ag Schottky diyotları oluşturmuştur. Diyotların *I-V* ve *C-V* ölçümlerini yapmıştır. *I-V* ve *C-V* eğrilerinin doping konsantrasyonuna ve yarıiletkenin diğer fiziksel özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür. Oluşturulan Schottky diyotlarının elektriksel özellikleri numunelerin yüzey temizliğine bağlı olduğu bulunmuştur.

Dündar (2006), bu çalışmada TiOPc ve ZnPc moleküllerinin ince filmlerini oluşturarak fotoiletkenlik özelliklerini incelemiştir. Oksijenle katılandırılan Pc malzemelerinin fotoiletkenliğinde büyük bir artış gözlemiştir. En fazla fotoiletken özellik gösteren molekül TiOPc en az fotoiletken özelliğe sahip molekül ZnPc' dir. Bu sebeple moleküller atmosfer ortamında çalışabilecektir ve moleküller fotoiletken özellik gösterdiğinden güneş pili yapımında kullanılabilir.

Tataroğlu ve Altındal (2006), MIS diyotların karakteristiklerinin diyotun kalınlığına bağlı olarak nasıl değiştiğini ve idealite faktörü ile engel yüksekliğinin kalınlığına bağlı olup olmadığını incelediler.

El-Nahass ve ark. (2007), yapmış olduğu bu çalışmada NiPc filmini termal buharlaştırma ile n-Si üzerine oluşturarak P-NiPc /n- Si heteroeklemini elde etmişlerdir. p-NiPc/n-Si heteroeklemin elektriksel iletim özelliklerini sıcaklığa bağlı akım-gerilim (*I-V*) ve oda sıcaklığında kapasite-gerilim (*C-V*) ölçümleri ile belirlemişlerdir.

Kutluca (2007), Al/SiO₂/p-Si Schottky diyotlarını elde ederek, bu diyotların 295-400 K sıcaklık aralığında elektriksel karakteristiklerini incelemiştir. Hazırladığı bu yapıların elektriksel karakteristiklerinin termiyonik-emisyon teorisinden sapma gösterdiğini gözlemiştir. Bu sapmaların nedeni, metal-yarıiletken ara yüzeyindeki yüzey ve engel homojensizlikleri ile yalıtkan-yarıiletken arasındaki ara yüzey durumlarından kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca, diyotun seri direnci de bu sapmalara neden olan başka bir etken olduğunu belirtmiştir.

Soylu (2007), bu çalışmadaki amacı 0,35-0,45 eV gibi düşük engel yüksekliğine ve yüksek sızıntı akımına sahip olan metal/n-InP Schottky diyotlarındaki engel yüksekliğini

arttırmak ve sızıntı akımını düşürmektir. Bunun için Au/Pyronine-B/n-InP Schottky diyotunu oluşturmuştur. Pyronine-B arayüzey tabakası vasıtasıyla sızıntı akımının düştüğü ve engel yüksekliğinde 0,180 eV değerinde artırıldığı sonucuna varmıştır.

Yakuphanoglu ve ark. (2007), p-Si üzerine CuPc ince filmi oluşturmuş ve vakum ortamında p-Si/CuPc yapı üzerine Au buharlaştırarak p-Si/CuPc yapının elektriksel ve fotoelektriksel karakterizasyonunu yapmıştır. Aldığı ölçümler sonunda p-Si/CuPc yapının 2,38 idealite faktörü ve 0,71 eV engel yüksekliğine sahip olduğunu görmüştür. 3500 lüks ışık altında aldığı $I-V$ ölçümleri sonucunda yapının 0,16 V açık devre voltajına ve 0,45 μA kısa devre akımına sahip olduğunu hesaplamış ve böylece yapının bir fotodiyot karakterizasyonuna sahip olduğunu göstermiştir.

Yakuphanoglu ve ark. (2008), p-Si/CoPc/Al yapılar elde etmiş ve bu yapıların elektriksel özellikleri ile p-Si/Al MS diyotunun elektriksel özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada CoPc organik ara yüzeyin Al/p-Si kontakın elektriksel özelliklerini önemli oranda modifiye ettiği ve bu yapının idealite faktörünün 1,33 engel yüksekliğinin 0,90 eV ve seri direncinin 314,5 k Ω olduğunu hesaplamışlardır.

Güllü ve Türüt (2008), bu çalışmada, quercetin/p-InP heteroeklem güneş pili çözelti-işleme metoduyla fabrike etmiş ve oda sıcaklığında akım-voltaj ($I-V$) ve kapasitans-voltaj ($C-V$) ölçümleri ile karakterize etmişlerdir. Karanlıkta ileri beslem akım-voltaj karakteristiklerinden bu yapı için bariyer yüksekliği ve idealite faktörü sırasıyla 0,86 eV ve 3,20 olarak elde edilmiştir. Quercetin/p-InP yapısı için bariyer yüksekliği ve serbest taşıma konsantrasyonu değerleri sırasıyla 1,63 eV ve $3,8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Seri direnç hesaplamasında Cheung metodu kullanılmıştır. Bu yapı 120 lüks ışık altında maksimum açık devre voltajı V_{oc} 0,36 V ve kısa devre akımı I_{sc} 35,3 nA ile güçlü bir fotovoltaiik davranış göstermiştir.

Asubay ve ark. (2009), metal p-tipi InP(Cu, Au, Al, Sn, Pb, Ti, Zn) Schottky diyotları ile ilgili bir dizi çalışma yapmışlardır. Engel yüksekliğinin homojensizliğinden dolayı diyot parametreleri bir diyottan diğerine farklılık göstermiştir. Metal-yarıiletken kontakların engel yüksekliği metal-induced gap states (MIGS) tarafından belirlenir. Metal/p-tipi InP Schottky kontakların deneysel verilerinden elde edilen homojen engel yüksekliği fiziksel MIGS ve kimyasal elektronegatiflik kombinasyonları üzerine tahminleri doğrulamıştır.

Cimilli (2009), bu çalışmada Ag/n-InP/In, Au/n-InP/In ve Cd/n-InP/In Schottky diyotlarını elde etti. Bu diyotların karakteristik parametrelerinin sıcaklıkla ve tavlamaya bağlı olarak değişimini incelemiştir. Bu parametrelerin termoyonik-emisyon teorisinden sapmalarının nedeni metal-yarıiletken ara yüzeydeki inhomojenliğine atfedilmiştir.

Rajaputra ve ark. (2009), Schottky diyot güneş pillerini elektron depolanmış CuPc filmleri üzerine fabrike etmişlerdir. Alüminyum kontak termal buharlaştırma ve elektron ışın buharlaştırma olmak üzere iki metotla depolanır. Bu yapıların elektro-optiksel karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Elektron depolanmış CuPc filmleri ile şu ana kadar ki en yüksek açık devre voltajı olan 1,19 V değerine ulaşmışlardır. Bunun tersine buharlaştırılmış CuPc filmlili Schottky diyotlarda açık devre voltajı 0,907 V olarak belirlenmiştir.

Ejderha ve ark. (2010), Ni/p-InP Schottky diyotlarının idealite faktörünü ve engel yüksekliğini 60 K-400 K sıcaklık aralığında 10 K arttırarak elde edilen sıcaklık değerlerinde akım-voltaj (*I-V*) karakteristiğinden belirlenmiştir. 300 K'de idealite faktörü ve engel yüksekliği sırasıyla 1,27 ve 0,87 eV, 400 K'de ise sırasıyla 1,13 ve 0,91 eV olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada idealite faktörünün 1'den büyük olması metal-yarıiletken ara yüzeyinde oksit tabakanın varlığını göstermiştir.

Güllü (2010), bu çalışmada n-InP üzerine oluşturduğu 35, 65 ve 100 nm kalınlığındaki biyopolimer DNA filmler üzerine Al buharlaştırarak, DNA ara tabakalı ve ara tabakasız Al/n-InP kontaklar oluşturmuştur. Yapıların akım gerilim ölçümlerinden DNA ara tabakasız Al/n-InP metal-yarıiletken diyotun engel yüksekliğini 0,43 eV, 100 nm ara tabakalı diyodun engel yüksekliğini 0,87 eV olarak bulmuştur. Böylece DNA ara tabaka ile Al/n-InP MS kontakın engel yüksekliğinin % 100 oranında arttırılabileceğini göstermiştir.

Güllü ve ark. (2010), bu çalışmada p-Si yarıiletken kristal üzerine organik film kaplayarak Al/ Congo Red= CR/p-Si (MIS) yapısı oluşturulmuştur. Elde edilen Al/CR/p-Si MIS yapısı iyi bir doğrultucu özellik göstermiştir. İleri beslem *I-V* karakteristikleri kullanarak idealite faktörü ve engel yüksekliği Al/CR/p-Si (MIS) yapısı için sırasıyla 1,68 ve 0,75 eV olarak elde edilmiştir. CR organik ara yüzeyi Si'nin uzay yükü bölgesini etkileyerek etkili bariyer yüksekliğini arttırmıştır. MIS diyotun ara yüzey-durum yoğunluğu $1,24 \times 10^{13} - 2,44 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ aralığında değiştiği bulunmuştur. Bulunan 0,77

eV engel yüksekliği geleneksel Al/p-Si Schottky diyotları engel yüksekliği değeri olan 0,5 eV değerinden oldukça yüksektir.

Ocak (2010), bu çalışmada MnHA bileşiğinin metanoldeki çözeltisi kullanılarak MnHA/n-Si yapılar oluşturulmuş ve daha sonra Ag, Al, Au, Cr, Cu, Ga, Pb ve Sn metallerinin ince filmleri yapı üzerine elektron demeti veya termal buharlaştırma yöntemleri ile oluşturarak metal/MnHA/n-Si yapılarını elde etmiştir. Elde ettiği yapılar doğrultucu özellik göstermiştir. Oluştuğu metal/MnHA/n-Si yapılarının elektriksel parametrelerini hesaplamıştır. Ayrıca diyotların *I-V* ölçümleri güneş simülatörü altında ölçülerek yapıların ışığa duyarlılıkları ve fotovoltaik özellikleri incelenmiştir.

Ocak ve ark. (2011), ZnO/p-InP heteroeklemini p-InP üzerine dc sputtering yöntemiyle ZnO püskürterek elde etmişlerdir. ZnO/p-InP yapısı iyi bir doğrultucu özellik göstermiştir. ZnO/p-InP yapısının elektriksel özellikleri (idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç) 300-380 K sıcaklık aralığında 20'şer K arttırılarak elde edilen sıcaklık değerlerinde akım-voltaj (*I-V*) ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Akım yoğunluğu (J_{sc}) ve açık devre voltajı (V_{oc}) 40 ve 100 mW/cm² arasında belirlenmiştir. Bu yapının fotovoltaik parametreleri 100 mW/cm² ve AM 1,5 filtreye sahip güneş simülatörü kullanılarak belirlenmiştir.

Gupta ve ark. (2011), bu çalışmada ZnO ve CuPc tabanlı p-n eklemleri sırasıyla lazer depolama ve termal buhar tekniklerini kullanarak fabrike etmişlerdir. Yapılan alışmada ZnO-CuPc ekleminin *I-V* karakteristiği doğrultucu özellik göstermiştir. ZnO-CuPc ekleminin engel yüksekliği ve idealite faktörleri gibi çeşitli eklem parametreleri *I-V* verileri kullanılarak hesaplanmıştır ve sırasıyla $0,63 \pm 0,02$ eV ve $4,0 \pm 0,3$ olarak ölçülmüştür. Cheung ve Norde metotları *I-V* karakteristikleriyle ölçülen eklem parametrelerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Hamidi (2011), Al/Tips:MEHPPV/p-Si Schottky diyotunu elde ederek bu diyotun temel parametrelerini karanlıkta ve ışık altında ölçmüştür. Işıksız ortamda engel yüksekliği 0,79 eV ve idealite faktörü 7,43 iken, ışıklı ortamda ise engel yüksekliği 0,86 eV ve idealite faktörü 8,02 olarak elde etmiştir. Diyotun idealite faktörünün 1'den büyük olması yapının ara yüzey durumlarının yoğunluğuna atfedilmiştir. Ayrıca bu yapının ışığa duyarlı olduğu ve fotodiyot özelliği gösterdiğini saptamıştır.

Güllü ve ark. (2012), bu çalışmada, Au/Rh-101/n-InP Schottky diyotları için engel yüksekliği değerini 0,88 eV ulaşmışlardır. Bu da Au/Rh-101/n-InP Schottky diyotları için

iyi bir akım-voltaj karakteristiğidir. Bu karakteristiğin iyi çıkması Au ve n-InP arasındaki organik arayüzeyin bir etkisidir. Au/Rh-101/n-InP Schottky diyotun kapasitans-voltaj ölçümleri kullanılarak difüzyon potansiyeli ve engel yüksekliği sırası ile 0,78 V ve 0,88 eV olarak ölçülmüştür. Işık altındaki *I-V* ölçümlerinden kısa devre akımı ve açık devre voltajı sırası ile 1,70 μ A ve 240 mV olarak elde edilmiştir.

Yıldız (2012), Al/oc-ZnPc/p-Si Schottky diyotunu elde ederek, oda sıcaklığında *I-V* ölçümleri yardımıyla idealite faktörünü ve engel yüksekliğini sırasıyla 1,438 ve 0,784 eV olarak hesaplamıştır. Norde fonksiyonları kullanılarak diyotun seri direnç değerini 5,46 k Ω olarak hesaplamıştır. Ayrıca diyotun karanlık ortamda 40-100 mW/cm² ışık şiddeti altında *I-V* ölçümleri yapılmış ve elde etmiş olduğu diyotun fotodiyot özelliğine sahip olduğunu göstermiştir.

Korucu ve ark. (2013), oda sıcaklığında empedans spektroskopisi kullanarak Ag/p-InP diyotlarının frekansa bağlı elektriksel karakteristiklerini belirlemişlerdir.

3. MATERYAL METOT

3.1. Metal – Yarıiletken Kontaklar

Schottky diyotların yapısının ve karakteristik özelliklerinin iyi anlaşılabilmesi, iletkenlik özelliklerinin araştırılabilmesi için uygun kontakların kristale uygulanması gerekir. Kontak, kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemesinin, en az dirençle temas ettirilmesidir. Kontakın idealliği, kontak haline getirilen yüzeylerin temiz ve pürüzsüz olmasıyla doğru orantılıdır. Metal ile yarıiletken temas ettirildiğinde her iki madde arasında yük alışverişi meydana gelir ve bu durum maddelerin Fermi enerji seviyeleri eşit oluncaya kadar devam eder (Ziel, 1968).

Metal-yarıiletken kontaklar, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlı olarak omik ve doğrultucu kontak (Schottky kontak) olmak üzere iki kısma ayrılır. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere; Metal-n tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ ise; doğrultucu(Schottky) kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. Metal-p tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda; omik kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ ise doğrultucu kontak oluşur.

3.1.1. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metal yarıiletken kontakta yük taşıyıcıları (boşluk ve elektronlar) bir doğrultudan diğer doğrultuya göre daha kolay geçebiliyorsa, bu bir doğrultucu kontakdır. Bu nedenle doğrultucu kontakta bir doğrultudaki akım diğer doğrultuya göre daha kolay geçer. Metal ile yarıiletken kontak haline getirilmeden önce, yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontak oluşuktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı yükseklik düzeyine ulaşınca kadar metalden yarıiletkene doğru elektron geçişi olur. Böylece yarıiletken tarafındaki holler iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler d kalınlıklı uzay yük tabakası boyunca dağılır. Kontakta sonra yarıiletken gövdede enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiği için, yarıiletken tarafındaki holler için görülen engel yüksekliği;

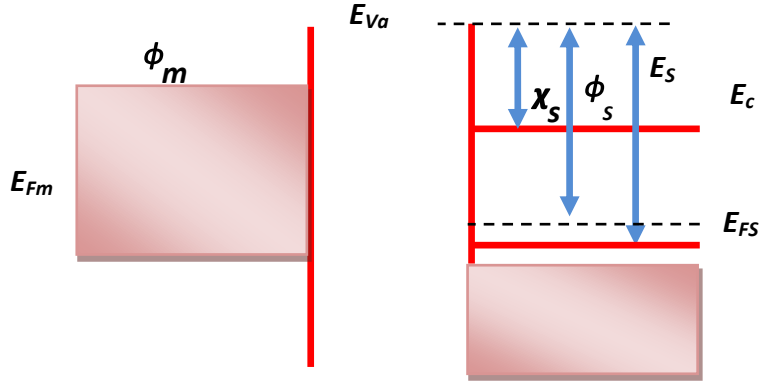
$$eV_d = \phi_s - \phi_m \quad (3.1)$$

V_d difüzyon potansiyelidir ve metalin yüzeyine göre alınır.

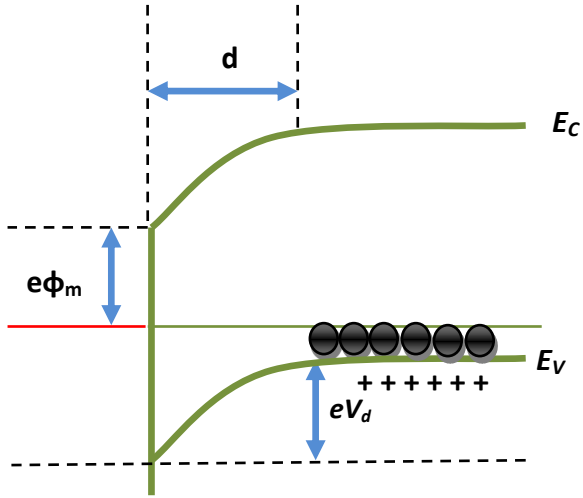
Metal tarafındaki holler için engel yüksekliği;

$$e\phi_b = E_s - \phi_m \quad (3.2)$$

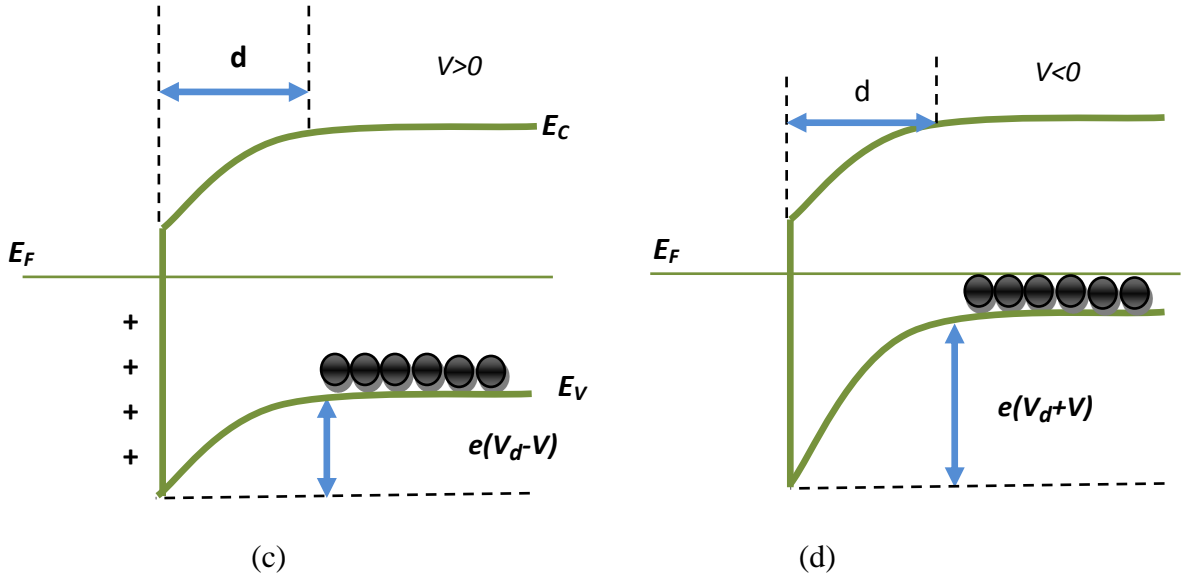
olur.



(a)



(b)



Şekil 3.1. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu diyotun enerji bant diyagramları
 a) kontakta önce, b) kontakta sonra ve termal dengede, c) düz beslem durumunda ($V > 0$), d) ters beslem durumunda ($V < 0$)

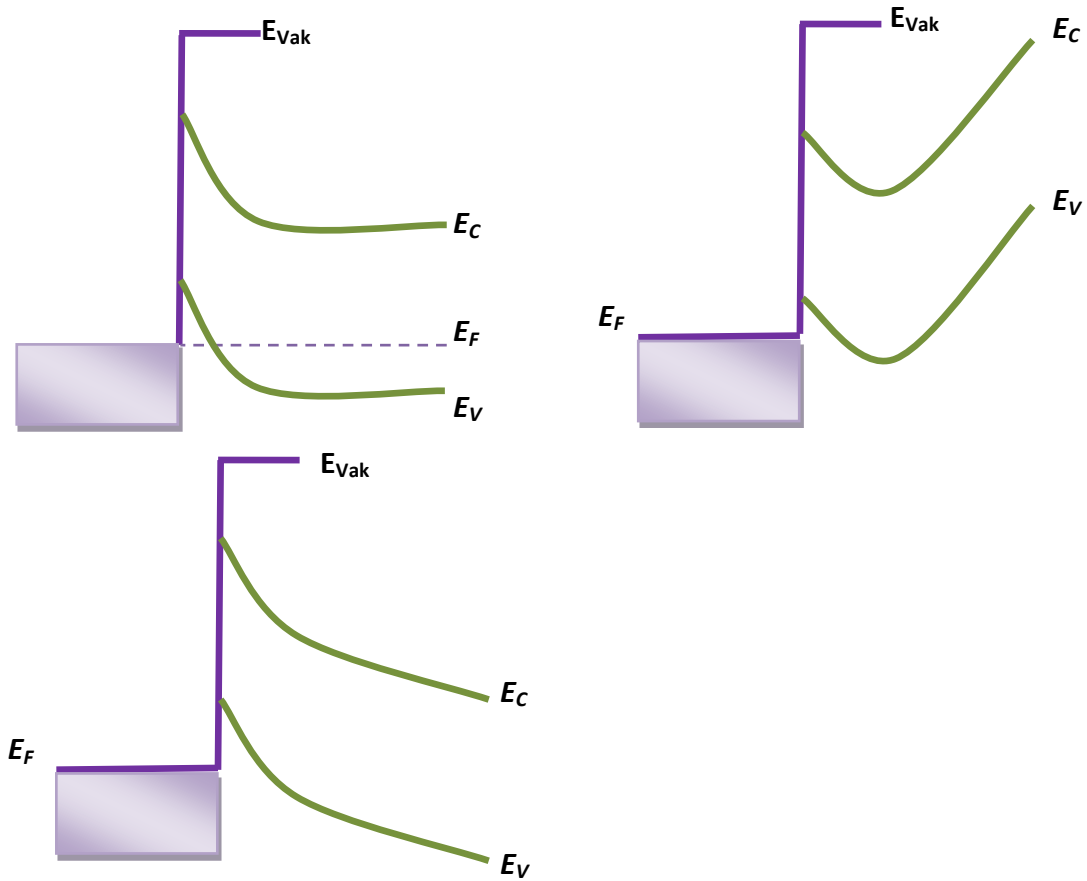
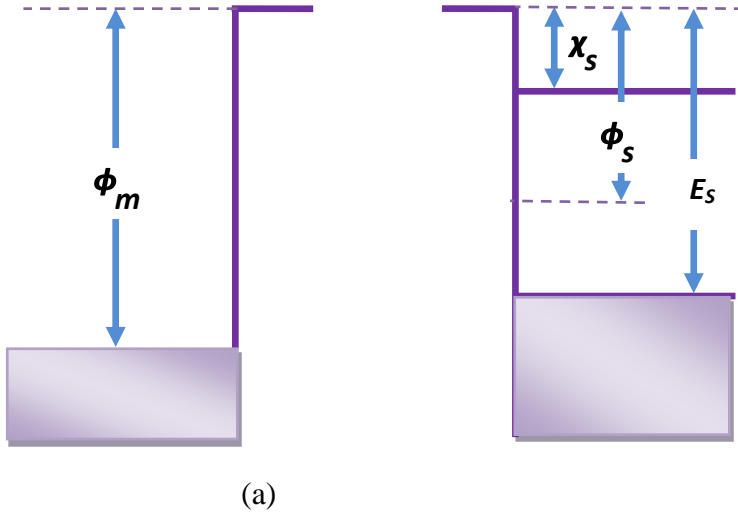
Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletkendeki bazı boşluklar potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanıp, metale geçebilir. Aynı şekilde metalden yarıiletkenin içine bazı boşluklar da, engeli aşacak kadar enerji kazanıp, yarıiletkenin içine geçebilirler. Böylece, kontakta engelden geçen zıt yönlü iki I_0 akım oluşur. Dengeyi bozmak için yarıiletkene bir V gerilimi uygulanırsa (Şekil 3.1 b) metalden yarıiletkenin içine geçen boşluk akımı değişmez, fakat yarıiletkenden metale geçen boşluk akımı $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar değişir. Bundan dolayı yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü eV kadar düşer ve buna bağlı olarak yarıiletkenden metale geçen boşluklar için engel yüksekliği eV kadar azalır. Sonuç olarak; yarıiletkenden metale doğru geçen boşlukların oluşturduğu akım pozitif olarak kabul edilirse, karakteristik akım;

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right) \quad (3.3)$$

ifadesiyle bulunur. Bu bir doğrultucu kontakın akım denklemidir. Bu denklemde I_0 doyma akımı, V uygulanan potansiyel, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ifadesidir.

3.1.2. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

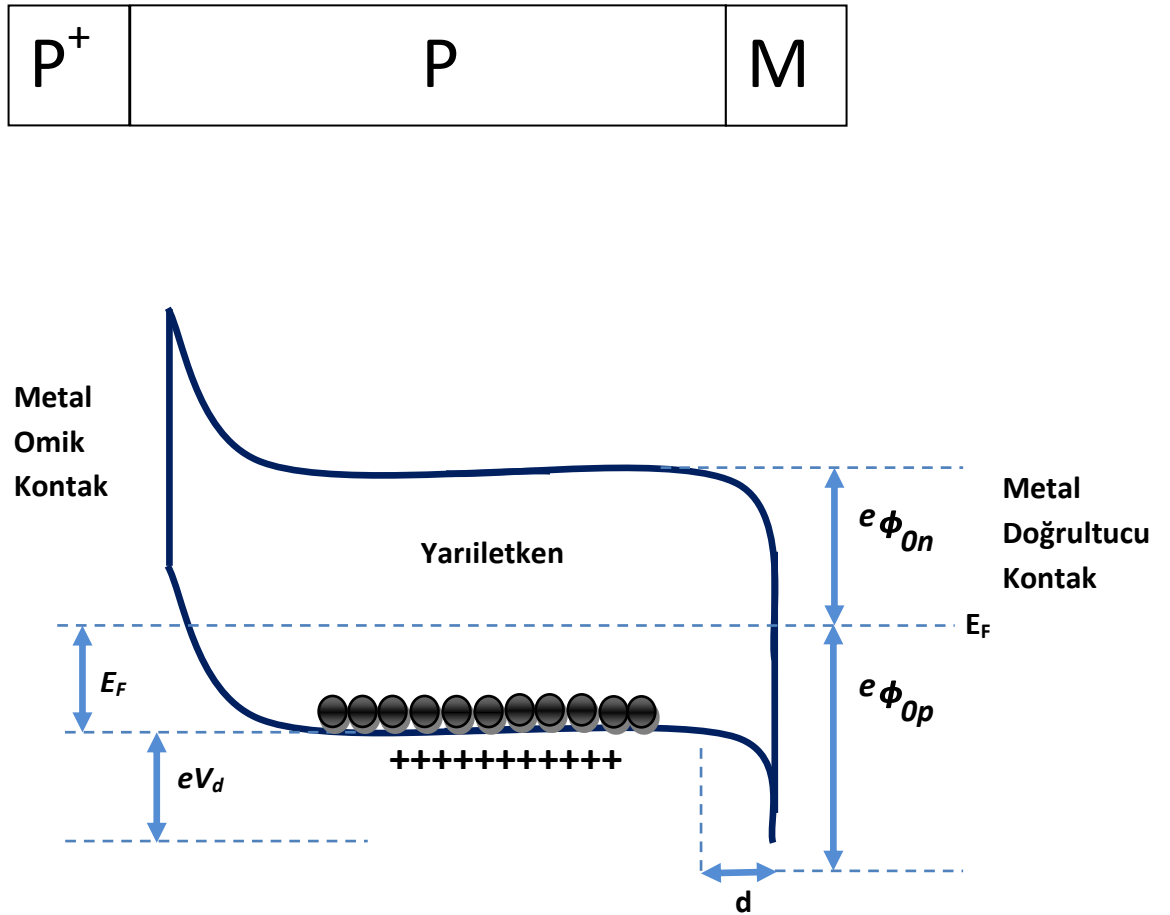
$\phi_m > \phi_s$ durumunu dikkate alalım. Kontakta önce yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\phi_m - \phi_s$ kadar yukarıdadır (şekil 3.2a). Kontakta sonra yarıiletkendeki elektronlar, geride pozitif yüzey yükleri bırakarak metal tarafına geçerler ve metal tarafında negatif yüzey yükü oluşmasına sebep olurlar. Bu sebepten dolayı yarıiletkendeki Fermi seviyesi $\phi_m - \phi_s$ kadar aşağı düşer (şekil 3.2b). Boşluk konsantrasyonunun artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi, boşlukların yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen boşluklar, (yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı) hemen nötralle olurlar. Ters beslem ($V < 0$) durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan boşluklar da kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçebilirler. Böyle her iki doğrultuda akımı kolayca geçirebilen kontaklar omik kontaklar olarak bilinirler.



Şekil 3.2. Metal p-tipi yarıiletken omik kontağın enerji-bant diyagramı, **a)** Kontaktan önce, **b)** Kontaktan sonra ve termal dengede, **c)** düz beslem durumunda ($V > 0$), **d)** ters beslem durumunda ($V < 0$)

3.1.3.Metal/ p-tipi Yarıiletken – Metal Yapısı

p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine boşluk bakımından çok zengin P^+ omik kontağı ile, diğer yüzeyine PM doğrultucu kontak yapılmasıyla p-tipi yarıiletken metal ($P^+ PM$) yapısı meydana gelir. Böyle bir yapının termal dengede enerji bant diyagramı şekil 3.3' te ki gibidir.



Şekil 3.3. P^+PM yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji bant diyagramı

P^+ omik kontak tarafına, $V > 0$ olacak şekilde bir gerilim uygulandığında, yapı doğru beslemde olur. P^+ tarafına $V < 0$ olacak şekilde bir gerilim uygulandığında, yapı ters beslemde olur. $P^+ PM$ yapısı, diyot özelliğine sahip bir yapıdır. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi boşluklar için engel yüksekliği;

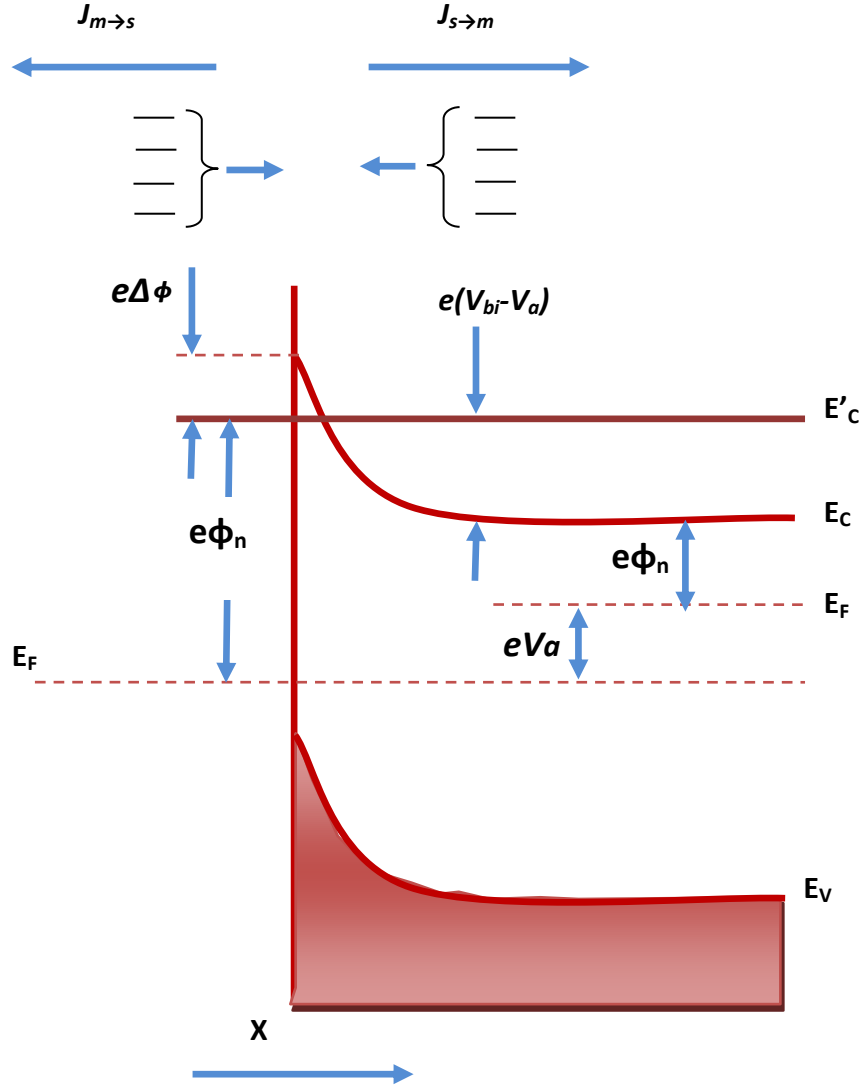
$$e\phi_{po} = eV_d + E_F \quad (3.4)$$

ifadesine eşittir.

3.1.4.Schottky Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi

Schottky kontaklarda, bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi, termoyonik alan emisyon teorisi ile açıklanmaktadır. Elektron ve hollerin sıcak bir yüzeyden salınması, Termoyonik Emisyon Olayı olarak bilinmektedir. Schottky kontaklarda Termoyonik emisyon teorisi; taşıyıcıların yeteri miktarda termal enerjiyi kazanmasıyla, metalden yarıiletken veya yarıiletkenden metale potansiyel engeli aşarak geçmesidir.

Metal-yarıiletken kontaklarda akım çoğunluk taşıyıcılar tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda ise, boşluklar akımı meydana getirir.



Şekil 3.4. Düz beslemde metal yarıiletken Schottky kontaklarda imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı

Termoiyonik emisyon teorisi oluşturulurken, Maxwell-Boltzman yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kondağa ait potansiyel engelinin, kT enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmaların çok küçük olduğu kabul edilmektedir. Şekil 3.4 'de V_a büyüklüğünde düz beslem gerilimi uygulanmış bir Schottky kontak görülmektedir. Burada $J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m \rightarrow s}$ ise metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğudur. $J_{s \rightarrow m}$ akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların

konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu nedenle,

$$J_{S \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x d_n \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerji, v_x sürüklenme yönündeki hızdır. Artan elektron konsantrasyonu

$$J = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e(\Phi_{bn})}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV_a}{kT} - 1\right) \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada A^* ifadesi termoiyonik emisyon için etkin Richardson sabiti olup

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (3.7)$$

ile verilir. Genel durum için (3.6) ifadesi

$$J = J_0 \left(\exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right) \quad (3.8)$$

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

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e(\Phi_{bn})}{kT}\right) \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir. Φ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve $\Phi_{bn} = \Phi_{bo} - \Delta\Phi$ şekline verildiği dikkate alınarak (3.9) ifadesi

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e(\Phi_{bo})}{kT}\right) \exp\left(\frac{e(\Delta\Phi)}{kT}\right) \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilir. Engel yüksekliğindeki $\Delta\Phi$ değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters beslem gerilimi ile artacaktır. Denklem 3.8' i I akım ifadesi olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$I = I_0 \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right) \quad (3.11)$$

Bu denklem, ideal diyotlar için geçerlidir. İdeal faktörü n olmak üzere, bu denklemi şöyle yazarak genelleştirebiliriz.

$$I = I_0 \left(\exp \left(\frac{eV}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (3.12)$$

Bir diyotun seri direncine R_s dersek, denklemi,

$$I = I_0 \left(\exp \left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (3.13)$$

şeklinde yazabiliriz.

3.1.5.Schottky Engel Yüksekliği Üzerine Etkiler

İdeal bir metal yarıiletken kontakta engel yüksekliği;

$$\phi_b = \phi_m - \chi_s \quad (3.14)$$

ifadesi ile verilir. Burada ϕ_m , kontak metalin iş fonksiyonu, χ_s yarıiletkenin elektron ilgisidir (iletkenlik bandının tabanı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkı).

Bazı etkiler, (3.14) eşitliği ile verilen Schottky engel yüksekliğinde, sapma meydana getirebilir. Bu etkilerden biri Schottky etkisidir. Schottky etkisi, katotta emisyon akımının, artan alan kuvvetiyle artması olarak bilinir ve katodun iş fonksiyonunun, yüzey alan kuvvetine bağlı olduğunu ifade eder. Metalden x uzaklığında, dielektrikteki bir elektron, elektrik alanı oluşturacaktır. Alan çizgileri, metal yüzeyine dik ve metal yüzeyinden içeriye doğru x mesafede lokalize olan $+e$ imaj yükü ile aynı olacaktır. İmaj yükü ile Coulomb etkileşmesinden dolayı elektron üzerine etkiyen kuvvete de imaj kuvveti denir ve

$$F = \frac{-e^2}{4\pi(2x)^2\epsilon_s} = -eE \quad (3.15)$$

ifadesi ile verilir. Buradan yola çıkarak potansiyel için aşağıdaki ifade elde edilebilir.

$$-\Phi(x) = + \int_x^{\infty} E dx = \int_x^{\infty} \frac{e}{4\pi(2x)^2 \epsilon_s} dx = \frac{-e}{16\pi x \epsilon_s} \quad (3.16)$$

Burada x , integral değişkeni ve $x = \infty$ için potansiyeli sıfır kabul ettik. Dış elektrik alan sıfır iken, potansiyel (3.16) ifadesiyle verilmiştir. Eğer dış alan sıfırdan farklı ise potansiyel,

$$-\Phi(x) = \frac{-e}{16\pi x} - E \cdot x \quad (3.17)$$

eşitliği ile verilir. (3.17) eşitliği x ' in küçük değerleri için geçerliliğini kaybeder ve x sıfıra giderken $\Phi(x) \rightarrow \infty$ 'a yaklaşır. Eşitlikteki ikinci terim dış alandan dolayı potansiyel engelindeki düşme miktarını ifade eder. Potansiyel engelinin bu düşmesi, Schottky etkisi ya da imaj kuvvet etkisiyle düşmesidir. Schottky engel düşmesini $\Delta\Phi$ ve bu düşmenin gerçekleştiği uzaklık x_m , $\frac{d[e\Phi(x)]}{dx} = 0$ şartından,

$$x_m = \sqrt{\frac{e}{16\pi E \epsilon_s}} \quad (3.18)$$

$$\Delta\Phi = \sqrt{\frac{eE}{4\pi \epsilon_s}} \quad (3.19)$$

ifadeleri ile verilir.

3.2. Norde Fonksiyonu

Norde 1979 yılında, engel yüksekliği ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metod önermiştir. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şöyle yazılabilir.

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{1}{AA^*T^2} \right) \quad (3.20)$$

Diyot için seri direnç R_s , akım denklemi (3.13) ile verilmiştir. Bu denklemde $V_d > kT/q$ kabul edip gerekli işlemleri yaparsak (3.20) ifadesi,

$$F(V) = \Phi_b + IR_s - \frac{1}{2}V \dots \quad (3.21)$$

yazılabilir. İdeal durum için $R_s=0$, $F(V)$ düz bir çizgiyi verir ve eğimi 0,5'dir. $F(V)$ eksenini kestiği nokta Φ_b 'yi verir. Diğer bir deyişle sadece bir direnç için elde edersek

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{V}{R_{AA} T^2} \right) \quad (3.22)$$

denklemini ile ifade edilebilir.

$$\frac{dF}{dV} = R_s \left(\frac{dI}{dV} \right) - \frac{1}{2} \quad (3.23)$$

Yüksek gerilimler için eğim = +0,5 ile düz bir çizgiye yaklaşacaktır. İdeal durum için $F(V)$ düşük akım değerleri ve yaklaşık $F(V)$ büyük akım değerleri arasındadır. Bazı yerlerde iki $F(V)$ doğrusu minimuma sahip olur. Denklem 3.13'ün diferansiyeli alınırsa

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_d} \left(1 + R_s \left(\frac{dI}{dV_d} \right) \right)^{-1} \quad (3.24)$$

Buradan da

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_d} (I_s \exp(\beta V_d)) = \beta I \quad (3.25)$$

ve

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\beta R I}{1 + \beta R I} - \frac{1}{2} \quad (3.26)$$

$dF/dV=0$ yerine yazılırsa $F(V)$ 'nin minimum değerinde, I_0 akımı elde edilecektir. Buradan da,

$$I_0 = \frac{1}{\beta R} = \frac{kT}{eR} \quad (3.27)$$

elde edilir.

$$V_0 = I_0 R_s + V_d(I_0) = \frac{1}{\beta} + \ln\left(\frac{I_0}{AA^*T^2}\right) \quad (3.28)$$

yazılır ve $F(V)$ ' nin minimum değerinden

$$F(V_0) = \frac{V_0}{2} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{I_0}{AA^*T^2}\right) \quad (3.29)$$

I_0 , V_0 ve $F(V_0)$ ' in ölçülen değerleri kullanılarak,

$$R_s = \frac{kT}{eI_0} \quad (3.30)$$

ve

$$\Phi_b = F(V_d) + \frac{V_0}{2} - \frac{kT}{e} \quad (3.31)$$

elde edilir.

Norde'nin kullandığı bu metod, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup, Bohlin ideal olmayan durumlar için genelleştirilmiş Norde metodunu kullanarak seri direnç ve n değerlerinin hesaplanabileceğini göstermiştir (Bohlin, 1986).

Denklem 3.13 ile daha önce verilen akım gerilim karakteristiğini göz önüne alarak, seri bir $F(V)$ fonksiyonu yazılabilir.

$$F(V, \gamma) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (3.32)$$

Burada γ , n ' den büyük keyfi bir sabittir. Denklem (3.28) ile (3.29) birleştirilirse

$$F(V, \gamma) = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta}\right) V + \Phi_b + \frac{IR_s}{\eta} \quad (3.33)$$

elde edilir.

İdeal bir diyot için seri direnç sıfır $F(V,\gamma)$ fonksiyonu düz bir doğru, eğimi $(n-\gamma)/\gamma n$ olacaktır. Diğer bir deyişle sadece bir direnç varsa fonksiyon

$$F(V, \gamma) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{V}{R_s A A^* T^2} \right) \quad (3.34)$$

olacaktır.

Bu fonksiyon gerilimin büyük değerleri için $1/\gamma$ eğimi ile düz çizgiye yaklaşacaktır. γ sabiti n' den büyük olduğu sürece fonksiyon minimuma sahip olacaktır. Denklem 3.32'nin gerilime bağlı diferansiyeli alınırsa,

$$\frac{dF}{dV} = \frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta} + \frac{R_s}{\eta} \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad (3.35)$$

ve denklem 3.34'ten

$$\frac{dI}{dV} = \frac{\beta I}{\eta} - \frac{\beta R_s I}{\eta} \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad (3.36)$$

Denklem 3.34 ve 3.35 birleştirilirse

$$\frac{dI}{dV} = \frac{\frac{\beta I}{\eta}}{1 + \frac{\beta R_s I}{\eta}} \quad (3.37)$$

Denklem 3.34 ve 3.36 birleştirilse,

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\eta - \gamma + \beta R_s I}{\gamma(\eta + \beta R_s I)} \quad (3.38)$$

$dF/dV=0$ minimum değerinde

$$I_0 = \frac{\gamma - \eta}{\beta R_s} \quad (3.39)$$

Denklem 3.33 ve 3.38 kullanılarak

$$F(V_0, \gamma) = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\eta}\right)V_0 + \Phi_b + \frac{\gamma - \eta}{\beta\eta} \quad (3.40)$$

Burada I_0 ve V_0 değerleri minimumda benzeşirler. Sonuç olarak;

$$\Phi_b = F(V_0, \gamma) + \left(\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\gamma}\right)V_0 - \left(\frac{\gamma - \eta}{\beta\eta}\right) \quad (3.41)$$

$$R = \frac{\gamma - \eta}{\beta I_0} \quad (3.42)$$

elde edilir.

3.3. Cheung Fonksiyonu

Metal-yarıiletken yapıların(Schottky diyot) doğru belsem I - V karakteristiklerinin hesaplanmasında Cheung (1986) farklı bir yöntem geliştirdi. Buna göre termiyonik emisiyondan teorisinden bulunan akım yoğunluğu diyotun A etkin alanı ile çarpılırsa, diyottan geçen toplam akım;

$$J_{s \rightarrow m} = \left(A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right)\right) \left(\exp\frac{eV}{kT} - 1\right) \quad (3.43)$$

$$I = A \cdot J = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \left(\exp\left(\frac{eV}{kT} - 1\right)\right) \quad (3.44)$$

olarak bulunur. Burada $eV \gg 3kT$ olduğundan 1 ihmal edilebilir. Pratikte, uygulanan potansiyelin hepsi arınma bölgesinde düşmediğinden, ideal durumdan sapmalar meydana gelir. Bu durumu ifade edebilmek için, birimsiz bir sabit olan idealite faktörü (n) kullanılır. Bu durumda akım denklemi

$$I_n = AA^* n T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \left(\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right)\right) \quad (3.45)$$

şekline dönüşür. Burada V uygulanan voltajdır. Bu voltajın seri dirençten dolayı IR_s kadar kısmı düşer. Dolayısıyla V yerine $V - IR_s$ şeklinde yazılabilir. Burada akım denklemi;

$$I_n = A.J = AA^*nT^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \left(\exp\left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right)\right) \quad (3.46)$$

biçiminde yazılabilir. Bu denklemin doğal logaritması alınır

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I_n}{AA^*T^2}\right) + n\phi_{bn} + I.R_s \quad (3.47)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin $\ln I$ 'ya göre türevi alınır

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + I.R_s \quad (3.48)$$

eşitliğine dönüşür. Bu eşitlikten; $dV/d(\ln I)$ 'nin I 'ya göre grafiği çizilirse bir doğru vereceği anlamı çıkar. Bu doğrunun eğimi, seri direnci (R_s), düşey eksenini kestiği nokta ise idealite faktörü (n) değerlerini verir (Cheung ve Cheung, 1986).

Potansiyel engelini (ϕ_{bn}) bulmak için, (3.46) bağıntısı göz önünde bulundurularak

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (3.49)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanabilir. O halde potansiyel engelini bulmak için aşağıdaki gibi bir eşitlik yazılabilir. (3.47) ve (3.48) eşitliklerinden

$$H(I) = n\phi_{bn} + I.R_s \quad (3.50)$$

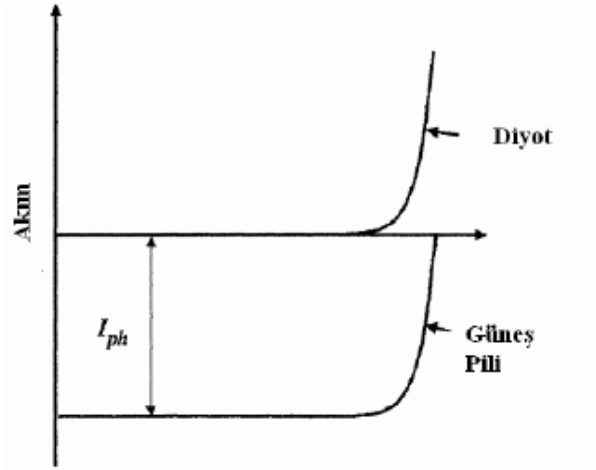
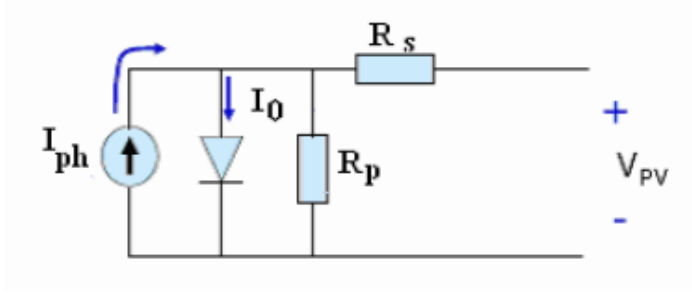
şeklinde yazılabilir.

(3.50) eşitliğinin $H(I)$ - I grafiği çizilirse yine bir doğru verecektir. Bu doğrunun eğimi seri direncin (R_s) değerini, doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği nokta ise engel yüksekliği ($e\phi_{bn}$) değerini verir.

3.4. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu

Güneş pillerinde fotovoltaiik enerji dönüşümünde iki basamak mevcuttur. Bunlar sırasıyla, soğurulan ışık tarafından elektron-boşluk çiftlerinin oluşması ve elektronların güneş pilinin negatif terminaline ve boşlukların pozitif terminale gitmeleridir (Ocak, 2010). Böylece elektriksel güç elde edilir. Bir güneş pili Şekil 3.5'te gösterildiği gibi doğrultucu bir diyota bağlanmış bir akım kaynağı ile tasvir edilebilir. Şekil 3.5b'de ayrıca diyot ve güneş piline ait akım gerilim grafiklerinin üst üste binmesi şematize edilmiştir. Bir pilin akım gerilim karakteristiği Shockley tarafından

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right) \quad (3.51)$$



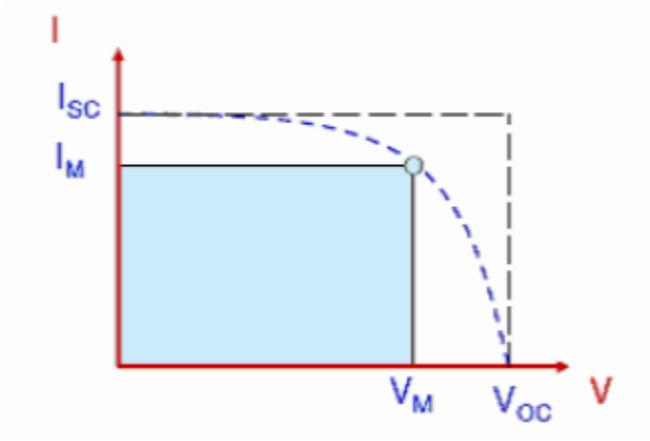
Şekil 3.5. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterimi, b) Bir güneş piline ait (güneş pili + diyot) akım gerilim grafiği

olarak elde edilmiştir. Burada k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, e elektron yükü ve V pilin iki terminali arasına uygulanan gerilimidir. I_0 doyma akımıdır ve karanlık altında güneş pilinin klasik doğrultucu kontak gibi davrandığını ifade eder. I_{ph} ışık tarafından oluşturulan akımdır ve pil üzerine düşürülen foton akışı ile ilişkilidir. Şekil 3.6

denklem 3.52'ye karşılık gelen akım-gerilim ifadesini temsil etmektedir. Burada, I_{sc} kısa devre akımıdır ve ışık tarafından oluşturulan I_{ph} değerine eşittir. V_{oc} ise açık devre gerilimidir ve

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (3.52)$$

ile ifade edilir.



Şekil 3.6. Güneş pillerinde denklem 3.52'ye karşılık gelen akım-gerilim grafiği

Grafikte ifade edilen I_M ve V_M ifadeleri sırasıyla maksimum gücün elde edildiği akım ve gerilim değerleridir. Pil tarafından üretilen güç şekil 3.7' de gösterilmektedir. Pilden elde edilen maksimum güç

$$P_{max} = I_{max}V_{max} \quad (3.53)$$

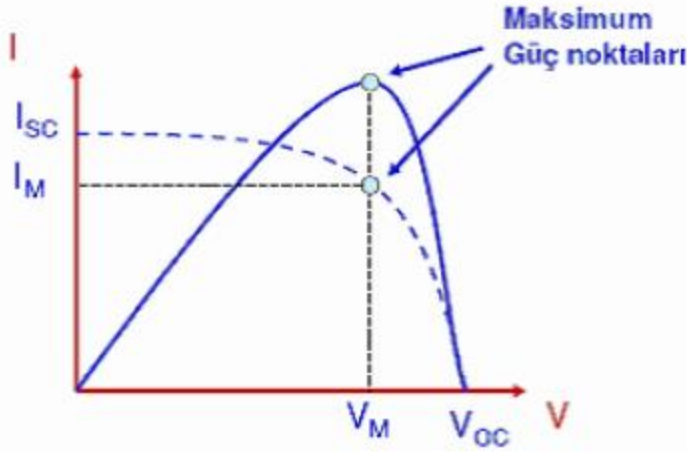
ile ifade edilir. Güneş pilinin enerji dönüşüm verimi (η), pil devreye bağlandığında soğurulan ışık enerjisinin, elektrik enerjisine çevrilme yüzdesidir. Bu ifade pilden elde edilen maksimum gücün pil üzerine düşürülen ışığın gücüne oranıdır. Güneş pilinin verimi

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inS}} \quad (3.54)$$

olarak yazılır. Burada P_{in} pil yüzeyine düşürülen ışığın gücü ve S pilin etkin alanıdır. Bundan dolayı ölçümlerde kullanılan simülasyonun ışık gücü ile pilin etkin alanının çarpılması ile net güç bulunur. Güneş pillerinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre, doluluk oranıdır. Bu terim, elde edilen maksimum gücün açık devre gerilimi ile kısa devre akımlarının çarpımına oranıdır ve

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc}I_{sc}} = \frac{\eta P_{in}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (3.55)$$

ile ifade edilir.



Şekil 3.7. Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterimi

Güneş pillerinde, maksimum gücün elde edildiği V_M ve I_M noktalarının gösterimi ile ifade edilir. Bir güneş pilinin doluluk oranı, bu pilin seri ve paralel direncinden doğrudan etkilenir. Paralel direncin artırılması ve seri direncin düşürülmesi doluluk oranını artırır ve dolayısıyla pilin verimini artırır.

3.5. İndiyum fosfat (InP)

Bileşik yarıiletken ve ince film çalışmalarında en yaygın kullanılan yarıiletkenlerin birçoğu III-V grubuna giren yarıiletkenlerdir. III-V grubu içine giren maddeler, periyodik tablonun üçüncü metalik grubunda bulunan bir element ile metalik olmayan beşinci grubunda bulunan bir elementin bir araya gelmesiyle oluşan GaAs, InP, GaN, InSb ve InAs gibi ikili kristallerdir. Bu bileşik kristallerin özelliklerinden biri, serbest elektronların ve

boşlukların yüksek mobilitelere sahip olmalarıdır ve bu özelliklerinden dolayı çok-yüksek hız elektronığında kullanılırlar.

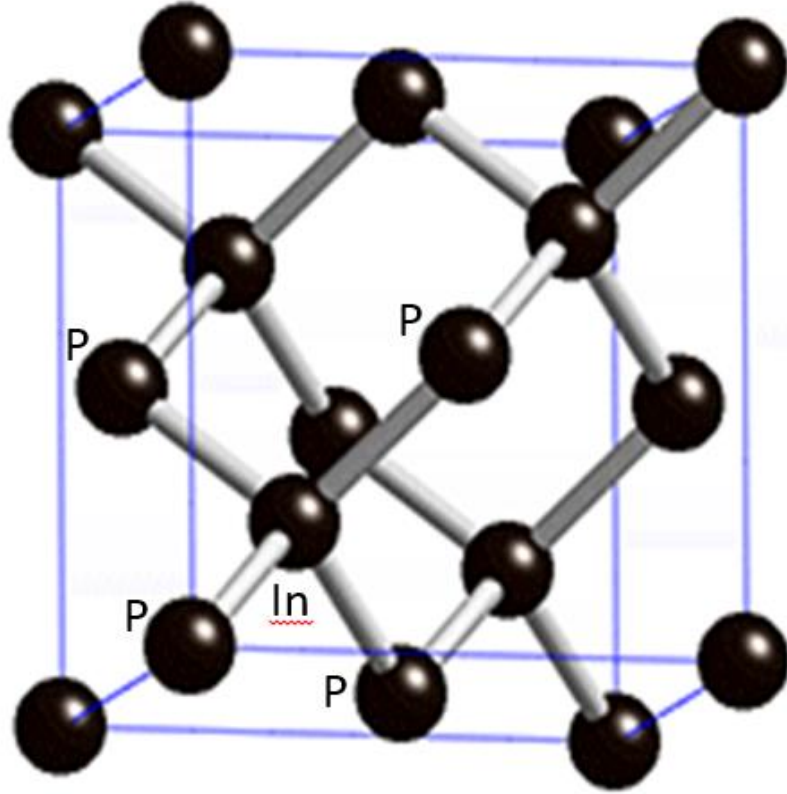
InP' nin ulaşabilecek en yüksek elektron hızı (yüksek elektron mobilitesi), yüksek ısısal iletkenlik ve yüksek elektrik alan kırılması gibi sahip olduğu fiziksel özellikleri onu yüksek-hız ve yüksek kırılma-voltajı elektronik uygulamalarında kullanılan elektronik elemanların yapımında uygun bir materyal haline getirir. Optik iletişimde kullanılan ışığa yakın bant aralığı ve büyük kırılma indisine sahip olması gibi fiziksel özelliklerinden dolayı InP elektronik aygıtları, yüksek frekans uygulamalarında veya başka bir deyişle milimetrik dalga ve mikro dalga frekanslarındaki çalışan sistemlerde kullanılır.

3.5.1. İndiyum Fosfatın Yapısal Özellikleri

III–V grubu ikili bileşik yarıiletkenlerinden birisi olan InP, periyodik tablonun III. sütununda bulunan indiyum atomu ile V. sütununda bulunan fosfat atomunun bir araya gelmesiyle oluşur. Her bir örgü noktasında iki farklı atom (In ve P) yer almaktadır ve her bir atom diğer cinsten atomla dörtlü kovalent bağ (sp^3 hibrit bağlanması) yapar. InP'nin tetrahedral (düzgün dörtyüzlü)şeklinde bağlı örgü yapısındaki kübik uzay grubu F43 temelindedir.

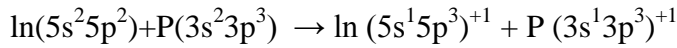
Safsızlık atomları dahil edildiğinde bir yarıiletkenin lattis sabiti büyüyebilir yada küçülebilir. Bir InP kristalinde her In (indiyum) en yakın dört P (Fosfat)' a düzgün dörtyüzlünün köşelerine $(\sqrt{3}/4)_{a_0} = 0,254\text{nm}$ uzaklıkta olacak şekilde komşudur.

Birbirlerine en yakın In-In veya P-P atomlar arasındaki uzaklık $(1/\sqrt{2})_{a_0} = 0,415\text{ nm}$ dir.



Şekil 3.8. Tetrahedral kristal yapısı

Bir kristalin kırılma özellikleri, atomik düzenlemeye ve yoğunluk dağılımına bağlıdır. Periyodik tablonun IIIA grubu atomları, tam dolu yörüngelerin s^2p^1 yörüngelerinde üç elektrona ve VA grubu atomları ise s^2p^3 yörüngeleri içerisinde beş elektrona sahiptir. Bu nedenle s^1p^3 hibrit yörüngeleri arasında kovalent bağ oluşur. Bu kovalent bağ oluşumu için her V. grup atomu III. grup atomuna bir elektron verir.

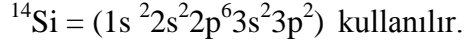


İndiyum fosfatın temel bağ kuvveti kovalent bağ kuvvetidir. Her bir In^- iyonu ve çevresindeki 4 P^+ iyonu arasında ya da her bir P^+ iyonu ve çevresindeki 4 In^- iyonu arasındaki elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı InP 'nin iyonik bağ karakteri vardır.

Düşük sıcaklıklarda elektronlar dörtyüzlü örgü içerisine bağlı olduklarından iletkenlik özelliklerini kaybederler. Yüksek sıcaklıklarda ısısal titreşimler nedeniyle bazı bağları kırarlar bu nedenle bazı elektronlar değerlik bandında boşluklar bırakarak değerlik

bandından iletim bandına geçerler. Elektrik alan varlığında, iletim bandındaki bu elektronlarla değerlilik bandındaki boşluklar kinetik enerji kazanırlar ve elektriği iletirler.

Yarıiletkenleri n-tipi veya p-tipi haline getirmek için doping elementleri kullanılır. InP yarı iletkeninde doping olarak



Şekil' de ki kristal yapıda, In atomunun yerine Si atomu yerleştiğinde ortamda elektron fazlalığı olacağından n-tipi InP (n-InP), P atomunun yerini Si atomu aldığıında ortamda elektron boşluğu artacağından p-tipi InP (p-InP) elde edilir.

Tablo 3.1. InP' nin materyal özellikleri

Materyal Özellikleri	InP
Yapı	F43 m
Uzay grubu	0,58688 nm
300 K' deki örgü parametresi a_0	0,254 nm
300 K' deki yoğunluğu	4,791 g/cm ³
Dielektrik sabiti	12,4
Enerji bant aralığının yapısı	Direkt
300 K' deki enerji bant aralığı	1,344 eV
1.6 K' deki enerji bant aralığı	1,424 eV
Elektron etkin kütlesi	0,08 m_0
Boşluk etkin kütlesi	0,12 m_0

3.6. Deneysel İşlemler

3.6.1. Kristalin Temizlenmesi

Bu çalışmada (1 0 0) doğrultusunda büyütülmüş $1-5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ taşıyıcı yük yoğunluğuna sahip p tipi InP kullanılmıştır. Diyot yapımında güvenilir sonuç alabilmek için numunenin organik ve mekanik kirlere arındırılması son derece önem taşır. Kimyasal olarak temizlemek için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

1. Trikloretilende ultrasonik olarak 5 dakika kaynatıldı.
2. Asetonda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
3. Metanolda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
4. H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O (3:1:1) solüsyonunda 60 saniye bekletildi.
5. HF % 49: H_2O (1:1) solüsyonunda 60 saniye bekletildi.

Tüm aşamalardan sonra numune deiyonize suyla durulandı ve azot (N_2) gazı ile kurutuldu.

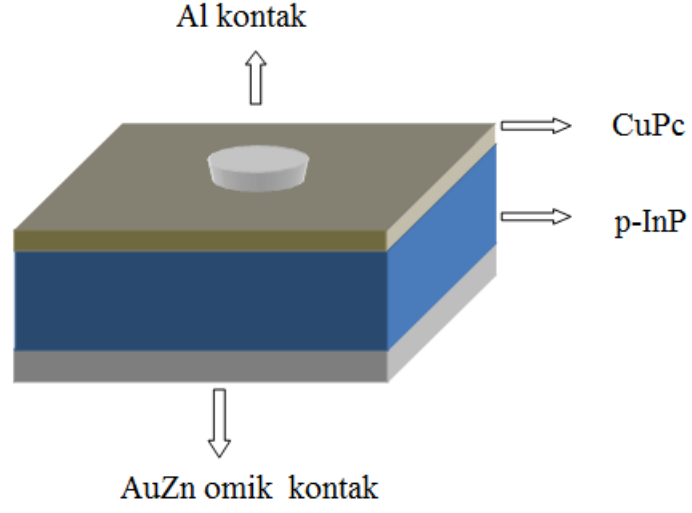
3.6.2. Schottky Diyotların Hazırlanması

İlk önce numunenin mat yüzeyine Au:Zn (%90-%10) alaşımından omik kontak yapıldı. Bunun için önce ısıtıcı pota % 10 seyreltiklikte HCl ile sonrasında deiyonize su ile iyice yıkandı ve temizlenip azot N_2 gazı ile kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma cihazına yerleştirilerek yakıldı. Kimyasal olarak temizlenen ve omik kontak yapımı için kullanılacak olan Au:Zn alaşımı ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra yarıiletken numune, vakum cihazındaki yerine mat yüzeyi yukarıda kalacak şekilde yerleştirildi. Yarıiletken numune 5×10^{-6} torr basınçta vakuma alınarak mat yüzeyine metal alaşım buharlaştırıldı. Vakum ortamından alınan yarıiletken numune N_2 ortamında 425°C ' de 3 dakika tavlansak omik kontak yapımı tamamlanmış oldu.

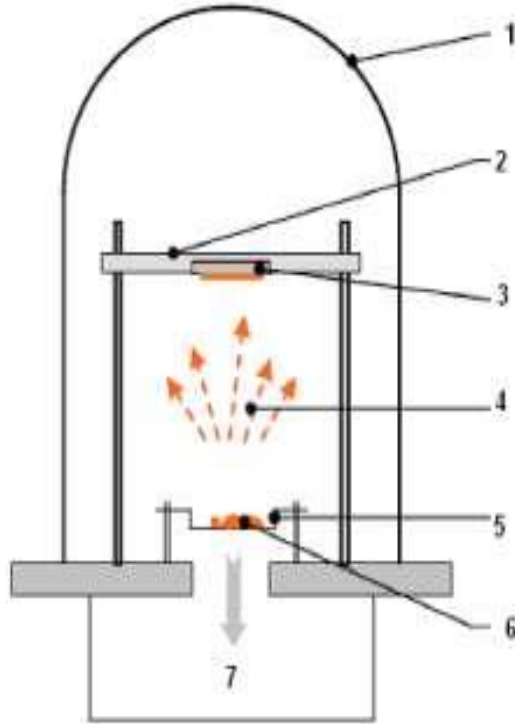


Şekil 3.9. Tavlama işleminin gerçekleştirildiği fırın

Omik kontaktların oluşturulmasından sonra yarıiletken iki parçaya ayrıldı. Muhtemel oksitlenmeye karşı bu iki parça, önce seyreltik HF:H₂O (1:10) çözeltisi ile numunenin parlak olan ön tarafı temizlendi. 18 MΩ dirençli deionize suda yıkandı ve azot (N₂) ortamında kurutuldu. Organik film oluşturmak için temizlenen numune parlak yüzeyi üstte kalacak şekilde vakum cihazındaki yerine yerleştirildi. Yarıiletken numune 10⁻⁶ torr basınçta vakuma alınarak parlak yüzeyine bakır fitalosiyanın (CuPc) maddesi buharlaştırıldı. Böylece organik film elde edildi. Elde edilen organik CuPc/p-InP yapı doğrultucu kontak oluşturmak için tekrardan vakum cihazına yerleştirildi. Diyotumuzun bakır fitalosiyanın (CuPc) maddesinin kaplı olduğu yüzeyin üzerine 5 x 10⁻⁶ torr basınç altında %99,9 saflığında alüminyum (Al) metali buharlaştırılarak Al/CuPc/p-InP/AuZn yapısı elde edildi.



Şekil 3.10. Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotunun şematik gösterimi



Şekil 3.11. Termal buharlaştırma sisteminin şematize edilmiş hali, 1. Vakum odası, 2. Altlık tabakası, 3. Numune tutucu, 4. Metal buharı, 5. Isıtıcı filaman, 6. Buharlaştırılacak metal



Şekil 3.12. Termal buharlaştırma cihazı

3.6.3. Deney ve Ölçüm Sistemi

Diyotumuzun akım-gerilim ($I-V$) ölçümleri Şekil 3.13'te görülen Keithley 2400 sourcemeter cihazı ile yapıldı. Yapılan ölçümler sonucunda diyotumuzun doğrultucu özelliğe sahip olduğu görüldü. Aydınlık ortamda yapılan ölçümler de güneş simülatörü kullanıldı.



Şekil 3.13. Keithley 2400 Sourcemeter ve güneş simülatörü

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri

Belirli bir V potansiyeli altında tutulan bir diyottan geçen akım,

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

ifadesi ile verilmektedir (Ziel 1968). Bu ifadede $eV \gg nkT$ olması durumunda 1 terimi, üstel terim yanında ihmal edilebilir. Denklemin yeni hali,

$$I = I_0 \exp\left(\left(\frac{eV}{nkT}\right)\right) \quad (4.2)$$

şeklindedir. (4.2) ifadesinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp, sonra da V 'ye göre türevi alınırsa idealite faktörü için,

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

ifadesi elde edilir. Burada e elektronun yükü ($1,6 \times 10^{-19}$ C), k Boltzmann sabiti ($8,625 \times 10^{-5}$ eV/K) ve T sıcaklıktır. $\ln I - V$ grafiği çizildiğinde, grafiğin düz beslem tarafındaki lineer kısmına bir doğru fit edilerek bu doğrunun eğiminden $dV/d(\ln I)$ elde edilir.

Bu değerle birlikte yukarıdaki sabitler de (4.3) ifadesinde yerine yazılarak idealite faktörü değerleri diyotlar için hesaplanabilir. Fit edilen doğrunun $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği noktadan I_0 doyma akımı elde edilir.(4.2)'deki I_0 doyma akımı,

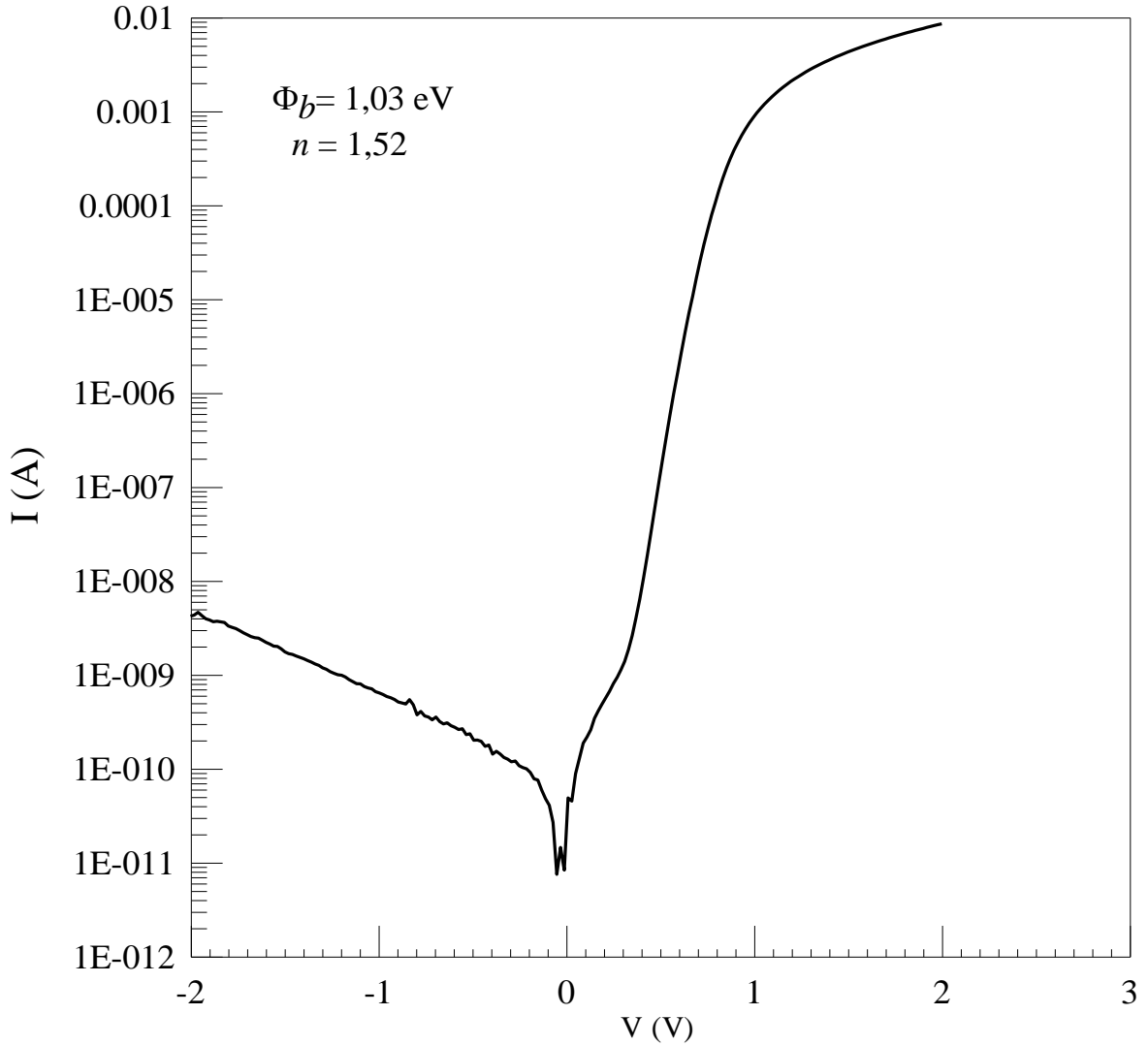
$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitliğin her iki tarafının tabii logaritması alınıp Φ_b 'ye göre çözümlerse (4.5) ile verilen engel yüksekliği

$$\Phi_b = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.5)$$

İfadesi elde edilir. Burada A ; diyotun alanı ($A=1,767 \text{ cm}^2$), A^* Richardson sabiti (p-InP için $A^*=60 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$), k Boltzman sabiti ($k=8,625 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), T Kelvin cinsinden numunenin sıcaklığıdır. Doyma akım yoğunluğu ve Schottky engel yüksekliği sırasıyla (4.4) ve (4.5) eşitlikleri ile hesaplanabilir. $\ln I-V$ grafiğindeki doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan doyma akım yoğunluğunun değeri elde edilebilir.

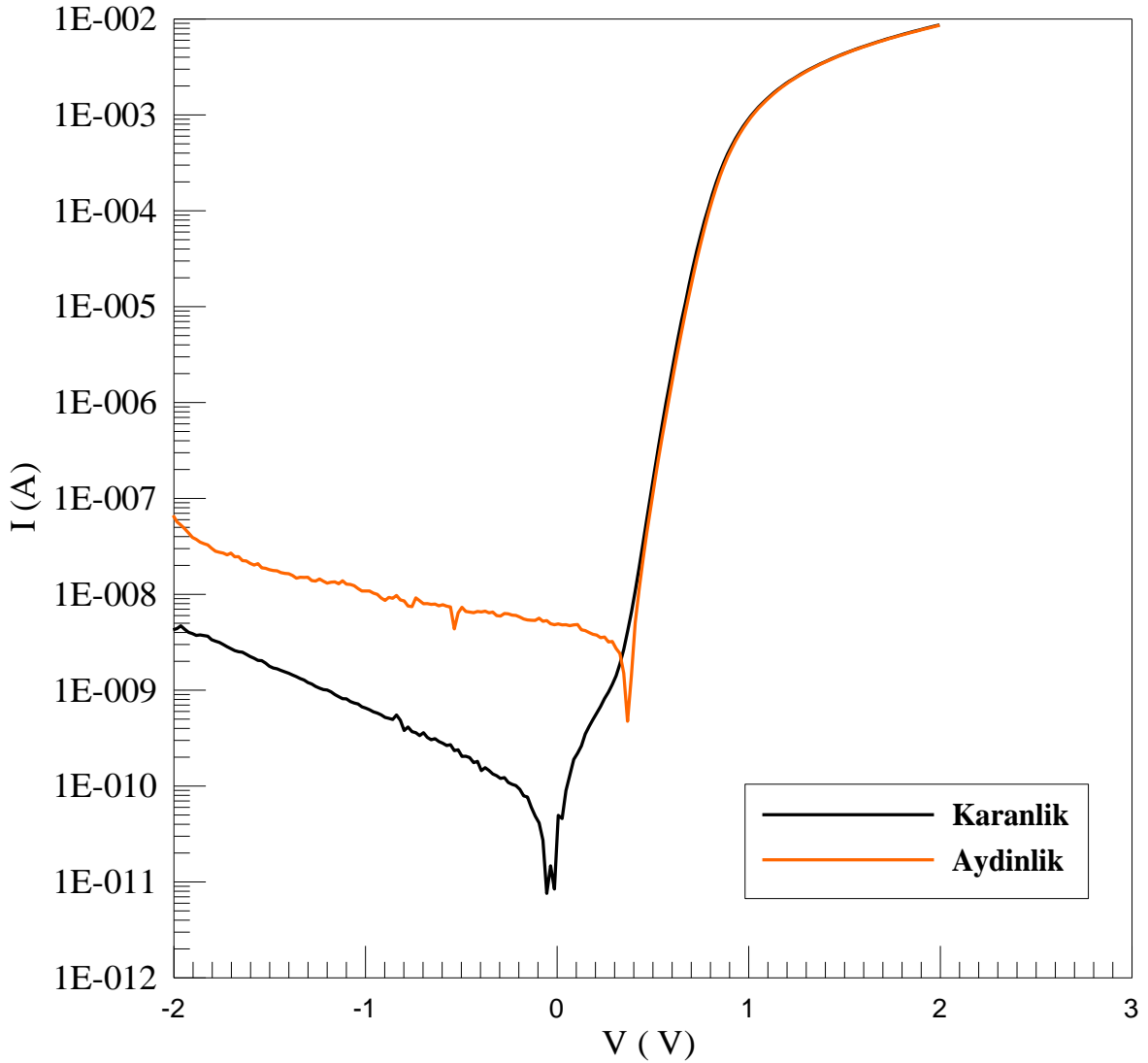
Yapılan hesaplamalar sonucunda diyotumuzun engel yüksekliği 1,03 eV, idealite faktörü 1,52 olarak bulundu.



Şekil 4.1. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotunun karanlık ortamda $I-V$ grafiği

4.2. Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi

Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotunun aydınlık ortamdaki I - V ölçümleri AM1,5 global filtreye sahip güneş simulatörü altında $-0,5$ V' da 100 mW/cm² ışık kullanılarak gerçekleştirildi. Bu ölçümler doğrultusunda diyotumuzun fotodiyot özellik gösterdiği görüldü. Diyotumuzun açık devre voltajı $V_{oc}=0,37$ V ve kısa devre akımı $I_{sc}= 0,018$ μ A olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2 bu ölçümlere ait karanlık ve aydınlık ortam kıyaslamalı I - V grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.2. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotunun karanlık ve aydınlık ortamda lnI - V grafiği

4.3. Norde Fonksiyonu Yardımıyla Engel Yüksekliği Ve Seri Direnç Değerlerinin Bulunması

Norde fonksiyonu şöyle yazılabilir,

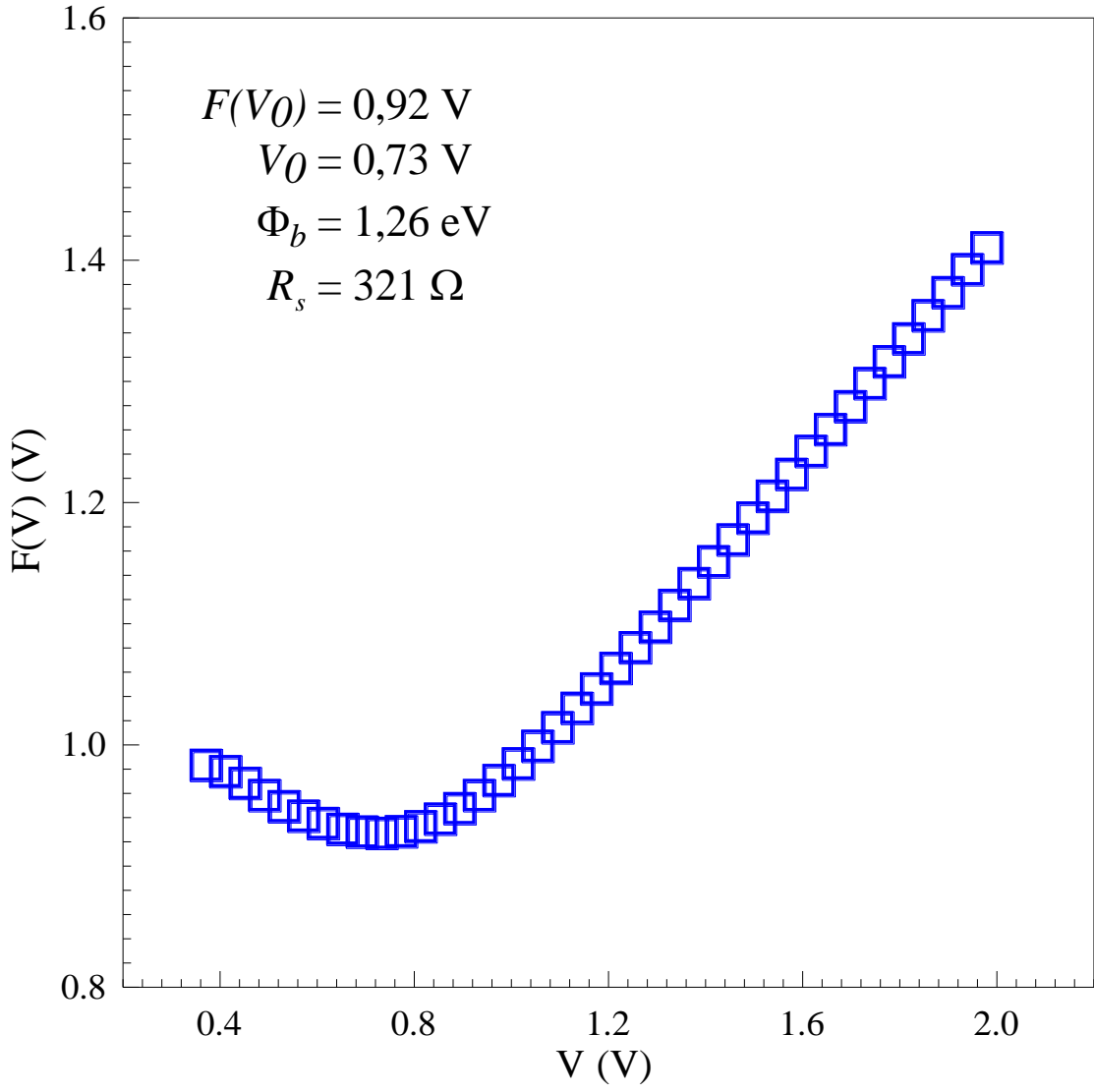
$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.6)$$

Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tam sayıdır. $I(V)$ ifadesi $I-V$ eğiminden elde edilen akım değeridir. Yapmış olduğumuz çalışmada idealite faktörünü 1,52 olarak hesapladık. Bu yüzden γ değeri 2 olarak alınır.

Norde metodunda engel yüksekliği ifadesi

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{e} \quad (4.7)$$

olarak verilir. Burada $F(V_0)$ ifadesi $F-V$ grafiğinin minimum $F(V)$ değeridir. Yapılan hesaplamalarda bu değer 0,92 V olarak bulundu. V_0 ise bu değere karşılık gelen gerilim değeridir ve 0,73 V olarak hesaplandı. Bu değerler yardımı ile Φ_b engel yüksekliği ifadesi 1,26 eV olarak bulundu. Norde metodu ile seri direnç değeri denklem (3.42) yardımıyla 321 Ω olarak hesaplandı.



Şekil 4.3. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $F(V)$ - V grafiği

4.4. Cheung Fonksiyonları ile Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Cheung fonksiyonları

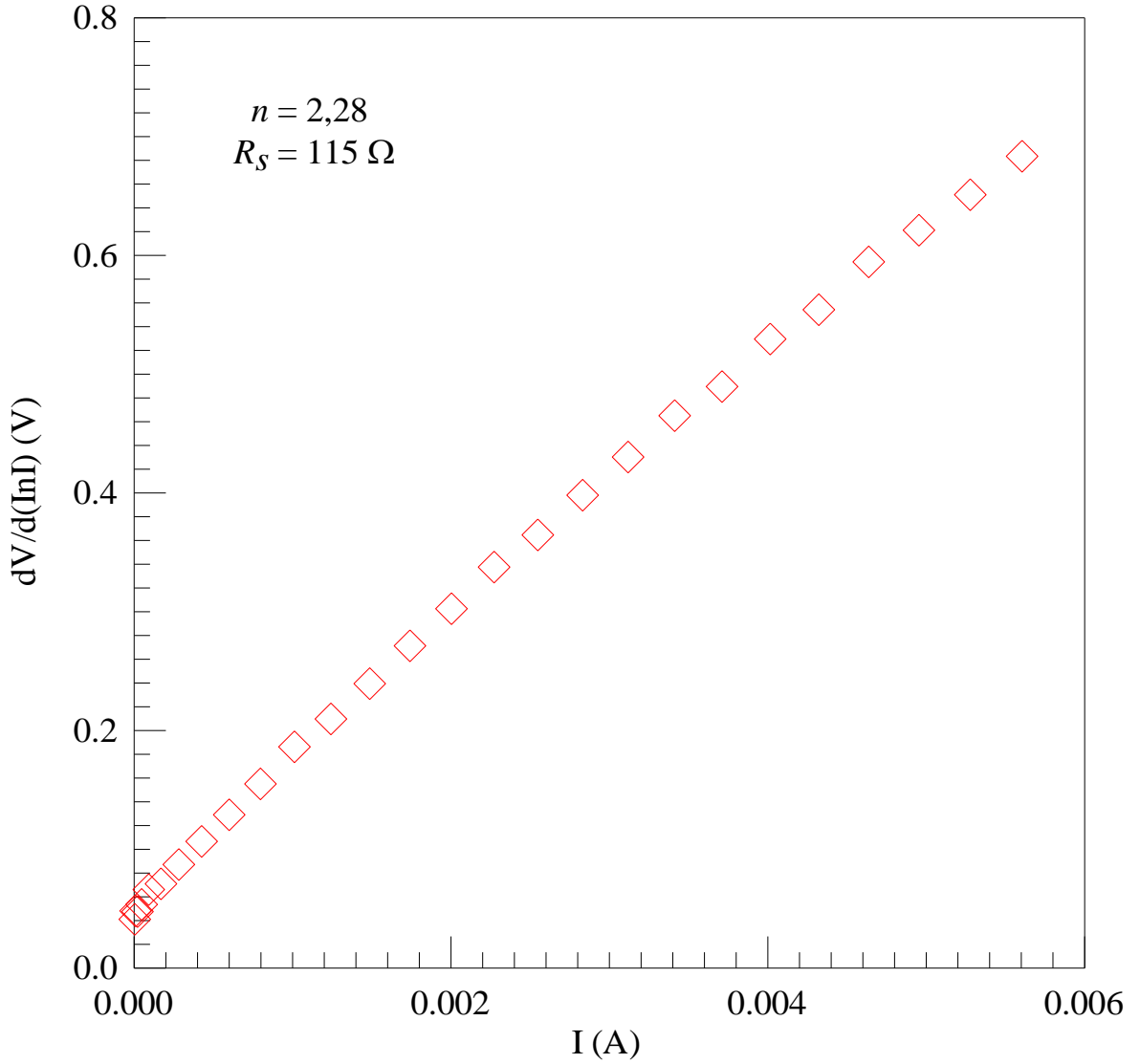
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + I \cdot R_s \quad (4.8)$$

ve

$$H(I) = n\phi_{bn} + I \cdot R_s \quad (4.9)$$

kullanılarak seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği yeniden elde edildi.

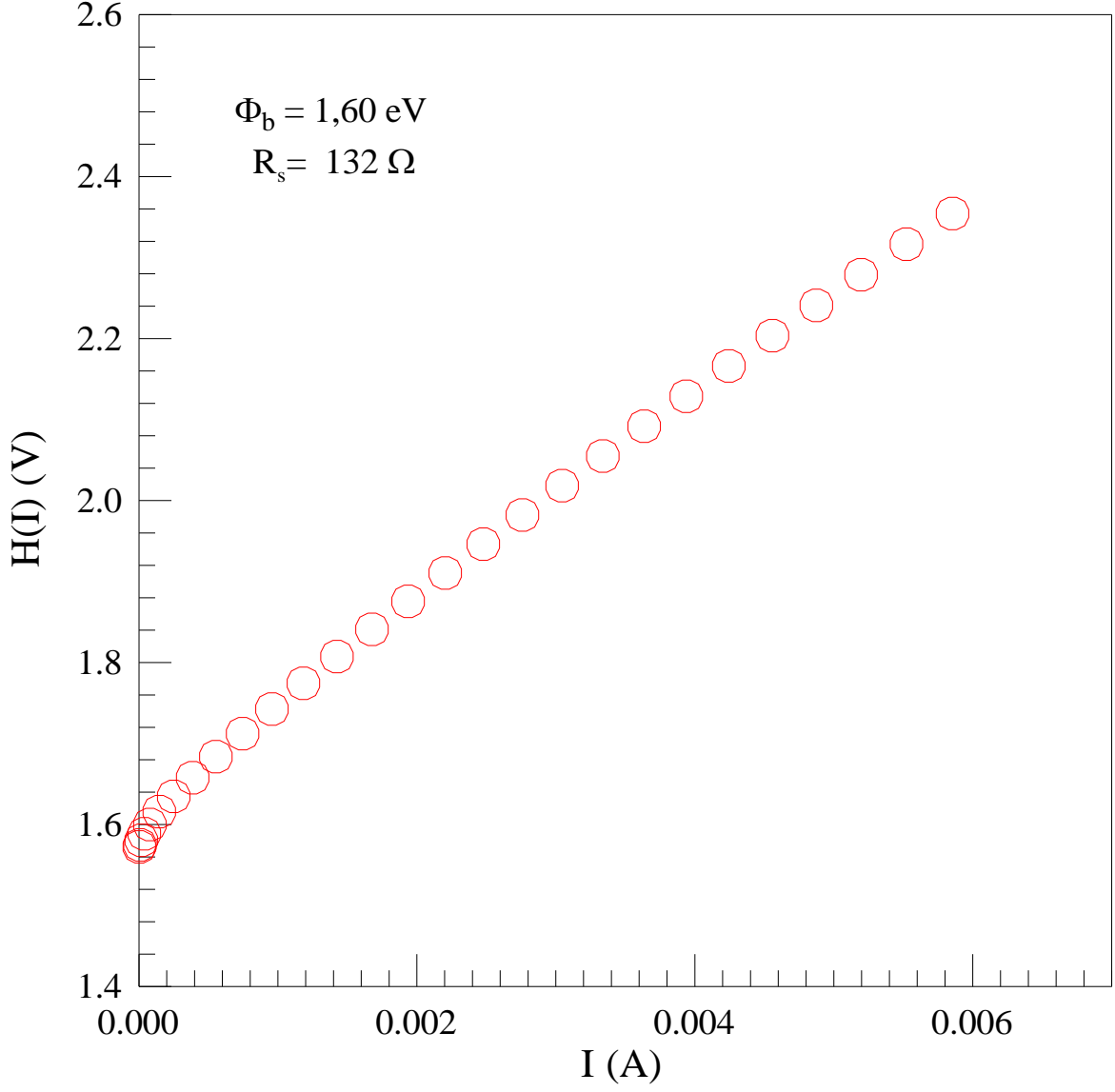
Cheung fonksiyonlarına ait $\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ grafiği şekilde görülmektedir. $\frac{dV}{d(\ln I)} - I$ grafiğinde; $I=0$ düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü, eğiminden de seri direnç değeri bulundu. Bu yöntem ile numunenin idealite faktörü 2,28 ve seri direnç değeri ise 115Ω olarak bulundu.



Şekil 4.4. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait $dV/d(\ln I)-I$ grafiği

$H(I)-I$ grafiğinde ise doğrunun $I=0$ düşey eksenini kestiği noktadan engel yüksekliği ($n\phi_{bn}$) elde edilir. Bura da n değeri denklem (4.3)'ten bulduğumuz $n=1,52$ olan değerdir.

Bulduğumuz ϕ_b değeri 1,60 eV dir. Bu grafik te doğrunun eğimi ise bize yine seri direnç değerini verecektir. Bulduğumuz R_s değeri ise 132 Ω dur.



Şekil 4.5. Al/CuPc/p-InP/Au-Zn diyotuna ait H(I) – I grafiği

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada (1 0 0) doğrultusunda büyütülmüş $1-5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ yoğunluğuna sahip p tipi InP kullanıldı. p tipi InP kristaline kimyasal temizlik yapıldıktan sonra Au:Zn (%90-%10) alaşımı yüksek vakum ortamında buharlaştırılıp, $425 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de kuarz fırında tavlanarak omik kontak yapıldı. Daha sonra omik kontağı hazırlanan numunenin parlak yüzeyine yüksek vakum ortamında bakır fitalosiyenin (CuPc) maddesi buharlaştırıldı. Numune tekrardan vakum ortamına alınıp bakır fitalosiyeninli organik tabakanın üzerine Al (alüminyum) buharlaştırılarak Al/CuPc/p-InP/AuZn yapısı elde edildi.

Diyotumuzun engel yüksekliği, idealite faktörü gibi parametreleri termoiyonik emisyon teorisi göz önünde bulundurularak ve diyotun doğru beslem $\ln I-V$ grafiğinin doğrusal kısmından faydalanarak engel yüksekliği ve idealite faktörü sırasıyla 1,03 eV, olarak 1,52 olarak bulundu. İdealite faktörü, bir diyotun ideale ne kadar yakın olduğunu gösterir. İdealite faktörü 1 değerine yaklaştıkça diyotun o derece idealliğe yaklaştığı ve idealite faktörü 1'den uzaklaştıkça diyotun da ideallikten uzaklaştığı şeklinde yorumlanabilir. Diyotumuzun idealite faktörünün 1 den büyük çıkması kullandığımız ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direnç etkisine dayandırılabilir.

Ejderha ve arkadaşları Ni/p-InP Schottky diyotlarının 300 K'de idealite faktörünü 1,27, 400 K'de ise 1,13 olarak ölçülmüştür. İdealite faktörünün 1'den büyük olması metal-yarıiletken ara yüzeyinde oksit tabakanın varlığını göstermiştir. (Ejderha ve ark. 2010).

Kumta ve arkadaşları, idealite faktörünün birden büyük olmasını diyotların doğrultucu kontak tarafında metal ile yarıiletken arasında az da olsa bir yalıtkan (oksit yani kimyasal bir kirlilik) tabakanın olduğunu gösterir (Kumta ve ark., 2006). Chattopadhyay, idealite faktörlerinin birden büyük olmaları; omik kontak direncinin büyüklüğü, arayüzey hallerinin yoğunluğu ve nötral bölgenin seri direncin büyüklüğü gibi faktörlerle doğru orantılıdır (Chattopadhyay, 1993).

Seri dirençten dolayı Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotumuzun $\ln I-V$ grafiği yüksek voltajlarda lineerlikten sapmaktadır. $\ln I-V$ grafiğinin doğrusal olmayan kısmından faydalanılarak Norde metodu ile $F(V)-V$ ve Cheung metodu ile de $d(V)/d(\ln I)-I$ ve $H(I)-I$ Cheung fonksiyonları grafikleri çizildi. Norde metodu yardımıyla seri direnç değeri $321 \text{ } \Omega$ ve engel yüksekliği 1,26 eV olarak hesaplandı. Cheung metodu ile $d(V)/d(\ln I)-I$ grafiği yardımıyla

seri direnç değeri 115Ω ve idealite faktörü 2,28, $H(I)-I$ grafiği yardımıyla da seri direnç değeri 132Ω ve engel yüksekliği 1,60 eV olarak hesaplandı. Cheung metodu ile hesaplanan idealite faktörünün $\ln I-V$ grafiğinden hesaplanan idealite faktöründen büyük çıkması seri direncin ve ara yüzey durumlarının etkisine bağlanabilir. Ayrıca Norde metodu ile hesaplanan seri direncin Cheung metodu ile hesaplanan seri dirençten büyük olması Norde fonksiyonlarının tüm doğru beslem değeri üzerinde hesaplanırken, Cheung fonksiyonlarında sadece seri direnç bölgesinin hesaba katılabilir(Ocak, 2010).

Hazırladığımız Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotun fotovoltaiik parametreleri 100 mW/cm^2 ışık şiddeti altında ve AM 1,5 filtreye sahip güneş similatörü kullanılarak açık devre voltajı $V_{oc}=0,37 \text{ V}$ ve kısa devre akımı $I_{sc}= 0,018 \mu\text{A}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2 $I-V$ grafiğinde görüldüğü gibi ters beslem de aydınlanma altındaki akım karanlıktaki akıma göre daha yüksektir. Dolayısıyla hazırlamış olduğumuz Al/CuPc/p-InP/AuZn diyotu ışığa karşı duyarlılık göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. **Aksoy, F.**, 2005. Kimyasal püskürtme yöntemiyle elde edilen InP ince filmlerinin elektrik , optik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
2. **Asubay, S., Güllü, Ö. and Türüt, A.**, 2009. Determination of the laterally homogeneous barrier height of metal/p-InP Schottky barrier diodes, *Vacuum*, **83**, 1470-1474.
3. **Bekaroğlu, Ö.**, 1996. Phthalocyanines Containing Macrocycles, *Appl. Organometalic Chem.*, **10**, 605–622.
4. **Chattopadhyay, P., Raychaudhuri, B.**, 1993. Frequency Dependence of Forward Capacitance Voltage Characteristics of Schottky Barrier Diodes, *Solid-State Electron*, **36**, 605-610.
5. **Chen, L.L., Li, W.L., Wei, H.Z., Chu, B. and Li, B.**, 2006. Organic ultraviolet photovoltaic diodes based on copper phthalocyanine as an electron acceptor, *Solar Energy Metals and Solar Cells*, **90**, 1788-1796.
6. **Cheung, S. K. and Cheung, N. W.**, 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 85-87.
7. **Cimilli, F.E.**, 2009. Ag/n-InP/In, Au/n-InP/In ve Cd/n-InP/In Schottky diyotların akım-voltaj ve kapasite-voltaj ölçümlerinden elde edilen karakteristik parametreler üzerine numune sıcaklığının ve termal tavlamanın etkileri, Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
8. **Cronshaw, C. J. T.**, 1942. Les Phthalocyanines., *Endeavour*, **1**, 79-83.
9. **Çelik, G.**, 2006. n-InP yarıiletkeni üzerine Schottky diyotun yapımı ve diyotun akım-voltaj ve kapasitans-voltaj özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
10. **Dündar, D.**, 2006. Ftalosiyeninlerin fotoiletkenlik özelliklerinin incelenmesi ve güneş pili olarak uygulanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
11. **Daw, K. and Chattopadhyay, P.**, 1991. Control of Barrier Height of MIS Tunnel Diodes Using Deep Level Impurities, *Solid-State Electron*, **34**, 367-371.

12. **Ejderh, K., Yıldırım, N., Türüt, A. and Abay, B.,** 2010. Influence of interface states on the temperature dependence and current-voltage characteristics of Ni/p-InP Schottky diodes, *Superlattices and Microstructures*, **47**, 241-252.
13. **El-Nahass, M.M., Abd-El-Rahman, K.F., Farag, A.A.M. and Darwish, A.A.A.,** 2005. Photovoltaic properties of NiPc/p-Si (organic/inorganic) Heterojunctions, *Organic Electronics*, **6**, 129-136.
14. **El-Nahass, M.M., Abd-El-Rahman, K.F. and Darwish, A.A.A.,** 2007. Fabrication and electrical characterization of p-NiPc/n-Si heterojunction, *Microelectronics Journal*, **38**, 91-95.
15. **El-Nahass, M. M., Zeyada, H.M., Aziz, M.S. and El-Ghamaz, N.A.,** 2005. Carrier transport mechanisms and photovoltaic properties of Au/p-ZnPc/p-Si solar cell, *Solid-State Electronics*, **49**, 1314-1319.
16. **Güllü, Ö., Türüt, A.,** 2008. Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **92**, 1205-1210.
17. **Güllü, Ö.,** 2010. Ultrahigh (100%) barrier modification of n-InP Schottky diode by DNA biopolymer nanofilms, *Microelectronic Engineering*, **87**, 648-651.
18. **Güllü, Ö., Aydoğan, S. and Türüt, A.,** 2012. Electronic parameters of high barrier Au/Rhodamine-101/n-Inp Schottky diode with organic interlayer, *Thin Solid Films*, **520**, 1944-1948.
19. **Güllü, Ö., Kılıçoğlu T. and Türüt A.,** 2010. Electronic Properties Of The Metal/Organic Interlayer/Inorganic Semiconductor Sandwich Device, *J. Phys. and Chem. Solid*, **71**, 351-356.
20. **Gupta, R.K., Yakuphanoglu, F., Ghosh, K. and Kahol, P.K.,** 2011. Fabrication and characterization of p-n junctions based on ZnO and CuPc, *Microelectronic Engineering*, **88**, 3067-3069.
21. **Hamidi, Ş.,** 2011. Organik yarıiletken/İnorganik yarıiletken heteroeklem diyodunun elektriksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
22. **Karataş, Ş. ve Altındal Ş.,** 2004. İdeal Olmayan Schottky Diyotlarının Temel Parametrelerinin Akım-Voltaj (*I-V*) Karakteristiklerinden Hesaplanması. *Fen ve mühendislik dergisi*.

23. **Kılıçoğlu, T. ve Asubay S.**, 2005. The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/AuSb Schottky barrier diodes, *Physica B.*, **58**, 368.
24. **Korucu, D., Türüt, A., Turan, R. and Altındal, Ş.**, 2013. Origin of forward bias capacitance peak and intersection behavior of C and G/w of Ag/p-InP Schottky barrier diodes, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **16**, 344-351.
25. **Kumta, A., Rusli, E., Tin, C.C. and Ahn J.**, 2006. Desing of field-plate terminated 4H-SiC Schottky diodes using high- k dielectrics. *Microelectronic reliability*, **46**, 1295-1302.
26. **Kutluca, H.**, 2007. Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara.
27. **Kwong, C. Y., Djuriié, A. B., Lam, L.S.M. and Chan, W. K.**, 2003. Organic Photovoltaics III, Zaky H. Kafafi, Editor, *Proceedings of SPIE*, **4801**.
28. **Ocak, Y.S.**, 2010. Organik-İnorganik Hibrit Yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karakterizasyonu, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
29. **Ocak, Y.S., Kulakçı, M., Turan, R., Kılıçoğlu, T. and Güllü, Ö.**, 2011. Analysis of electrical and photoelectrical properties of ZnO/p-InP heterojunction, *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, 6631-6634.
30. **Ozan, N.**, 1999. 2, 4, 6-Tris[Amino-Hekzakis(Hekziltio) fitalosiyenin] – S-Triazin Sentesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
31. **Pauling, L.**, 1962. *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd edition, New York, Cornell University Pres.
32. **Rajaputra, S., Sagi, G. and Singh, V. P.**, 2009. Schottky diode solar cells on electrodeposited copper phthalocyanine films, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **93**, 60-64.
33. **Rhoderick E.H. and Williams R.H.**, 1988. *Metal-Semiconductor Contacts*, Claredon Pres, Second Edition, Oxford.
34. **Sing A., Cova, P. and Masut R.A.**, 1994. Reverse $I-V$ and $C-V$ characteristics of Schottky- Barrier type diodes on Zn doped InP epilayers grown by metal organic vapor-phase epitaxy, *J. Appl. Phys.*, **76**, 2336-2342.

35. Singh, V.P., Singh, R.S., Parthasarathy, B., Aguilera, A., Anthony J. and Payne, M., 2005. Copper-phthalocyanine-based organic solar cells with high open-circuit voltage, Appl. Phys. Lett., **86**, 082106
36. Soylu, M., 2007. Au/n-InP ve Au/Pyronine-B/n-InP Schottky yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu, Doktora tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
37. Stallinga, P., Gomes, H.L., Murgia, M. and Müllen K., 2002. Interface state mapping in a Schottky barrier of the organic semiconductor terrylene, Org. Electron., **3**, 43-51.
38. Tataroğlu, A. and Altındal, Ş., 2006. Characterization of current-voltage (*I-V*) and capacitance-voltage-frequency (*C-V-f*) features of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes, Microelectronic Engineering **83**, 582-588.
39. Temirci, C., 2000. Anodik oksidasyon metoduyla yüksek engelli ve yüksek pasivasyonlu Sn/P-Si schottky diyotlarının fabrikasyonu, Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
40. Vearey-Roberts, A. R. and Evans, D. A., 2005. Modification of GaAs Schottky diodes by thin organic interlayers, Appl. Phys. Lett., **86**, 072105.
41. Werner, J. H. and Güttler, H. H., 1991. Barrier Inhomogeneities at Schottky Contacts, J. Appl. Phys., **69**, 1522-1533.
42. Williams, R. H., Montgomery V., Varmo R. R. and Mckinley, A., 1977. The influence of interfacial layers on nature of gold contacts to Si and InP, J. Phys. D, **10**, 253-256.
43. Yakuphanoglu, F., 2007. Electrical Characterization and Interface State Density Properties of the ITO/C₇₀/Au Schottky Diode, J. Phys. Chem. C, **111**, 1505-1507.
44. Yakuphanoglu, F., Kandaz, M., Yaraşır, M. N. and Şenkal, B.F., 2007. Electrical transport and optical properties of an organic semiconductor based on phthalocyanine, Physica B., **393**, 235-238.
45. Yakuphanoglu, F., Kandaz, M. and Şenkal, B.F., 2008. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Al/p-type silicon/organic semiconductor based on phthalocyanine rectifier contact, Thin Solid Films, **516**, 8793–8796.

- 46. Yıldız, M.,** 2012. Çinko Ftalosiyanin tabanlı heteroeklemin elektriksel özelliklerinin belirlenmesi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- 47. Ziel, A. V.,** 1968, Solid State Physical Electronics, (Prentice-Hall New-Jersey), p.245.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2006 yılında yükseköğrenimine Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde başladı. 2008 yılında Çift ana dal programı kapsamında Matematik bölümünü de okumaya hak kazandı. 2011 yılında Fizik ve 2012 yılında Matematik bölümünden mezun oldu. 2011- 2012 yılları arasında Pedagojik Formasyon Eğitimini tamamladı. 2011 yılında Batman Üniversitesi-Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.