

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK (1,4-m-diamin) ARAYÜZEYLİ n-Si SCHOTTKY
DİYODUN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT GÖZEN

FİZİK ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Nezir YILDIRIM**

BİNGÖL-2017

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORGANİK (1,4-m-diamin) ARAYÜZEYLİ n-Si SCHOTTKY
DİYODUN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat GÖZEN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 18.09.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Sezai ASUBAY
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Nezir YILDIRIM
Üye

Yrd. Doç. Dr.
Kadir EJDERHA
Üye

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Öncelikle tez çalışmasına desteklerinden dolayı, Dicle Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarı personel ve hocalarına, aynı üniversitede öğretim üyesi olan Prof. Dr. Hamdi TEMEL'e, yine deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK'a ve çalışmalarda katkılarından dolayı Batman Üniversitesi Araş. Gör. Ahmet TOMBAK'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı danışmanım Prof. Dr. Nezir YILDIRIM'a ve ilk danışmanım Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anneme, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime, kızıma ve oğluma özellikle teşekkürü bir borç bilirim.

Murat GÖZEN

Bingöl 2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOD	6
3.1. Giriş	6
3.2. Bazı Temel Tanımlar	7
3.3. Metal /Yarıiletken Kontaklar	7
3.3.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	9
3.3.2. Metal /n-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar	11
3.4. Termiyonik Emisyon Teorisi	12
3.5. Schottky Diyotlarda Seri Direnç Etkisi ve Cheung Foksiyonları	16
3.6. Norde Fonksiyonları Yardımı ile Schottky Diyot Karakterizasyonu	18
3.7. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri	19
3.7.1. Soğurma Olayı, Doğrudan ve Dolaylı Geçişler	19
3.7.2. Doğrudan Bant Geçişi	20
3.7.3. Dolaylı Bant Geçişi	21
3.8. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi	22
3.9. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu	23
4. DENEYSEL İŞLEMLER	26
4.1. Kristal Temizlenmesi	26

4.2. 1,4-m-diamin Çözeltisinin Hazırlanması ve Sentezi	26
4.3. Cam Üzerine İnce Film Oluşturulması	28
4.4. Schottky Kontakın Oluşturulması	29
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	30
5.1. Giriş	30
5.2. 1,4-m-diamin Molekülünün Fiziksel Ölçümleri	30
5.3. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri ve Hesaplamalar	31
5.4. Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi	36
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A^*	: Richardson sabiti
A_d	: Diyotun etkin alanı
d	: Schottky tabaka kalınlığı
E_c	: İletkenlik bandının tabanı
E_c	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ph}	: Foton enerjisi
E_v	: Valans bandının tavanının enerjisi
$F(V)$: Norde fonksiyonu
$F(V_o)$: Norde fonksiyonunun minimum değeri
F_b	: Schottky engel yüksekliği
F_m	: Metalin iş fonksiyonu
F_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
h	: Planck sabiti
I_o	: Doyma akımı
$I-V$: Akım-gerilim
J_0	: Ters beslem doyma akım yoğunluğu
$J_{m \rightarrow s}$: Metalden Yarıiletkene Akım Yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$: Yarıiletkenden Metale Akım Yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti
K	: Kelvin
LED	: Işık yayan diyot
m_h^*	: Boşluğun etkin kütlesi
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken kontak
m_n^*	: Elektronun etkin kütlesi
n	: İdealite faktörü
r	: Özdirenc

R_s	: Seri direnç
Si	: Silisyum
T	: Mutlak sıcaklık
TE	: Termoiyonik emisyon
V_{dif}	: Difüzyon potansiyeli
x	: İnce film kalınlığı
X_d	: Deplasyon genişliği
α_e	: Emisyon katsayısı
α_s	: Soğurma katsayısı
θ	: Işığın geliş açısı
χ	: Yarıiletkenin elektron ilgisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Kontaktan önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramı	9
Şekil 3.2.	Kontaktan sonra oluşan enerji-bant diyagramı	11
Şekil 3.3.	$\Phi_m < \Phi_s$) durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı a) kontaktan önce b) kontaktan sonra	12
Şekil 3.4.	$(\Phi_m < \Phi_s)$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı	12
Şekil 3.5.	Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı	13
Şekil 3.6.	Seri direncin I-V karakteristiğine etkisi	16
Şekil 3.7.	Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi	20
Şekil 3.8.	Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterimi (Ocak 2010)	22
Şekil 3.9.	Bir güneş piline ait eşdeğer devre ve akım gerilim grafiği	23
Şekil 3.10.	Güneş pilinin akım gerilim grafiği	24
Şekil 3.11.	Güneş pilinde maximum güç noktalarının gösterimi	25
Şekil 4.1.	3,3'-(bütan-1,4-diyl bis(oxy)) dibenzenamin (1,4-m-diamin) molekülü (Ellman et al. 1961)	27
Şekil 4.2.	UV 3600 Spektrometre cihazı	28
Şekil 4.3.	Al/1,4-m-diamin/n-Si/Au diyotunun şeması	29
Şekil 5.1.	1,4-m-diamin molekülünün $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği	31
Şekil 5.2.	Oda sıcaklığında ve karanlıkta yarı logaritmik akım-gerilim grafiği ile fit doğrusu	32
Şekil 5.3.	Norde yardımı ile çizilmiş F(V)-V grafiği	34
Şekil 5.4.	a) H(I)-I grafiği, b) $dV/d(\ln I)$ -I grafiği	35

Şekil 5.5.	Diyotun karanlık ve aydınlık ortamdaki ölçümleri sonucu çizilmiş lnI-V grafiği	37
Şekil 5.6.	Diyotun karanlıkta ve 100 mw/cm^2 ışık yoğunluğu altında akım gerilim grafiği	37
Şekil 5.7.	Diyotun 100 mw/cm^2 ışık yoğunluğu altında foto voltaik parametreleri	38
Şekil 5.8.	Keitley 2400 Sourcementer ve güneş simülatörü	38

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Diyotun farklı hesaplamalar ile elde edilmiş parametreleri	36
---	----

ORGANİK (1,4-m-diamin) ARAYÜZEYLİ n-Si SCHOTTKY DİYODUN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, 1,4-m-diamin molekülünün etanol kullanılarak oluşturulan çözeltinin n-Si üzerine damlatılması ve çözücünün buharlaştırılması ile elde edilmiş Al/1,4-m-diamin /n-Si Schottky diyodun akım gerilim ölçümlerinden oda sıcaklığında idealite faktörü 1,13 ve engel yüksekliği 0,82 eV olarak elde edilmiş. Norde Fonksiyonlarından seri direnç $7,213 \times 10^4 \Omega$ ve engel yüksekliği 0,83 eV bulunmuştur. Cheung modeliyle engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak maddenin yasak enerji aralığı $E_g = 3,95 \text{ eV}$ olarak hesaplandı. Bu yapının güneş simülatörü altında akım gerilim ölçümlerinden fotovoltajik parametreleri elde edildi. Elde edilen verilerden aygıtın fotodiyot özellik gösterdiği anlaşıldı.

Anahtar Kelimeler: Schottky diyot, 1,4-m-diamin, ince film, foto diyot.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ORGANIC INTERFACE (1,4-m-diamine) n-Si SCHOTTKY DIODE

ABSTRACT

In this study, we have investigated the effect of the 1,4-m-diamine molecule on the n-Si solution and the evaporation of the solvent by using the Al / 1,4-m-diamine / n-Si Schottky diode. Current voltage measurements were obtained at room temperature, ideality factor 1.13 and the barrier height 0.82 eV. From the Norde functions the series resistance and barrier height were found to be $7.213 \times 10^4 \Omega$ and 0.83 eV respectively. Cheung model obtained barrier height, ideality factor and series resistance values. Using data the forbidden energy gap of the substance was calculated as $E_g = 3.95 \text{ eV}$. Photovoltaic parameters were obtained from the current voltage measurements under solar simulator. From data it was understood that the device was photodiode-specific.

Keywords: Schottky diode, 1,4-m-diamine, thin film, photo diode.

1. GİRİŞ

Yarıiletken teknolojisindeki gelişmelerin ilk başlangıcı 1800 lü yılların son çeyreğinde olmuştur. İlk yarı iletken malzeme olarak kükürtlü kurşun kullanılmıştır. Daha sonra 1930 lu yıllarda Schottky tarafından yarı iletken maddelerin bilimsel izahı yapılmıştır. Ve aynı isim ile anılan Schottky diyotları günümüze kadar kullanılmıştır. Günümüzde geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Gelişmeğe müsait, kullanım alanları ve fonksiyonları gittikçe artmaktadır. Gerek bilgisayar çipleri gerek cep telefonu sim kartları da yarıiletken teknolojisi ile ve dolayısı ile katıhal fiziği ilgilidir. Bundan dolayı yarıiletken kullanım alanları oldukça yaygındır.

Şu anda kullanım alanlarının çokluğu noktasından iletken-yarıiletken maddeleri ilk yorumlayan bilim adamlarından olan Sze, Crowell, Spenke 'nin bile bu günkü durumu hayal etmiş olabileceğini düşünmek zor. II. dünya savaşında askeri amaçla radarlarda kullanılan metal- yarıiletken malzemeler günümüzde diyot olarak elektronik malzemelerde geniş kullanım alanları olduğu gibi temeli yarıiletken teknolojisi olan LED (Işık yayan diyot) lambalar, hafıza kartları gibi geniş bir kullanım alanları oluşmuştur. Ve yine başlı başına tez konuları, ders konusu veya başlı başına bilim dalı olabilen güneş hücrelerinin temelinde de yarı iletken teknolojisi vardır. En çokta bu saha gelişmeğe müsaittir. İnsanlar ister istemez bu sahada daha çok çalışma yapacak ve fotovoltatik pil verimliliğini geliştirecek, arttıracaktır. Bu sebeplerden dolayı malzeme iletkenliklerinin ve özelliklerinin ortaya konmuş olması ve onlar üzerinde çalışılmış olması gerekmektedir. (Rhoderick 1988, Sze 1981). Schottky diyotların elektriksel özellikleri genellikle ara yüzey özelliklerine göre tesbit edilir. Özel üretim değilse genellikle metal-yarıiletken ara yüzeyinde oksit tabaka oluşur. Bu tabaka Schottky kontakları metal/yalıtkan/yarıiletken(MIS) yapıya çevirir ve diyot karakteristiği tamamen buna bağlıdır. Ünlü fizikçi Alan Hegeer (2000 yılı Kimya Nobel ödülü sahibi) ve arkadaşlarının polimerlerin elektriksel özellikleri üzerine yaptığı çalışma bu sahada yeni bir çığır açılmasına sebep olmuştur. Bu çalışma ile organik malzemelerin inorganik

malzemeler yerine elektriksel ve optoelektronik aygıt yapımında kullanılabilmesi fikri doğmuştur. Özellikle maliyetinin düşük oluşu ve kolay üretilebilmesi açısından cazip görülmüştür. Yine, farklı amaçlarda kullanılan, farklı özelliklere sahip olan bileşiklerin sentezlenebilmesi ve geniş alanlarda kullanılabilmesi ihtimali doğmuştur. Bu da organik tabanlı elektronik ve optoelektronik aletlerin üretiminde organik maddelere olan ilgiyi arttırmıştır. Böylece Organik molekülleri bir başka organik molekül veya inorganik madde ile birçok farklı formülasyonlar ile birleştirmek mümkün olacaktır. Bunun sonucunda da çok farklı yapı ve özelliklere sahip elektriksel ve optik aygıtlar üretmek mümkün olacaktır (Ocak 2010).

Almanya ve ABD gibi ülkeler bu çalışmalarını daha çok yaptıklarından bu sahada diğer ülkelerden daha ileridedir. Ülkemizde fotovoltaiik pillerin verimliliği düşük yüzdeye sahip iken O ülkelerde bu oran daha yükseklerde olmuştur.

Bu çalışmada, 1,4-m-diamin molekülünün etanol kullanılarak oluşturulan çözeltisinin n-Si üzerine damlatılması ve çözücünün buharlaştırılması ile elde edilmiş Al/1,4-m-diamin /n-Si Schottky engel diyotunun idealite faktörü ve engel yüksekliği bulunmuştur. Bunun için öncelikle 1,4-m-diamin molekülünün etanol kullanılarak çözeltisi hazırlanmıştır. Bu organik çözelti Schottky diyot yapımında ve cam üzerine ince film yapımında kullanılmıştır. Schottky diyot oluştururken n-tipi Si kullanılmıştır. Termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak Schottky diyot (Al/1,4-m-diamin/n-Si) oluşturulmuştur. Oda sıcaklığında ve karanlık ortamda akım gerilim ölçümleri yapılmıştır. Bu sonuçlardan faydalanılarak akım-gerilim (I-V) grafiği çizilmiştir. Diyotun doğrultucu özelliği incelenmiştir. Norde Fonksiyonları kullanılarak seri direnç ve engel yüksekliği bulunmuştur. Diyotun foto elektriksel özelliği için Güneş simülatörü atındaki ölçümleri alınarak I-V grafiği çizilmiştir. Diyotun ışığa duyarlılığı incelenmiştir. Ve molekülün bant aralığı hesaplanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk metal-yarıiletken doğrultucu kontaklar, nokta kontak diyotları olmuştur. Nokta kontak diyotlardan sonra Schottky kontak diyotlar elde edilmiştir. Kısaca Schottky diyotları, alüminyum-silisyum birleşiminin silisyum tarafına metal buharlaştırılarak oluşturulan kontaklardır. Bu konu ile ilgili ilk çalışma 1870'li yıllara dayanmaktadır. İlk buluş 1874 yılında Braun'un demir sülfat ile yarıiletken arasındaki elektriksel iletkenliği bulmasına dayanır. Braun (1874) yaptığı metal-yarıiletken diyotları radyo detektörü, radar detektörü gibi alanlarda kullanmıştır.

Pickard (1906) silisyumu kullanarak nokta kontak detektör elde etmiştir. Pierce de (1907) yarıiletkenin yüzeyine metal püskürtmüş ve diyotun doğrultucu özelliklerini bulmuştur.

Schottky (1938) Poisson denkleminde göre elektrik alanın doğrusal artması, elektrostatik potansiyelin karesel değişebilmesi için sabit konsantrasyonlu yüklü kirliliklerin bulunduğu engel bölgesi görüşünü ileri sürmüştür. Davydov (1939) Schottky ile paralel düşünceler paylaşmıştır. II. Dünya Savaşında germanyum ve silisyum ile nokta kontak doğrultucular mikrodalga radarlarda kullanılmıştır.

Bethe (1942) termiyonik emisyon teorisinin(TE) metal yarıiletken doğrultucu kontaklara uygulanabileceğini göstermiştir. Bardeen (1947), ara yüzeyinin elektronik yapısı ile ilgili çalışma yapmıştır. Singh (1985) n-tipi yarı iletkenin üzerine nikelin buharlaştırılmasıyla elde edilen Schottky diyotların I-V, C-V karakteristiklerini belirlemiştir.

Morita (1990) metal-yarıiletken kontakların başka devre elemanlarıyla birlikte kullanımı, kontak yapımı sırasında yüzeyde oluşan doğal oksit tabakası üzerine çalışmalar yapmıştır. Benzer bir çalışmayı Çetinkara (1999) da yapmıştır.

Türüt (1992) metal-yarıiletkendeki ara yüzey tabakasının idealite faktörü ve engel yüksekliği üzerine etkilerini inceleyen çalışma yapmışlardır. Polyakov (1994) anodik oksidasyon yöntemiyle ürettikleri MIS diyotlarının özelliklerini incelemişlerdir.

Chattopadhyay (1995) Schottky diyotlarda engel yüksekliğini, uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak yüzey potansiyelinin değerlerini doğru beslem $I-V$ karakteristiklerinden elde ederek şematize ettiği grafikten belirlemiştir. Pandey ve Kal (1998) nonideal Al/p-Si MIS Schottky diyotlarında deneysel olarak $I-V$ ve $C-V$ karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuçta ara yüzey halleri ve seri direnci de dikkate alarak kapasitans-voltaj ilişkisi için teorik bir sonuç çıkardılar

Zhu (2000) $CoSi_2/n$ -Si Schottky diyotların akım-iletim mekanizmasını 80-300 K sıcaklık aralığında incelemiştir. Deneysel sonuçları Gauss dağılımlı engel yüksekliği modeli ile açıklamışlardır

Jiang (2002) metal/yarıiletken kontağın klasik modelinin, eklemnin ani ve sabit engel yüksekliğine sahip olduğunu kabul ettiğini bildirdiler. Oysa, diyot parametrelerinin tayininde kullanılan özellikle $I-V$ karakteristiklerinden elde edilen verilerde termiyonik emisyon modelinden sapmaların olduğu gösterilerek, bu durumu açıklayan modellerden birisinin, engelin homojensizliği olduğunu göstermiştir.

Maeda (2002) Schottky diyotlarda, sıcaklıkla engel yüksekliğinin ve idealite faktörünün değişiminin nedenlerinden birisinin, ara yüzeye yaklaşan pozitif ya da negatif iyon kusurlarının, Schottky engelini aşağı ya da yukarı çekmesine atfettiler. Ayrıca, Schottky engelinin düşürülmesi donörlerin nötralizasyonu ile gerçekleştiği için, donör enerji seviyelerinin nötralizasyondan sonra Fermi seviyesinin üzerinde yer aldıklarını bildirmiştir

Biber (2003) ürettiği Cu/n -GaAs Schottky diyotlar için 80-300 K sıcaklık aralığında $I-V$ ölçümlerini aldı ve yarıiletken devre elemanlarının performansı, kararlılığı ve güvenilirliği gibi parametrelerin metal/yarıiletken arasındaki oksit tabakasının ara yüzey özelliklerine önemli derecede bağlı olduğunu bildirmiştir. Bir Schottky engelinin tabiatını ve iletim mekanizmasını açıklamak için Schottky engel diyotun parametrelerinin geniş

bir sıcaklık aralığında tanımlanması gerektiği de ifade edilmiştir. Ve yine, I-V karakteristiklerinden elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliğinin sıcaklığa önemli derecede bağlı olduğunu da gözlemlemiştir

Kılıçoğlu ve Asubay (2005) Au/n-Si/AuSb ile oluşturdukları Schottky diyotlarda oksit tabakasının idealite faktörü, engel yüksekliği, ara yüzey durumları üzerine etkisini incelemişlerdir.

Yakuphanoglu (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 kontağın elektriksel özelliklerini önemli oranda modifiye ettiği ve bu yapının idealite faktörünün 1,33 engel yüksekliğinin 0,90 eV ve seri direncinin 314,5 kΩ olduğunu hesaplamışlardır.

Güllü (2008) n-InP üzerine oluşturduğu biyopolimer DNA filmler üzerine Al buharlaştırarak, DNA ara tabakalı ve ara tabakasız Al/n-InP kontaklar oluşturmuştur. Yaptığı akım gerilim ölçümlerinden DNA ara tabaka ile Al/n-InP MS kontağın engel yüksekliğinin %100 oranında arttırılabileceğini göstermiştir.

Ocak (2010) metal-organik madde-yarıiletken kontakların elektriksel ve fotoelektriksel parametrelerini incelemiştir. Ag, Al, Au, Cr, Cu, Ga, Pb ve Sn metalleri kullanarak metal/MnHA/n-Si yapılar elde etmiştir. Bu yapıların fotoelektriksel özellikleri simülör altında incelemiş ve yapıların ışığa karşı hassasiyetleri hesaplanmıştır. Işığa karşı en duyarlı, en yüksek kısa devre akımı (I_{sc}) ve en yüksek açık devre gerilimi (V_{oc}) veren yapının Au/MnHA/n-Si diyotu olduğu gözlemlemiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Giriş

Günümüz katıhal fiziği alanında yapılan çalışmalar elektronik teknolojisi sayesinde hemen uygulama sahası bulmuş olduğundan bu alandaki çalışmalar daha heyecan verici bir hal almıştır. Yarıiletken teknoloji; bu sahada çalışmak için üretilen aletler itibarı ile ciddi mesafe almıştır. Konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar ve elde edilen ürünlerden dolayı bu saha, çalışanları için adeta günbegün merakla takip edilmektedir. Günümüzde bilgiye ulaşmak hiç olmadığı kadar kolay olmuştur. Bilimsel çalışmalar tuğlalar ile bir duvar örmek gibidir. Duvar örgüsüne atılan her tuğla kendinden önceki tuğlalara bir tamamlayıcı olmakla beraber eski tuğlalar bu yeni tuğlaya temel olmaktadır. Yeni tuğla da kendisinden sonra gelecek tuğlalara bir işaretçi olmakla beraber onlar için bir nevi temeldir. Bu örgüye emek sarf ederek katkıda bulunan insanlar için “acaba bugün bu örgüye katkıda bulunan oldu mu? Veya nasıl bir katkı oldu?” sorusu her gün sorulmakta ve bu soru cevabını bulmaktadır.

Braun’un 1874 te demir sülfat ve bakır sülfatın elektriği ilettiğini tespit etmesi ile yaptığı basit diyot ile başlayan serüven bütün hızı ile devam etmektedir. Günümüze göre oldukça ilkel olan bu alet bilimsel yorumu çok iyi yapılamadan bir miktar kullanılmıştır. 1930’lu yıllarda Schottky ile başlayan buradaki olayları bilimsel olarak yorumlama ile yerini yeni aletlere bırakmıştır (Brillson 1982). Bu yorumlama süresi anında da az da olsa bazı aletlerde kullanılmıştır. 70’li yıllar ile birlikte yarıiletken teknolojisi yapılan çalışmalar sayesinde mesafe kaydetmiştir (Margarinto 1999). Günümüzde ise hem yeni çalışmalar hem de bu çalışmalara yapılan yorumlamalar sayesinde bu saha hemen hemen her gün ilerleme kaydetmektedir (Ocak 2010). Tüm bu gelişmelerde yarı iletken teknolojisinin katkısı mevcuttur. Ayrıca transistörler, diyotlar, detektörler, LED lambaları ve en önemlisi de fotovoltaiik piller yarı iletken teknolojisinin uygulama alanı olmuştur (El-Nahass ve ark. 2005). Güneş pilleri sahasında bir yönü ile herkes “O”nun peşinde. Yani

en fazla verim veren prototipi ucuz olarak elde etmenin peşindedirler. Petrolün yerini alabilecek ve bitkiler gibi güneş sayesinde enerji üretebilecek aygıtlar, bu işin uç noktası gibi görünmektedir.

3.2. Bazı Temel Tanımlar

İş fonksiyonu; bir elektronun Fermi seviyesinden metalin veya yarıiletkenin yüzeyi dışındaki vakum seviyesine taşınabilmesi için gereken enerji miktarıdır. Diğer bir deyişle Fermi seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Metal için ϕ , yarıiletken için ϕ_s olarak gösterilir. Bir metal veya yarıiletkene verilen kinetik enerji önce iş fonksiyonu için harcanır. Verilen kinetik enerji iş fonksiyonundan büyük ise bu enerji elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.

Fermi enerjisi; mutlak sıfır sıcaklığındaki (0 K) elektronun maksimum enerjisidir diye kısa bir tanım yapabiliriz. E_F ile gösterilir. Metallerde mutlak sıfır sıcaklığında Fermi seviyesi üzerindeki tüm enerji seviyeleri boştur. Yarıiletken de ise iletkenlik bandı vardır. Fermi seviyesi yasak enerji aralığında yer alır. Valans bandı ile iletkenlik bandı arasında izafi bir gösterimi vardır.

Valans bandı; elektron içeren son temel hal bandıdır. Değerlik bandı olarak da ifade edilir. E_V ile gösterilir.

Vakum seviyesi; metalin dışında kalan bir elektronun enerjisini temsil eder.

Elektron ilgisi; İletkenlik bandı tabanı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkıdır χ ile gösterilir.

3.3. Metal /Yarıiletken Kontaklar

Yarıiletkenler elektrik akımını bir değere kadar akmasına izin vermeyen ancak bu değerden sonra sonsuz küçük direnç gösteren maddelerdir. Yarıiletkenler periyodik cetvelde III. ve V. grupta bulunurlar. Yani son yörüngelerinde elektron alıcılığı veya vericiliği iletkenlerden az yalıtkanlardan daha fazladır. Yarı iletkenler kristal yapıya

sahiptirler. Yani atomları kübik kafes belirli bir düzende sıralanmıştır. Bu tür yarı iletkenler, ısı, ışık, etkisi ve gerilim uygulanması ile belirli oranda iletken hale geçirildiği gibi, içlerine bazı özel maddeler katılarak da iletkenlikleri arttırılmaktadır. Katkı maddeleriyle iletkenlikleri arttırılan yarı iletkenler elektronik devre elemanlarının yapımında kullanılmaktadırlar. Elektronikğin iki temel elemanı olan diyot ve transistörlerin üretiminde kullanılan germanyum (Ge) ve özellikle silisyum (Si) yarı iletkenleridir.

Silisyum ve germanyum'un iletkenliği kontrollü olarak artırılabilir. İletkenliği kontrollü olarak arttırmak için saf yarıiletken malzemeye katkı maddesi eklenir. Katkı maddesi eklenerek oluşturulan iki temel yarıiletken materyal vardır. Bunlara; n-tipi madde ve p-tipi madde denir. Akım taşıyıcılarının (elektron veya boşluk) sayısının artırılması malzemenin iletkenliğini, azaltılması ise malzemenin direncini artırır. Bu olayın sonucunda n-tipi veya p-tipi madde oluşur. P ve n tipi malzeme bir arada kullanılırsa, bu birleşime pn birleşimi denir. pn birleşimi; elektronik endüstrisinde kullanılan diyot, transistör vb. devre elemanlarının yapımında kullanılır.

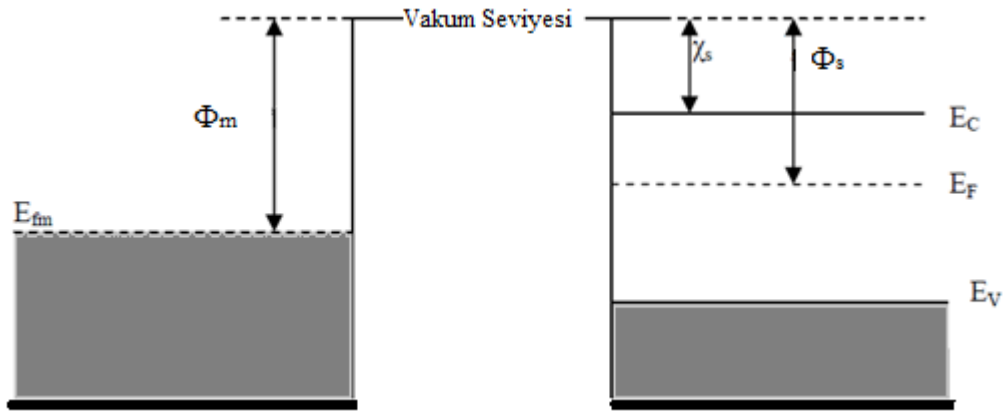
Bir metal ile bir yarıiletken, aralarında hiç bir madde olmaksızın, kontak durumuna getirildiklerinde meydana gelen yeni sistem, metal-yarıiletken kontak olarak adlandırılır. Kontaklar, yarıiletken ve metalin iş fonksiyonlarına bağlı olarak, omik kontak ve doğrultucu kontak (Schottky kontak) olarak iki kısma ayrılır. Bir yarıiletkenin bir tarafı p-tipi, diğer tarafı da n-tipi yapılırsa p-n eklemi elde edilmiş olur. Schottky engel diyotların oluşturulması, teknolojik açıdan bir p-n eklemine oluşturulmasından çok daha kolaydır. Schottky diyotların karakteristikleri, p-n eklem diyotların karakteristiklerine benzer. Ancak, p-n eklemine akım, azınlık taşıyıcıları ile sağlanırken, Schottky diyotlarda ise akım, çoğunluk taşıyıcıları ile sağlanır.

Schottky kontakların yapısının ve karakteristik özelliklerinin iyi anlaşılabilmesi için, uygun kontakların kristale uygulanması gerekir. Yarıiletken kristal ile kristale uygulanacak kontak malzeme sıfır dirençle temas ettirilmelidir. Elde edilen kontakın ideal olması için, kullanılan malzemelerin yüzeyi parlak, temiz ve pürüzsüz olmalıdır. 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-n tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ ise; doğrultucu(Schottky) kontak oluşur. Metal-p tipi yarıiletken kontaklarda ise, $\Phi_m > \Phi_s$ olduğunda doğrultucu kontak oluşur. Diğer hallerde ise oluşacak kontak omiktir.

3.3.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metal n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar ($\Phi_m > \Phi_s$) olduğu durumdur. Doğrultucu kontakların özelliği; elektronlar bir yönde zorlanmadan hareket ederlerken, potansiyel enerji sebebi ile diğer yönde kolay hareket edemezler. Bu durum metal ve yarı metalin enerji bant diyagramı ile ilgilidir. Şimdi oda sıcaklığında bir metal ve bir yarıiletken ele alalım. Yarıiletkendeki bütün donörleri iyonize olmuş sayalım. Ve yine metalin iş fonksiyonunu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonunu Φ_s , yarıiletkenin elektron ilgisini χ_s ve $\Phi_m > \Phi_s$ olarak kabul edelim. Metal ve n-tipi yarıiletkene ait kontaktan önce Şekil 3.1’de ve kontakta sonra termal denge durumunda Şekil 3.2’de enerji-bant diyagramları görülmektedir.



Şekil 3.1. Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletkene ait enerji-bant diyagramı

Şekilde görüldüğü gibi kontakta önce metalin Fermi seviyesi yarıiletkenin Fermi seviyesinden kadar aşağıdadır. Kontak oluştuktan sonra ise bu durum şöyle değişir. Yarıiletken yüzeyindeki elektronlar arkalarında iyonize olmuş donörlerin bırakırlar. Ve metal tarafına geçerler. İki taraf arasındaki elektron alışverişi tamamlandığında Fermi seviyeleri aynı düzeye ulaşmış olur (Rhoderick and Williams 1988). Yani yarıiletkenin enerji seviyesi ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar aşağı iner. Kontak sırasında oluşan dipol tabakasından

ötürü bir potansiyel engeli meydana gelir. Bu potansiyel engelin yarıiletken tarafındaki yüksekliği;

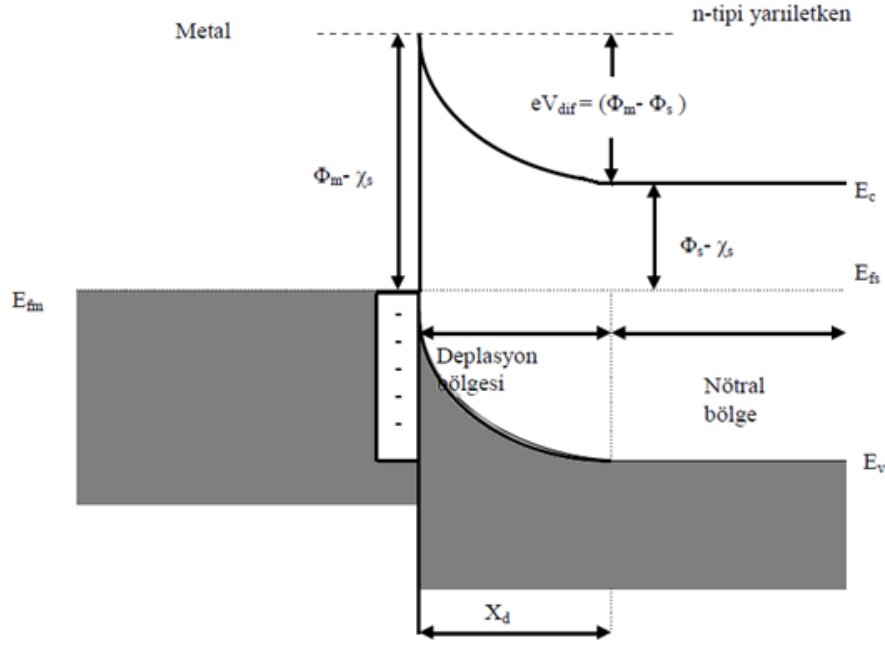
$$eV_{dif} = (\Phi_m - \Phi_s) \quad (3.1)$$

olur.

Burada bir uzay yükü tabakasını tanımlamak gerekiyor. Kontakın yarıiletken tarafındaki hareketsiz pozitif yük tabakası, uzay yükü tabakası olarak tanımlanır. Bunun sebebi iyonize olmuş donörlerdir. Bu tabakanın kalınlığı d olarak kabul edildiğinde, iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyeline bağlı olur. Termal uyarılma sırasında bazı elektronlar potansiyel engeli geçebilecek kadar enerjiye sahip olurlar. Ve bunun sonucunda kontakten geçen eşit ve zıt yönde bir I_0 sızıntı akımı oluşur. Bundan sonra yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulanırsa, metalden yarıiletkene akacak olan elektronlar için engel yüksekliği ve akım değişmez. Fakat yarıiletken metale akacak elektronlar için iletkenlik bandı eV kadar yükseleceği için, engel yüksekliği de eV kadar azalmış olacaktır. Bunun sonucunda metalden yarıiletkene doğru akan akım $\exp(eV/kT)$ kadar artacak ve net akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

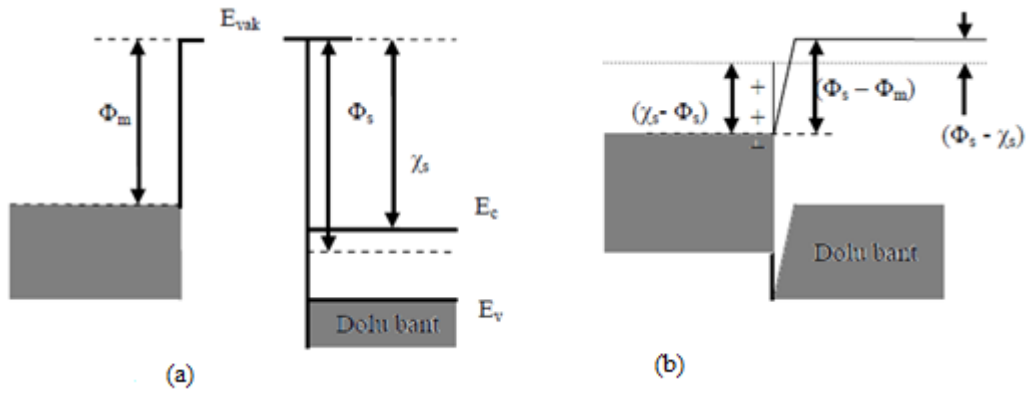
olur. Buradaki I akımı pozitif olur. Ve yine ($V \gg kT/e$) durumundaki beslem, düz beslem olarak adlandırılır. Ve yine buradaki yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulanacak olur ise; iletkenlik bandı eV kadar alçalır. Ve yine yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği eV kadar artar. Burada meydana gelen net akım $-I_0$ değerinde olur. Ve bu durumdaki beslem ($V \ll kT/e$) ise; ters beslem olarak adlandırılır (Rhoderick 1988; Ziel 1968). Bu denklemde I_0 doyma akımı, V uygulanan potansiyel, k Boltzmann sabiti ve T Kelvin cinsinden sıcaklık ifadesidir.



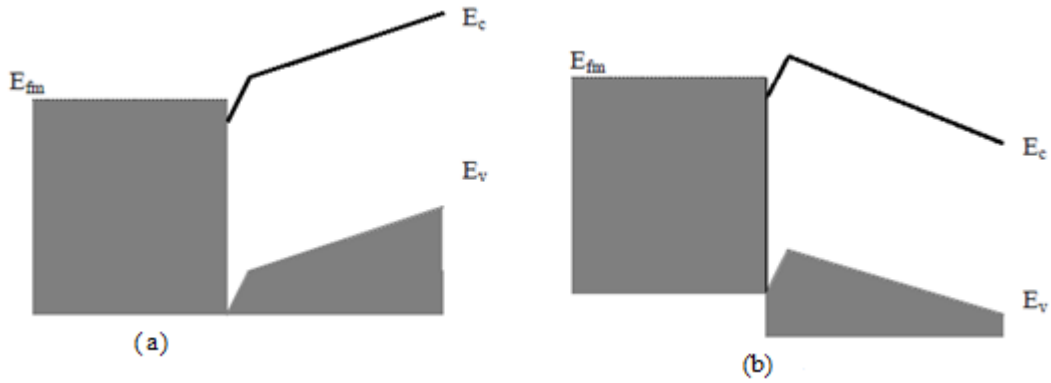
Şekil 3.2. Kontakta sonra oluşan enerji-bant diyagramı

3.3.2. Metal /n-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Yarıiletkenin iş fonksiyonunun metalin iş fonksiyonundan büyük olduğu ($\Phi_m < \Phi_s$) durumlarda omik kontak oluşur. Kontak oluşmadan önce yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar aşağıdadır. (Şekil 3.3.a) Metal ile yarıiletken kontak yapıldıktan sonra metalden yarıiletkene elektron akışı olur. Bu elektronlar arkalarında pozitif yükler bırakırlar. Bu yükler kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelmesine sebep olur (Şekil 3.3.b). Metal tarafına +V gerilimi uygulanırsa elektronlar; yarıiletkenden metale doğru bir engel ile karşılaşmadan kolayca akarlar. (Şekil 3.4.a) Şayet bu +V gerilimi yarıiletken tarafına uygulanır ise; yarıiletken aşırı katkılı olduğundan yine elektronlar yarıiletken tarafına kolayca kayarlar. Çünkü karşılaşacakları engel yüksekliği çok az olur. Bu durumda da oluşan kontak omik kontak olur. Ve elektronlar her iki yöne de rahatlıkla hareket edebilirler.



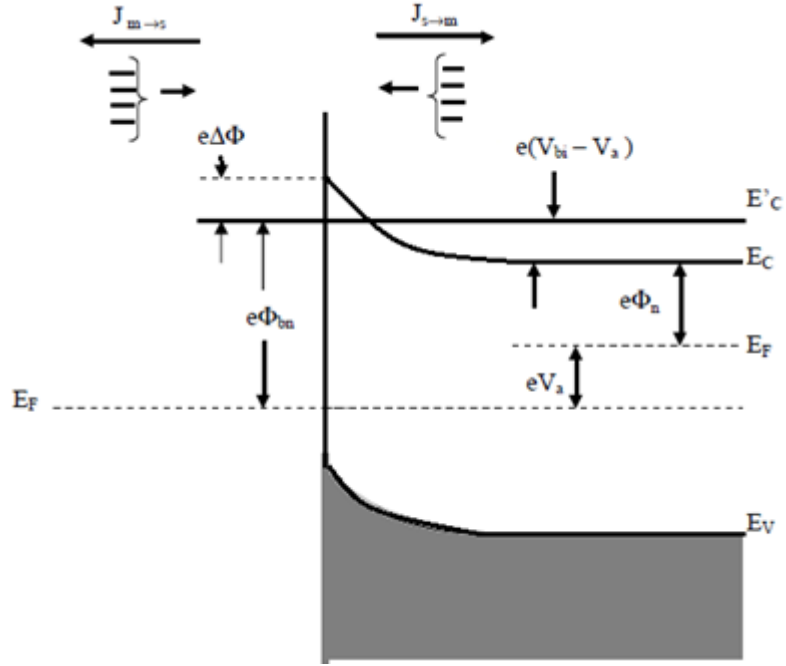
Şekil 3.3. ($\Phi_m < \Phi_s$) durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı a) Kontakтан önce, b) Kontakтан sonra



Şekil 3.4. ($\Phi_m < \Phi_s$) durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı a) Ters beslem altında, b) Düz beslem altında

3.4. Termiyonik Emisyon Teorisi

Termiyonik Emisyon; elektron ve hollerin sıcak bir yüzeyden akması şeklinde tanımlanabilir. Metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale potansiyel engeli aşarak geçebilmesidir. Schottky kontaklarda taşıyıcıların yeteri miktarda termal enerji kazanması ile mümkündür. Ancak bu sayede yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesi sağlanabilir. Bu işlem metal n-tipi yarıiletken yapılarda elektronlar, metal p-tipi yarıiletken yapılarda ise holler tarafından sağlanır.



Şekil 3.5. Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji bant diyagramı

TE teorisinde termal denge durumunun etkilenmemesi için Maxwell-Boltzman yaklaşımı uygulanarak, doğrultucu kontakın potansiyel engel yüksekliğinin kT 'den daha büyük olduğu kabul edilir ve taşıyıcıların arınma bölgesindeki çarpışmalarının çok küçük olduğu varsayılır. $J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m \rightarrow s}$ metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu olmak üzere Şekil 3.5'te V_a büyüklüğünde doğru 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

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} V_x dn \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerjidir. V_x sürüklenme yönündeki hızdır. Artan elektron konsantrasyonu

$$dn = g_c(E)f(E)dE \quad (3.4)$$

ile verilir. Burada $g_c(E)$ iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu ve $f(E)$ Fermi-Dirac ihtimaliyet fonksiyonudur. Maxwell-Boltzman yaklaşımı uygulanarak elektron konsantrasyonu için

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{2/3}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[\frac{-(E - E_c)}{kT}\right] dE \quad (3.5)$$

yazılabilir. $(E - E_c)$ enerjisi serbest elektronun kinetik enerjisi kabul edilirse

$$(E - E_c) = \frac{1}{2} m_n^* V^2 \quad (3.6)$$

$$dE = m_n^* V dV \quad (3.7)$$

ve

$$\sqrt{E - E_c} = V \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (3.8)$$

olur. Bu sonuçlar kullanılarak (3.5) ifadesi yeniden düzenlenirse

$$dn = 2 \left(\frac{m_n^*}{h}\right)^3 \exp\left(\frac{-e\Phi_n}{kT}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* V^2}{2kT}\right) 4\pi V^2 dV \quad (3.9)$$

elde edilir. Bu denklem hızları V ile $V+dV$ aralığında değişen elektronların sayısını verir. Hız, bileşenlerine ayrılırsa

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 \quad (3.10)$$

olur. Gerekli değişken değiştirmeleri yapılır ve çözülürse;

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3}\right) T^2 \exp\left(\frac{-e(\Phi_n + V_{bi})}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) \quad (3.11)$$

veya

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) \quad (3.12)$$

olur. Şekil 3.5'den görülebileceği gibi $\Phi_{bn} = \Phi_n + V_{bi}$ ve uygulama gerilimi sıfır olduğunda $J_{s \rightarrow m}$ ile $J_{m \rightarrow s}$ birbirine eşit olur. Yani

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \quad (3.13)$$

olur. Eklemdaki net akım yoğunluğu $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$ olur. Daha açık ifadeyle

$$J = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.14)$$

olur. Burada A^* Richardson sabitidir.

$$A^* = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) \quad (3.15)$$

J_0 ters doyma akım yoğunluğu olmak üzere

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.16)$$

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilir.

Φ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve $\Phi_{bn} = \Phi_{b0} - \Delta\Phi_{b0}$ şeklinde verildiği dikkate alınarak (3.17) ifadesi yeniden düzenlenirse

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bo}}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\Phi}{kT}\right) \quad (3.18)$$

olur. Engel yüksekliğindeki $\Delta\Phi$ değişimi; artan elektrik alanla yada artan ters beslem gerilimiyle artacaktır (Neamen 1992). Denklem (3.16)' ü akım ifadesi olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

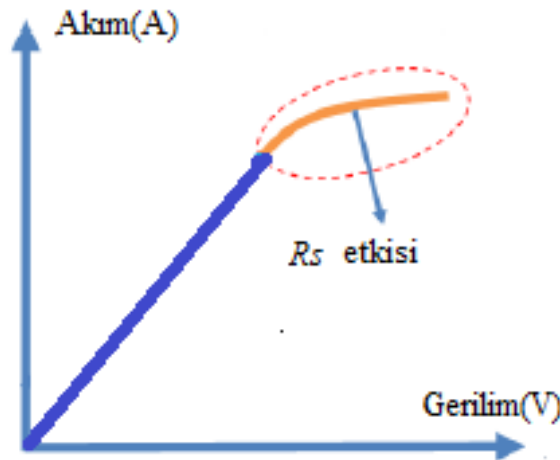
$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.19)$$

Bu denklem, ideal diyotlar içindir. İdeal faktörü n olmak üzere, bu denklem şöyle yazılarak genelleştirilebilir.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.20)$$

3.5. Schottky Diyotlarda Seri Direnç Etkisi ve Cheung Foksiyonları

Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda, seri direnç kavramı yarıiletken tarafında oluşan tükenim bölgesi dışında kalan nötral bölgenin diyot akımına karşı gösterdiği dirence verilen isimdir. Bu direnç, büyük gerilim değerlerinde baskın olur. Ve diyot akımının düşmesine sebep olur. Şekil 3.6 da gösterilmiştir. Burada bir Schottky diyottaki büyük gerilim değerlerinde seri dirençten dolayı diyot akımındaki azalma gösterilmiştir. (Rhoderick and Williams 1988)



Şekil 3.6. Seri direncin I - V karakteristiğine etkisi

Bu yapının düz beslem I - V karakteristiklerinin yardımı ile Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin hesaplanması Cheung tarafından sunulan bir metot ile olmuştur (Cheung 1986).

Termiyonik emisyon teorisi dikkate alındığında bir diyottan geçen akımın denklemi

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\Phi}{nkT}\right) \quad (3.21)$$

olur. (A: Diyotun etkin alanı'dır). Seri direnç etkisi dikkate alındığında uygulanan potansiyelin IR_s kadarlık gerilimi nötral bölge üzerine düşüreceği göz önüne alınırsa ($V - IR_s$) olarak yazılır ve denklem

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right) \quad (3.22)$$

olur. Son eşitlik kullanılarak potansiyel fark

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) + n\Phi_b + IR_s \quad (3.23)$$

olarak elde edilir. Denklem 3.23'ün $\ln I$ 'ya göre türevi alındığında

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (3.24)$$

elde edilir. Bu eşitliğe göre $dV/d(\ln I)$ 'in I göre grafiği bir doğru verecektir ve bu doğrunun eğiminden seri direnci elde edilir. Bu doğrunun $dV/d(\ln I)$ eksenini kestiği noktadan idealite faktörü bulunabilir. Engel yüksekliği ise

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{1}{AA^*T^2}\right) \quad (3.25)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanmıştır. 3.23 ve 3.24 formülleri kullanılarak

$$H(I) = n\phi_n + IR_s \quad (3.26)$$

sonucu yazılabilir. Yine bu eşitlik sayesinde $H(I)$ - I grafiği çizilir ise yine bir doğru elde

edilecektir. Bu doğrunun eğimi seri dirence eşit olacaktır. Ve yine bu doğrunun H(I) eksenini kestiği noktadan engel yüksekliği bulunabilir.

3.6. Norde Fonksiyonları Yardımı ile Schottky Diyot Karakterizasyonu

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

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (3.27)$$

fonksiyonu kullanılarak Schottky diyotların akım-gerilim karakteristikleri gösterilir. Burada A diyodun alanı, A^* modifiye edilmiş Richardson sabiti, q elektronik yüküdür. F(V) fonksiyonunun minimum noktası düşünüldüğünde, minimum V_0 voltajına karşılık gelen $F(V_0)$ değeri kullanılarak engel yüksekliği değeri;

$$\Phi_B = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{q}{kT} \quad (3.28)$$

şeklinde elde edilir. Seri direnç değeri V_0 'a karşılık gelen I_0 değeri kullanılarak;

$$R_s = kT \frac{(\gamma - n)}{qI_0} \quad (3.29)$$

şeklinde elde edilir. Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tam sayıdır. I_0 ise V potansiyelinin minimum olduğu akım değeridir. Norde'nin kullandığı bu model, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup, ideal olmayan durumlar için genelleştirilmiş Norde modeli kullanılarak seri direnç ve engel yüksekliği değerlerinin de hesaplanabileceği gösterilmiştir (Yıldırım ve ark. 2017).

3.7. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

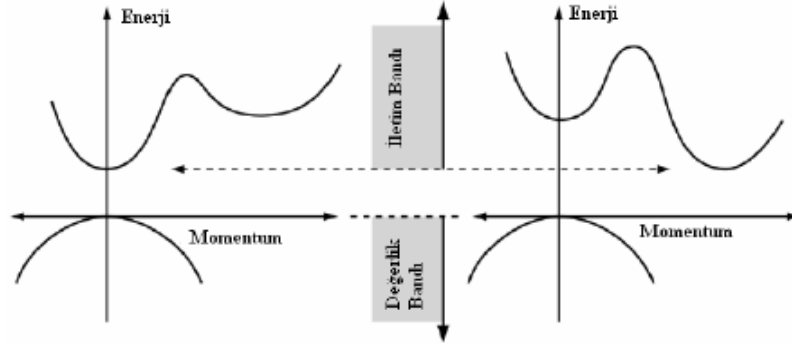
3.7.1. Soğurma Olayı, Doğrudan ve Dolaylı Geçişler

Bir kristal düzlemine gelen elektromanyetik dalgaların kristal düzleminde bulunan elektriksel yüklerle etkileşmesi olur. Bu olay sonucunda elektromanyetik dalgaların enerji kaybına uğraması soğurma olarak adlandırılır (Pankove J. 1975). Optik soğurma metodu yarıiletkenlerin yasak enerji bant aralıklarını belirlemede en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem; yarıiletken malzeme üzerine düşürülen bir fotonun, yarıiletkendeki bir elektronun düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine uyarılması olarak açıklanabilir. x kalınlığına sahip bir ince film üzerine düşürülen ve malzemeyi geçen ışın şiddeti arasındaki bağıntı

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3.30)$$

şeklinde yazılabilir. Burada I ince filmi geçen ışığın yoğunluğu, I_0 ince film üzerine düşürülen ışığın yoğunluğu, x ışığın ince film içerisinde aldığı yolu (ince film kalınlığını) ve α ise kullanılan malzemenin (yarıiletkenin) soğurma katsayısıdır (Meyer 1972).

Kristal ve amorf yarıiletkenlerde iki çeşit bant geçişi vardır. Bunlardan biri doğrudan, diğeri ise dolaylı bant geçiştir. Doğrudan geçiş durumu, malzemenin değerlik bandının maksimumu noktası ile iletim bandının minimum noktası aynı momentuma sahip olması halidir (Şekil 3.7). Burada değerlik bandındaki bir elektron momentum değerinde değişme olmadan bir foton soğurur. Bu fotondan aldığı enerji sayesinde iletim bandına geçer. Dolaylı bant aralığına sahip yapıların ise iletim bandının minimum noktası değerlik bandının maksimum noktasından farklıdır. İletim bandındaki elektronlar hızlı bir şekilde minimum bant enerjisi seviyesine inerler. Aynı şekilde holler de değerlik bandının maksimum noktasına ulaşırlar. Bundan dolayı, doğrudan geçişli bir yarıiletkenin elektron ve deşiklerin momentumları eşit olur. Fakat dolaylı geçişli yarıiletkenlerin ise bu momentumları eşit değerde olmaz. Bu sonuç azınlık taşıyıcıların ömürleri ve yarıiletkenlerin optik özelliklerinin sonucudur. Ve malzemenin optik uygulamaları için oldukça önemlidir.



Şekil 3.7. Doğrudan geçişli ve dolaylı geçişli bant aralıklarının gösterimi

3.7.2. Doğrudan Bant Geçışı

$h\nu$ kadar enerjiye sahip bir foton; doğrudan bant geçişli bir yarıiletken geldiği zaman, yarıiletkendeki bir elektronu değerlik bandından iletim bandına geçirir. E_i yarıiletkende ilk durum, E_s son durum enerjisi olmak üzere enerji farkı (Pankove 1975)

$$h\nu = E_s - E_i \quad (3.31)$$

şeklinde bulunur. Parabolik bantlarda ise,

$$E_s - E_g = \frac{p^2}{2m_e^*} \quad (3.32)$$

ve

$$E_i = \frac{p^2}{2m_h^*} \quad (3.33)$$

ifadeleri ile bulunur. Burada m_e^* elektronun etkin kütlesi, m_h^* holün etkin kütlesidir. Denklem 3.31, 3.32 ve 3.33 düzenlendiğinde

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (3.34)$$

bağıntısı ile elde edilir. Doğrudan bant geçişinde α ile $h\nu$ arasındaki bağıntı

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E)^m \quad (3.35)$$

denklemleri ile verilir. Burada B sabit sayısı, m 1/2 izinli geçiş veya 3/2 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabittir (Mott 1971).

3.7.3. Dolaylı Bant Geçışı

Değerlik bandının maksimum noktası ile iletkenlik bandının minimum noktasının momentumları farklıdır. Bu durumda elektron momentumunun korunumu için, foton soğurma olayı ilave bir parçacık içermelidir. Bu durumda momentumun korunması için bir fononun emisyonu veya soğurulması gereklidir. Fonon soğurulmasında, soğurulma katsayısı

$$\alpha_s(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp\left(\frac{E_{ph}}{kT}\right) - 1} \quad (3.36)$$

ve

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp\left(-\frac{E_{ph}}{kT}\right)} \quad (3.37)$$

olarak yazılabilir. Burada α_s , soğurma katsayısı ve α_e , emisyon katsayısı, E_{ph} fonon enerjisidir. Her iki olasılığın da olması mümkün olduğundan

$$\alpha(h\nu) = \alpha_s(h\nu) + \alpha_e(h\nu) \quad (3.38)$$

olarak yazılabilir. Daha açık bir şekilde yazılır ise;

$$\alpha(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp\left(\frac{E_{ph}}{kT}\right) - 1} + \frac{B(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp\left(-\frac{E_{ph}}{kT}\right)} \quad (3.39)$$

şeklinde yazılır. Burada m , dolaylı bant geçişli bir yarıiletken için 2 izinli geçiş veya 3 yasaklı geçiş değerlerini alabilen bir sabiti göstermektedir (Gaffar et al. 2003).

3.8. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi

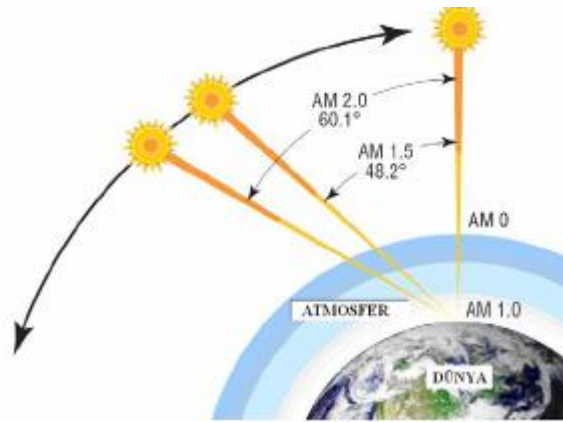
Güneşin yüzey sıcaklığının ≈ 5762 K olduğu kabul edilir. Güneş'in ışık spektrumu bu sıcaklıktaki siyah bir cismin ışık spektrumuna benzerlik gösterir. Güneş'in Dünyaya olan Uzaklığı ≈ 150 milyon kilometredir. Bu sebepten dolayı Güneşten Dünyaya gelen ışınların Dünyaya paralel geldiği kabul edilir. Bu ışınların Atmosfer üzerinde ışınım yoğunluğu vardır. Bu ışınımın spektral dağılımı sıfır hava kitlesi (AM0) olarak adlandırılır. Bu değer yaklaşık 1353 W/m^2 dir. Hava kitlesi dünya yüzeyine ulaşan ışınların spektrumunun ve yoğunluğunun atmosfer tarafından ne kadar etkilendiğini gösteren bir ölçüdür (Ocak 2010). Hava kitlesi (Air Mass)

$$\text{Air Mass} = \frac{1}{\cos\theta} \quad (3.40)$$

İle ifade edilir. Burada θ ışığın geliş açısıdır. Green' e göre hava kütlesini kolay yoldan bulmanın formülü şöyledir (Green, 1992).

$$\text{Air Mass} = \sqrt{1 + \left(\frac{S}{H}\right)^2} \quad (3.41)$$

Burada S gölge boyu ve H cismin boyu dur. Güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılmasında standart olarak AM1.5 spektrumu ve toplam 1000 W/m^2 güce sahip ışık kullanılmaktadır. Şekil 3.8 hava kitlesi numaralarına göre güneş ışınlarının dünyaya gelişini ve AM0 ve AM1.5 spektrumlarını göstermektedir.



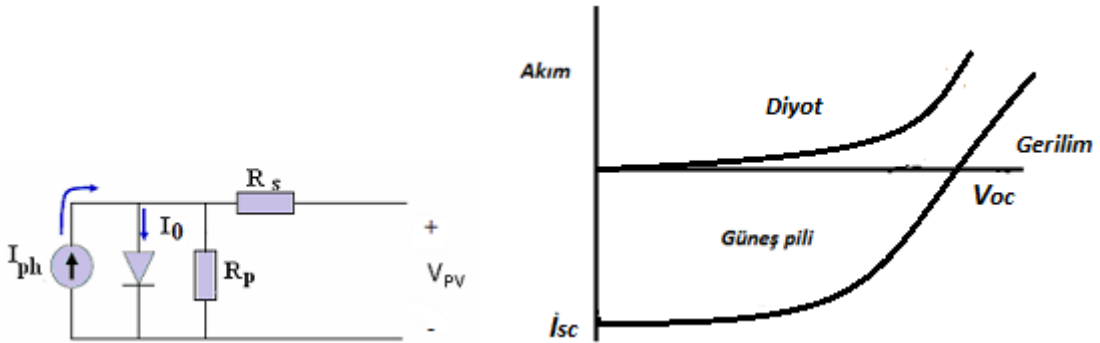
Şekil 3.8. Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterimi (Ocak 2010)

3.9. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu

Güneş pilleri fotovoltajik enerji dönüşümü sağlamaktadır. Bu dönüşüm iki basamaklıdır. İlk olarak soğurulan ışık elektron-boşluk çiftleri oluşturur. İkinci olarak elektronlar güneş pilinin negatif terminaline, boşluklar da pozitif terminaline giderler. Bu iki aşama sonucunda elektriksel güç elde edilir. Güneş pili Şekil 3.9'da gibi doğrultucu bir diyota bağlanmış akım kaynağı ve diyota ait akım gerilim grafiklerinin üst üste gelmesi gösterilmiştir. Güneş pilinin akım gerilim karakteristiğini Schottky şu şekilde hesaplamıştır.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.42)$$

Burada k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, q elektron yükü ve V pilin iki terminali arasında uygulanan gerilimdir. Ve yine güneş pili için akım gerilim ilişkisi şekildeki gibi gösterilir.



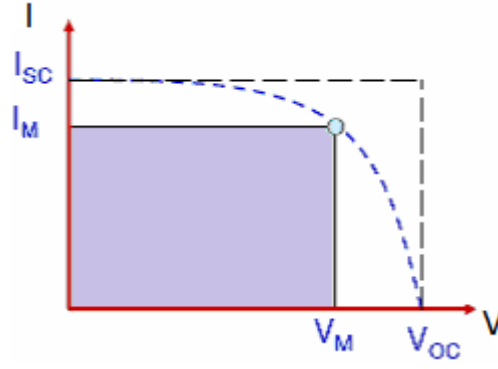
Şekil 3.9 Bir güneş piline ait eşdeğer devre ve akım gerilim grafiği

Burada I_{sc} kısa devre akımı olup ışık tarafından oluşturulan I_{ph} değerine eşit olmaktadır.

V_{oc} açık devre gerilimi olup

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{I_{ph}}{I_0}\right) \quad (3.43)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 3.10. Güneş pilinin akım gerilim grafiği

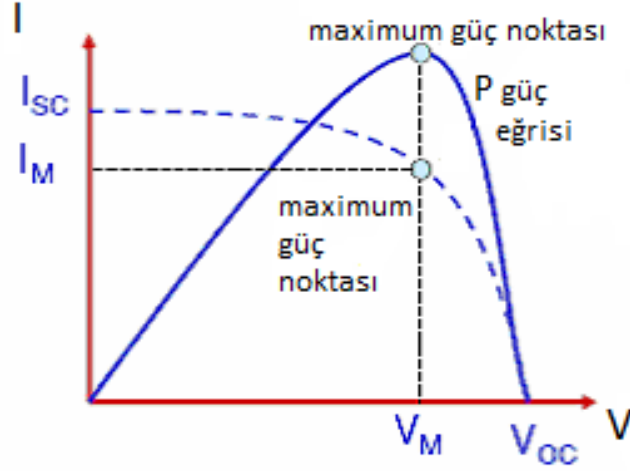
Buradaki I_m ve V_m ise maximum güç sonucu oluşan akım ve gerilimdir. Pil tarafından üretilen maximum güç $P_{max} = I_m \times V_m$ şeklinde ifade edilir.

Bir güneş pilinde pil devreye bağlandığında soğurulan güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrilme yüzdesi pilin enerji dönüşüm yüzdesi η olarak ifade edilir. Diğer bir deyişle elde edilen maximum gücün pil üzerine düşürülen ışığın gücüne oranıdır. Yani

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in} \times S} \quad (3.44)$$

şeklinde ifade edilir. Burada P_{in} pil üzerine düşürülen ışığın gücü ve S ise etkin alandır. Ölçüm simülatörünün ışık gücü ile pilin etkin alanının çarpılması ile net güç bulunur.

Güneş pili karakterizasyonundaki diğer bir kavram da doluluk oranıdır. Bu kavram elde edilen maximum gücün açık devre gerilimi ile kısa devre akımının çarpımının oranına eşittir (Gray et al. 2003).



Şekil 3.11. Güneş pilinde maximum güç noktalarının gösterimi

Doluluk oranı

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{SC}} = \frac{\eta \times P_{in}}{V_{oc} \times I_{SC}} \quad (3.45)$$

Formülü ile bulunur. I_m ve V_m gücün maximum olduğu noktalar olarak açıklanır. Güneş pillerinde pilin doluluk oranı pilin seri ve paralel direncinden etkilenir. Paralel direncin artırılması ve seri direncin düşürülmesi doluluk oranını arttıracaktır. Bu da pilin veriminin artması anlamına gelecektir.

4. DENEYSEL İŞLEMLER

4.1. Kristal Temizlenmesi

Bu çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci $\rho = 1-10 \Omega\text{-cm}$ olan n-tipi Si kullanılmıştır. Diyot yapımında güvenilir sonuç alabilmek için numunenin organik ve mekanik kirlerden arındırılması son derece önem taşır. Kullanmış olduğumuz numune fabrikasyon olarak parlatıldığı için mekanik olarak tekrar temizlemeye gerek kalmamıştır. Kimyasal olarak temizlemek için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

- 1) Aseton 'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanol 'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 ($H_2O:H_2O_2:NH_3;6:1:1$) 'de $60^{\circ}C$ 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 5) Seyreltik HF ($H_2O:HF;10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ($H_2O:H_2O_2:HCl;6:1:1$) 'de $60^{\circ}C$ 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 8) Seyreltik HF ($H_2O:HF;10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 15-20 dakika akan Deiyonize su içerisinde yıkandı.
- 10) Azot gazı (N_2) ile kurutuldu.

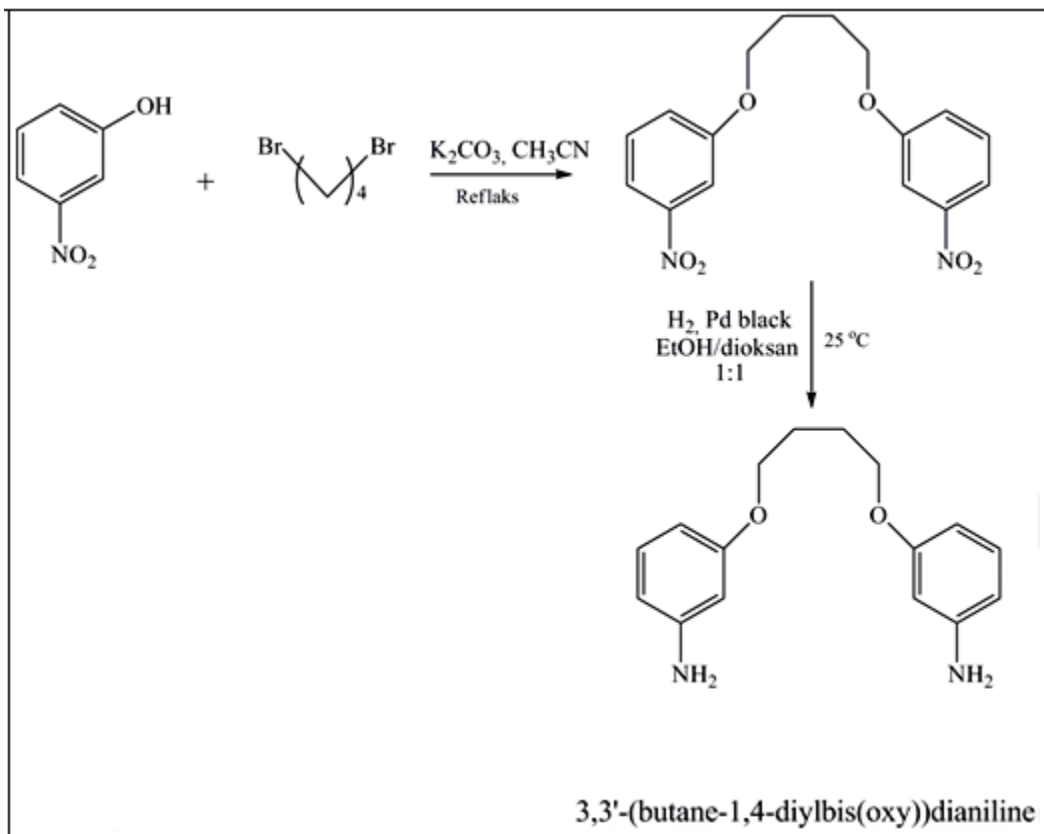
Ayrıca buharlaştırmada kullanılan metaller, metanolda ultrasonik olarak 5 dakika yıkandı.

4.2. 1,4-m-diamin Çözeltisinin Hazırlanması ve Sentezi

Diamin bileşikler di-Schiff bazları ve bunun komplekslerinin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan bir bileşiktir. Schiff bazları da metallerle kompleks verebilme özelliklerine sahip olmaları nedeniyle metal miktarlarının tayininde kullanılmakta ve ayrıca Schiff bazları fungusit ve böcek öldürücü ilaçların bileşiminde de bulunabilmektedir. Salisilaldehitin, etilendiamin ve propilendiamin gibi diaminlerle kondensasyonu sonucu

meydana gelen Schiff bazları metal deaktivatörü olarak kullanılır. Polysiloksan ve PVC'nin kararlılığı için disalisiliden propilendiamin kullanılmaktadır. Bunların yanısıra diamin içeren Schiff bazları nikel kompleksinin termoplastik reçineler için ışık stabilizatörü olarak kullanılmasının uygun olduğu rapor edilmiştir (Bush 1967; Orthmer 1968, Patai 1970; Helmut 1976; Ansell 1982).

1,4-m-diamin bileşiği Şekil 4.1. de gösterildiği gibi 2 basamak halinde sentezlenmiştir. İlk basamakta nitro fenol bileşiği 1,4-dinitro fenole dönüştürülmüştür. İkinci basamakta ise nitro grupları amine indirgenmiştir. İndirgeme işlemi 60 mg Pd 'black' kullanılarak 4 bar H₂ atmosferin altında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Pd katalizörü süzülerek uzaklaştırılmıştır. Verim % 91(248 mg) MS (ESI) *m/z* 318 (M+2Na)⁺; ¹H NMR (CDCl₃) δ 1.93 (br, 4H), 3.98 (br, 4H), 3.50 (br, 4H), 6.24–6.33 (m, 6H), 7.02–7.07 (m, 2H) (Hodge et al. 1992).



Şekil 4.1. 3,3'-(bütan-1,4-diyl bis(oxy))dibenzenamin (1,4-m-diamin) molekülü (Ellman et al. 1961)

Çözeltisinin Hazırlanması; Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Bölümü'nden daha önceden sentezlenmiş 3,3'-(bütan-1,4-diyl bis(oxy))dibenzenamin (1,4-m-diamin) molekülü temin edildi. Temin edilen bu molekülden 0,243 gram tartıldı. Tartılan bu miktar 25 ml etanol içinde manyetik karıştırıcı yardımı ile çözüldü. Yapılan bu çözeltinin iyi çözülmesi ve kıvam alması için yaklaşık bir saat boyunca sürekli ısıtılarak manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırıldı. Daha sonra süzgeçten geçirildi. Sonuçta kırmızımsı rengi ve hoş görüntüsü ile 1,4-m-diamin çözeltisi elde edilmiş oldu.

4.3. Cam Üzerine İnce Film Oluşturulması

1,4-m-diamin molekülünün optik özelliklerinin tayin edilebilmesi için etanol ile yıkanıp, kurutulmuş cam üzerine, etanolde çözülmüş 1,4-m-diamin molekülünün ince filmi oluşturuldu. Bunun için temizlenen cam spin coater cihazına yerleştirildi. Ve cihaz dakikada 1000 tur atacak şekilde çalıştırıldı. Hazırlanan organik çözelti yavaşça damlatılarak numunenin üzerinde ince film oluşturuldu. Daha sonra bu ince filmin görünür bölge absorbansı Dicle Üniversitesi araştırma laboratuvarında kurulu UV 3600 fotospektrometresi kullanılarak incelendi.



Şekil 4.2. UV 3600 Spektrometre cihazı

4.4. Schottky Kontakın Oluşturulması

Öncelikle temizlenen numunenin mat yüzeyine omik kontak yapılması işlemine başlanılmıştır. Bu işlem için önce ısıtıcı pota % 10 seyreltilmiş HCl ile sonrasında deiyonize su ile iyice yıkandı ve temizlenip kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma cihazına yerleştirilerek yakıldı. Sonra numuneler kimyasal olarak (RCA) temizlendikten ve numunenin mat yüzeyine buharlaştırılacak olan Au kimyasal olarak temizlenip ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra numune, daha önce çalıştırılıp vakum işlemi için hazır hale getirilen ünitenin içerisine yerleştirildi. Vakum işlemi sonucunda basınç 10^{-6} torr değerine düştükten sonra, daha önceden ısıtıcı üzerine yerleştirilen altın (Au) buharlaştırıldı. Bu işlem tamamlandıktan bir süre sonra vakum cihazına hava verildi ve numune vakum cihazından çıkarıldı. Kimyasal olarak temizlenmiş quartz potanın içine yerleştirildi ve daha önce yakılarak 570°C 'de ayarlanan fırında 3 dakika süresince tavrlandı. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Omik kontak yapılan numune spin coater cihazına, parlak yüzey üstte kalacak şekilde, yerleştirilip cihaz dakikada 1000 tur atacak şekilde çalıştırıldı. Hazırlanan organik çözelti yavaşça damlatılarak numunenin üzerinde ince film oluşturuldu. Elde edilen organik 1,4-m-diamin/n-Si yapısı üzerine yüksek vakum altında altın (Au) buharlaştırarak Al/1,4-m-diamin /n-Si/Au Schottky diyot elde edildi.



Şekil 4.3. Al/1,4-m-diamin/n-Si/Au diyotunun şeması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Giriş

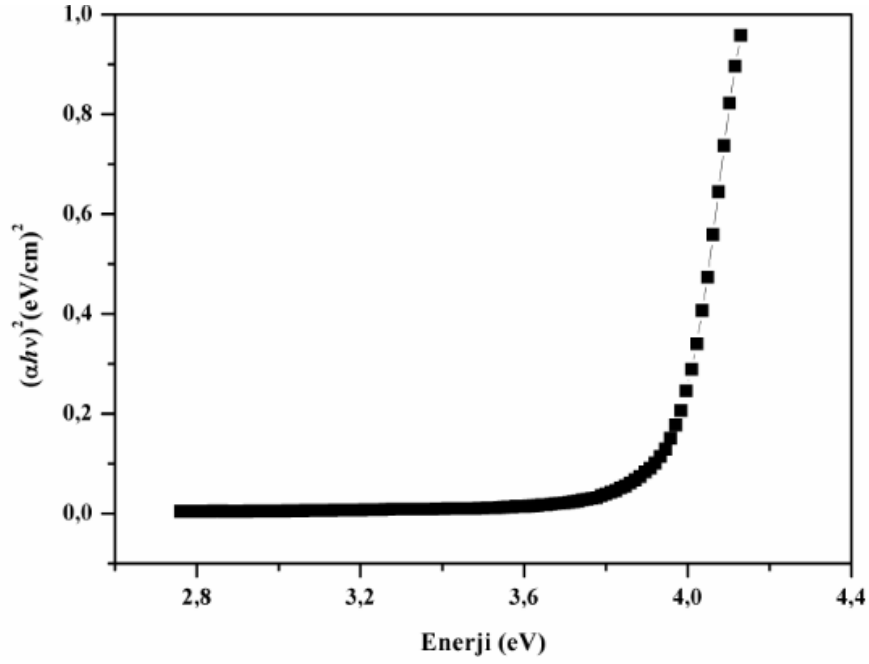
İnorganik/ organik maddelerin elektriksel ve fotoelektriksel özellikleri ciddi oranda araştırma konusu olmuştur. Organik maddeler kararlılıklarından dolayı, elektronik ve benzeri alanlarda kullanılmaktadır. Schottky diyotların elektriksel özelliklerinin anlaşılması için sürdürülen çalışmalar oldukça önemlidir. Bu tezde 1-4-m-diamin molekülünün etanol kullanılarak oluşturulan çözeltisinin n-Si üzerine damlatılması ile elde edilmiş Al/1,4-m-diamin /n-Si Schottky diyotunun özellikleri irdelenmiştir. Ve diyotun idealite faktörü ve engel yükseklikleri çeşitli metodlarla irdelenmiştir.

5.2. 1,4-m-diamin Molekülünün Fiziksel Ölçümleri

1,4-m-diamin Molekülünün optik özelliklerinin tespit edilebilmesi için yukarıda anlatıldığı gibi Molekülün cam üzerine ince filmi oluşturulmuştur. Daha sonra bu ince filmin görünür bölge absorbansı Dicle Üniversitesi araştırma laboratuvarında kurulu UV 3600 fotospektrometresi kullanılarak incelenmiştir. 1,4-m-diamin Molekülünün optik bant Aralığı (E_g)

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E)^m \quad (5.1)$$

denklemleri ile çözülebilir. Burada α soğurma katsayısı, B sabit sayı, h Planck sabiti ve m doğrudan bant aralığı için $1/2$ 'dir. Ölçüm sonuçları ve denklem kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği Şekil 5.1.'de verilmiştir. 1,4-m-diamin molekülünün doğrudan E_g bant aralığı $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinin lineer kısmının foton enerjisi eksenini kestiği noktadan 3,95 eV olarak hesaplanmıştır. 3,95 eV bant aralığı ile 1,4-m-diamin molekülünün bir yarıiletken olduğu ve elektriksel ve optik devre elemanı üretiminde kullanılabileceğine karar verilmiştir.



Şekil 5.1. 1,4-m-diamin molekülünün $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği

5.3. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri ve Hesaplamalar

Elde edilen Al/1,4-m-diamin/n-Si yapısının akım-gerilim ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler Keithley 2400 sourcemetre kullanılarak, bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Yapıda doğrultma özelliği görülmüştür ve elektriksel parametreleri belirlenmiştir. İdealite faktörü; bir diyotun ideal özelliklerini belirlemede önemlidir. Bir diyottan geçen akımı hesaplamak için;

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV - IR_s}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (5.2)$$

eşitliği kullanılır. I_0 doyma akımı olmak üzere

$$I_0 = AA^*T^2 \exp(-e\Phi_b/kT) \quad (5.3)$$

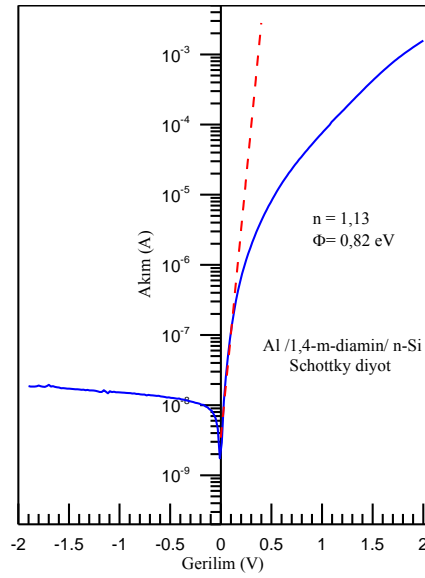
Şeklinde tanımlanmıştır. Bu eşitliğin her iki tarafının tabii logaritması alınıp Φ_b ye göre çözüldüğünde;

$$\Phi_b = \frac{kT}{e} \ln(AA^*T^2/I_0) \quad (5.4)$$

şekilde engel yüksekliği ifadesini elde ederiz. Yapılan hesaplamalar sonucunda engel yüksekliği 0,82 eV olarak bulunmuştur. İdealite faktörü değeri $\ln I - V$ grafiğinin lineer bölgesinin eğiminden

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (5.5)$$

şeklinde hesaplanır. Hesaplamalar sonucunda oda sıcaklığında elde edilen $\ln I - V$ grafiği Şekil 5.2 de gösterilmiş ve denklem 5.5. kullanılarak idealite faktörü $n=1,13$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.2. Oda sıcaklığında ve karanlıkta yarı logaritmik akım-gerilim grafiği ile fit doğrusu

İdeal bir diyotun idealite faktörü 1'dir ve idealite faktörünün 1'den büyük olması, diyotlarda ideallikten saptığını gösterir. Daha önce yapılan çalışmalarda bu sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen diyotlardaki bu ideallikten sapmalar genelde kullanılan ara tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarına ve seri direncin etkisine bağlanır. Bu sonuçlar organik ara tabaka ile ikinci bir mekanizmanın ara yüzeyde oluştuğunu gösterir. Ve yine tükenim bölgesinde elektron ve deşiklerin tekrar birleşmesi veya uygulanan gerilim ile difüzyon akımının artmasına bağlanmıştır (Ocak 2010). Daha önce yapılmış olan çalışmalarda da buna benzer sonuçlar bulunmuştur. Çakar ve ark. pyronin B bileşiğine kontak olarak Au, Cu, Al ve Sn metallerini kullanarak metal/pyronin B/p-Si diyotları elde etmişlerdir. I - V ölçümleri sonucunda Cu/pyronin-B/p-Si, Au/pyronin-B/p-Si, Al/pyronin-B/p-Si ve Sn/pyronin-B/p-Si diyotlarının idealite faktörleri sırasıyla 1,37, 2,01, 2,10 ve 1,13 olarak hesaplanmıştır (Çakar ve ark. 2004).

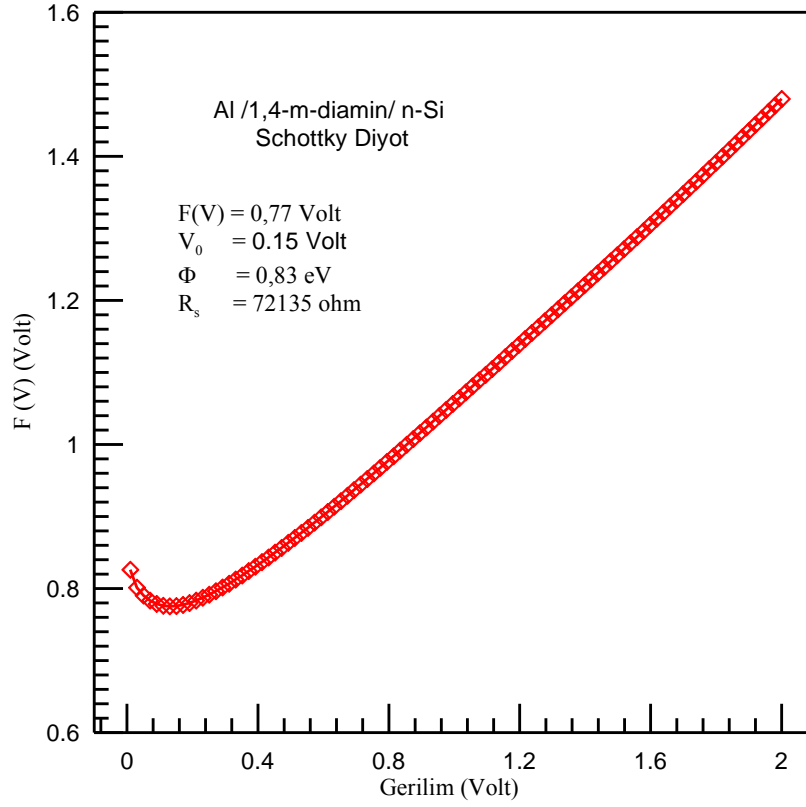
Şekil 5.2'te görüldüğü gibi, $\ln I$ - V eğrileri yüksek gerilimlerde lineerlikten sapmaktadır. Bu sapmalar ara yüzey diyotlardaki mevcut seri direnç etkisini göstermektedir. Bu seri direnci hesaplamak için modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şöyle yazılabilir.

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (5.6)$$

engel yüksekliği ifadesi

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{e} \quad (5.7)$$

olarak verilir. Şekil 5.3'de hazırlanmış olan Al/1,4-m-diamin /n-Si diyotunun $F(V)$ - V grafiği verilmiştir.



Şekil 5.3. Norde yardımı ile çizilmiş $F(V)$ - V grafiği

Burada $F(V_0)$ ifadesi şekilde görülen $F(V)$ değerinin minimum değeridir. Yapılan ölçümlerde bu değer 0,77 V olarak tespit edilmiştir. V_0 ise buna karşılık gelen gerilimdir. Bu değer de 0,15 V olarak kaydedilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Engel yüksekliği 0,83 eV olarak bulunmuştur. Burada bulunan engel yüksekliği ifadesi $\ln I - V$ grafiğinden elde edilen değerle uyumlu olduğu görülmektedir. Norde metodunda seri direnç değeri

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{eI} \quad (5.8)$$

formülü ile bulunur. Yapılan hesaplamalarda seri direnç (R_s) 72 k Ω olarak bulunmuştur.

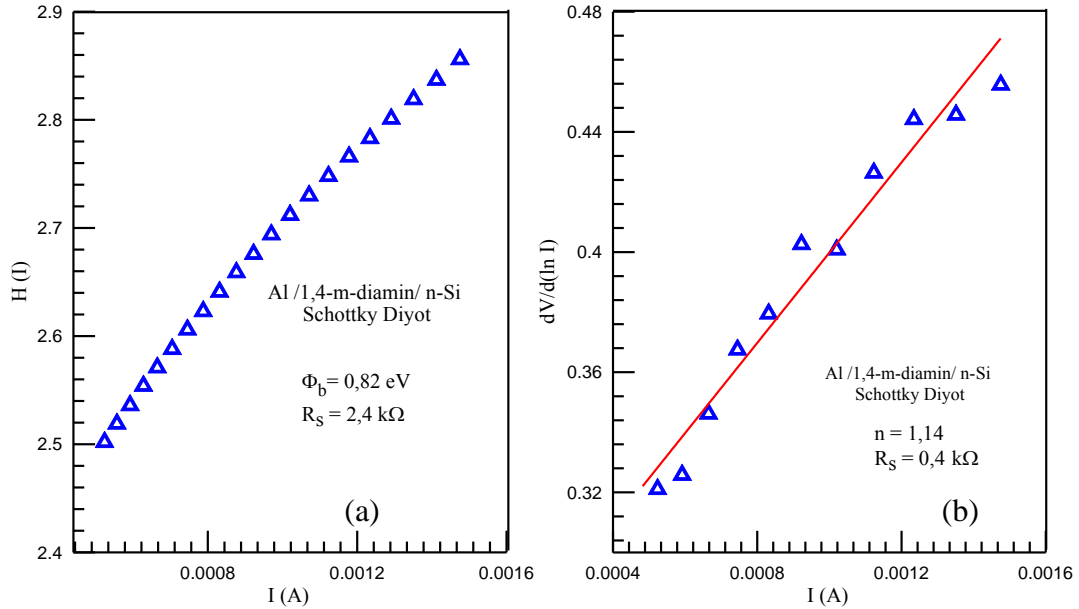
Diyotların akım gerilim ölçümlerinden Cheung formülleri yardımıyla engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç değerleri elde edilebilir. Cheung fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (5.9)$$

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{1}{AA^*T^2}\right) \quad (5.10)$$

$$H(I) = n\phi_n + IR_s \quad (5.11)$$

Burada denklem (5.9) ifadesine göre grafiğindeki linear bölgenin eğimi, diyotun R_s seri direncini verir. Yine aynı grafiğin koordinat eksenini kesim noktası ise n idealite faktörünü verir. Benzer şekilde Denk. (5.11)'in akıma göre grafiği çizilirse, elde edilen eğrilerin eğimi seri direnci, eğrinin düşey eksenini kestiği nokta ise Φ_b engel yüksekliğini verir. Şekil 5.4'de Al/1,4- μ m-diamin/n-Si diyodunun $H(I)$ - I ve $d(V)/d(\ln I)$ grafikleri görülmektedir. Burada Cheung ve Cheung fonksiyonları bize alternatif olarak bazı diyot parametrelerinin hesaplanması için bir yöntem sunar. Tablo 1'de Cheung metoduyla grafiğinin kesim noktasında elde edilen engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleri ile akım gerilim karakteristiklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.4. a) $H(I)$ - I grafiği, b) $dV/d(\ln I)$ - I grafiği

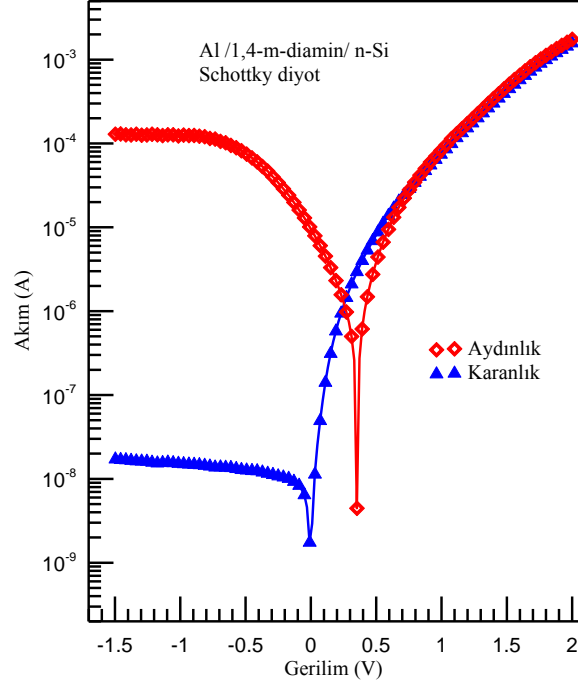
Tablo 5.1. Diyotun farklı hesaplamalar ile elde edilmiş parametreleri

I-V		Norde		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
n	Φ_b (eV)	Φ_b (eV)	R_s (k Ω)	n	R_s (k Ω)	Φ_b (eV)	R_s (k Ω)
1.13	0,82	0,83	72	1,14	0,4	0,82	2,4

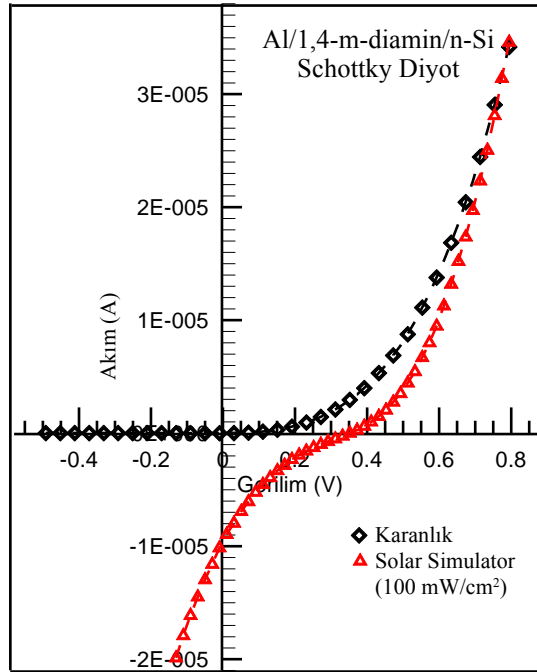
Seri direncin Norde ve Cheung fonksiyonlarından faydalanılarak yapılan hesaplamalarının farklı çıkması Norde fonksiyonlarının tüm doğru beslem değerleri üzerinde hesaplanırken, Cheung fonksiyonlarında sadece seri direnç bölgesinin hesaba katılmasına atfedilmiştir (Ocak 2010).

5.4. Fotoelektriksel Özelliklerin İncelenmesi

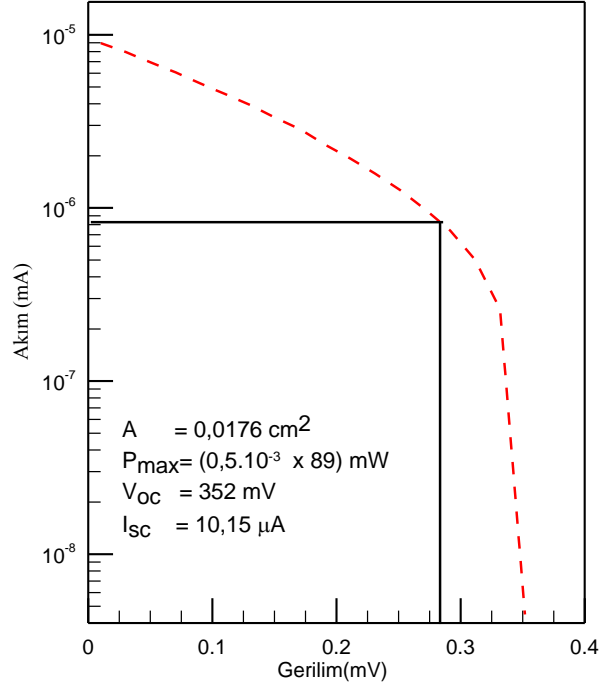
Burada oluşturulan Al/1,4- μ m-diamin /n-Si diyotunun fotoelektriksel karakterizasyonunun gerçekleştirilebilmesi için yapı I-V ölçümleri AM1.5 global filtreye sahip güneş simülatörü altında 1000 W/m² şiddetindeki ışık kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 5.8). Diyotun karanlık ve aydınlık ortamdaki ölçümleri sonucu çizilmiş lnI-V grafiği Şekil 5.5'te ve I-V grafiği ise Şekil 5.6'de gösterilmiştir. Bu grafikte diyotun ışığa karşı tepki verdiği görülmektedir. Bu sonuç bize bu diyotun ışık sensörü uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Ve yine diyodun fotodiyot özellik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.5. Diyotun karanlık ve aydınlık ortamdaki ölçümleri sonucu çizilmiş lnI-V grafiği



Şekil 5.6. Diyotun karanlıkta ve 100 mw/cm² ışık yoğunluğu altında akım gerilim grafiği



Şekil 5.7. Diyotun 100 mW/cm^2 ışık yoğunluğu altında foto voltaik parametreleri



Şekil 5.8. Keitley 2400 Sourcementer ve güneş simülatörü

Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum gücün $0,044 \text{ mW}$ ve dolum faktörünün $\% 12$, verimin ise $\% 0,25$ olduğu görülmüştür (Şekil 5.7).

Diyotun fotoelektriksel özelliği için güneş simülatörü kullanılmıştır. Güneş simülatörü atındaki ölçümleri alınmış ve (I-V) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.6). Diyotun ışığa duyarlı olduğu görülmüştür. Yine 1,4-m-diamin molekülünün çözeltilisi kullanılarak cam üzerine ince film oluşturulmuştur. Ve moleküle ait $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği çizilmiştir. Buradan yasak enerji aralığı 3,95 eV olarak elde edilmiştir.

Sonuçta yapılan diyotun doğrultucu özelliğinin var olduğu görülmüştür. Ve yine diyotun ışığa tepki verdiğinden dolayı bu molekülün optik ve elektriksel devre üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Arayüzey kalınlığı değiştirilerek yeniden incelenebilir.

KAYNAKLAR

Ansell BA (1982) *Adis Healt Science Pres.* S: 186

Bardeen J (1947) Surface state and rectification at a metal-semiconductor contact. *Phys.Rev.* s: 71: 717-727

Bethe H (1947) The electromagnetic shift of energy levels. *Phys. Rev.* s: 72-339

Biber M (2003) Low-temperature current–voltage characteristics of MIS Cu/n-GaAs and inhomogeneous Cu/n-GaAs Schottky diodes. *Physica B*, 325 s: 138–148

Braun F (1874) On the current conduction through metal sulphides. *Ann. Phys. Chem. Germany* s: 506

Bush DH (1967) *Helv. Chem. Acta.* s: 171

Çakar M, Temirci C, Türüt A (2004) *Synthetic Metals*, 142 s: 177-180

Cheung NW (1986) *J. Appl. Phys. Phys. Let.* 49 s: 85-87

Crowel CR, Roberts GI (1969) *J. Appl. Phys.* 40 s: 3726-3730

Davydov B (1939) On the contact resistance of semiconductors. *J. Phys. USSR*, 1 s: 167-174

Ellman GL, Courtney KD; Andres VJr, Featherstone RMA (1961) *Biochem. Pharmacol*, 7 s: 88

El-Nahass MM, Abd-El-Rahman KF, Farag AAM, Darwish AAA (2005) *Organic Electronics*, Photovoltaic properties of NiPc/p-Si (organic/inorganic) heterojunctions, 6 s: 129-136

Gaffar MA, El-Fadl AA, Anooz SB (2003) Electron irradiation-induced effects on optical spectra of $(\text{NH}_4)_2\text{ZnCl}_4 \cdot x \text{Sr}^{+2}$ single crystals, *Crystal Resorce Technology* s: 66

Gray JL (2003) Handbook of photovoltaic science and engineering, Luque A. Hegedus, S. John Wiley & Sons, Ltd. s: 64

Green Daniel WE (1992) Magnitude corrections for atmospheric extinction. International Comet Quarterly s: 1385

Güllü Ö (2008) H₂ Ön tavlmalı Au/n-GaAs diyotlarda elektriksel karakteristiklerin Schottky metal kalınlığı ve sıcaklığa bağlı değişiminin incelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum s: i

Güllü Ö, Aydoğan S, Türüt A (2008). Microelectron. Eng. 85 s: 1647

Helmut S (1976) Metal ions in biological systems, Marcel Dekker Inc.5 s: 2-50

Hiromitsu Y, Murakami TI (2003) Synthetic Metals, 137 s: 1385

Hodge AS, Humphrey DR, Rosenberry TL (1992) Mol. Pharmacol., 41 s: 931

Jiang YL, Ru GP, Lu F, Qu XP, Zong LB, Wei L, Zhen LA (2002) Schottky barrier height inhomogeneity of Ti/n-GaAs contact studied by the I-V-T technique. Chinese Physics Letters 19(4): 553-556

Kılıçoğlu T, Asubay S (2005) The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/Au-Sb Schottky barrier diodes, PhysicaB 368 s: 58

Lee TC, Fung S, Beling CD, Au ML (1992) J. Appl. Phys., 72 s: 4739-4742

Maeda K (2002) Identity of defect causing nonideality in nearly ideal au/n-si schottky barriers. Appl. Surf. Sci., 190 s: 445-449

Meyer RJ (1972) Introduction to classical and modern optics. Prentice-Hall s: 56

Morita M, Ohmi T, Hasegawa M, Kawakami M, Ohwada M (1990) Growth of native Oxide on a silicon surface. J. Appl. Phys., 68 s: 1272-1280

Mott NF (1938) Proc. Cambridge Philos. Soc., 34 s: 568

Norde H (1979) Journal of Applied Physics, 50 s: 5052

Ocak YS (2010) Organik-inorganik hibrit yapıların elektriksel ve fotoelektriksel karakterizasyonu, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır s: 2-104

Orthmer K (1968) Encyclopedia of chemical technology. 16 s: 795-804

Pankove J (1975) Optical process in semiconductors. Dover Publications, Inc. New York s: 54

Patai S (1970) Chemistry of the carbon-nitrogen double bond. s: 238-247

Rhoderick EH, Williams RH (1988) Metal-Semiconductor contacts. Clarendon Pres, Second Edition s: 54

Schottky W, Störmer R, Waibel F, Zeits FH (1931) 37, s: 162

Shirakawa H, Louis EJ, MacDiarmid AG, Chiang CK, Heeger A (1977) J. Chem. Commun s: 578

Sze SM (1981) Physics of semiconductor devices. JW and Sons Inc. New York s: 362

Tung TR (2001) Materials Science and Engineering, 35 s: 1-138

Türüt A, Tüzemen S, Yıldırım M, Abay B, Sağlam M (1992) Barrier height enhancement by annealing Cr-Ni-Co alloy Schottky contacts on LEC GaAs. Solid-St. Electron 35(10): 1423-1426

Yıldırım N, Gündük M, Orak İ, (2017) Au/n-Si Schottky diyotlarında termal tavlama ve numune sıcaklığının akım-gerilim karakteristiklerine etkileri. Cumhuriyet University Faculty of Science Science Journal (CSJ) 38(2): 275-285

Zhu S, Van Meirhaeghe RL, Detavernier C, Cardon. F, Ru GP, Qu XP, Li BZ (2000) Barrier height in homogeneities of epitaxial CoSi₂ Schottky contacts on n-Si (100) and (111). Solid-State Electron 44(4): 663-671

Ziel AV (1968) Solid State Physical Electronics. Prentice-Hall, Inc. New-Jersey s: 245

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Elâzığ'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da yaptı. 1995 yılında Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünü bitirdi. Daha sonra sırasıyla Tunceli-Pertek Mustafa Kemal Çok Programlı Lisesinde Fizik Öğretmenliği, Diyarbakır-Bismil Toki Ortaokulunda Fen Bilgisi Öğretmenliği görevlerinde bulundu. Şu anda Adana-Sarıçam Bilge Kağan Ortaokulu'nda Fen Bilgisi Öğretmenliği yapmakta olup, evli ve iki çocuk babasıdır.