

T.C.  
DICLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Au/Ru(II) KOMPLEKS/n-Si YAPILARIN ELEKTRİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ**

**Emine DİNÇOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR**

**Haziran 2017**



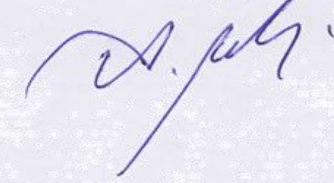


T.C  
DICLE UNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Emine DİNÇOĞLU tarafından yapılan “Au/Ru(II) Kompleks/n-Si Yapıların Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

<u>Ünvanı</u>	<u>Adı Soyadı</u>
Başkan: Prof. Dr.	Nezir YILDIRIM
Üye : Doç.Dr.	Sezai ASUBAY
Üye : Doç. Dr.	Yusuf Selim OCAK

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 18/07/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

... /..... /2017

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.



## TEŞEKKÜR

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Doç. Dr. Sezai ASUBAY rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Doç. Dr. Sezai ASUBAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında her türlü yardımı benden esirgemeyen, fikirlerinden istifade ettiğim ve benimle birlikte çalışmam boyunca verdiği destek ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK hocama teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımda bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen Dr. Ahmet TOMBAK'a, Ru(II) Kompleksinin sentezini gerçekleştiren Doç. Dr. Murat AYDEMİR ve deney arkadaşlarına teşekkür ederim.

Bu tez DÜBAP tarafından 15-FF-13 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir. DÜBAP'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her türlü destek ve teşviklerini gördüğüm aileme çalışmalarım ve tez yazımı esnasında hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	IV
ÇİZELGE LİSTESİ .....	V
ŞEKİL LİSTESİ .....	VI
KISALTMA VE SİMGELER .....	VIII
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	3
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	9
3.1. Giriş .....	9
3.2. Metal -Yarıiletken Kontaklar .....	9
3.2.1. Doğrultucu Kontaklar .....	10
3.2.2. Omik Kontaklar .....	12
3.2.3. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları .....	14
3.2.4. Termoiyonik Emisyon(TE) Teorisi .....	15
3.2.5. Schottky Diyotlarda Seri Direnç Etkisi .....	17
3.3. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri .....	18
3.3.1. Termal Buharlaştırma Yöntemi .....	19
3.4. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi .....	20
3.4.1. Hava Kitlesi .....	20
3.4.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu .....	22
3.5. Deneysel İşlemler .....	26
3.5.1. Omik Kontakın Oluşturulması .....	26
3.5.2. Au/Ru(II) Kompleks/n-Si yapısının Oluşturulması .....	27
3.5.3. Oluşturulan Yapının Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....	28
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	29
4.1. Giriş .....	29
4.2. Au/Ru(II) Kompleksi/n-Si Diyotunun Akım-Gerilim Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlılığı .....	29
4.3. Au/Ru(II) Kompleksi/n-Si Diyotunun Fotoelektriksel Özellikleri .....	36
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	39
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	45



## ÖZET

### Au/Ru(II) KOMPLEKS/n-Si YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine DİNÇOĞLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

2017

Bu çalışmada yeni sentezlenmiş Ru(II) kompleksi ile oluşturulan Au/Ru(II) kompleks/n-Si yapısının elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelendi. Bu amaçla n-Si altaşa önce Au metalinin buharlaştırılması ve 420 C’de tavlama ile omik kontak oluşturuldu. Ardından dönel kaplama yöntemi ile Ru(II) kompleks ince filmi n-Si yarıiletken üzerine oluşturuldu ve Au metalinin oluşturulan yapı üzerine buharlaştırılması ile Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotu oluşturulmuş oldu. Oluşturulan yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğu görüldü.

Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun akım-gerilim ( $I-V$ ) ölçümleri geniş sıcaklık aralığında (77-350 K) gerçekleştirildi. Diyotun temel elektriksel parametreleri olan idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri her sıcaklık için hesaplandı. Yapılan hesaplamalarda, yapının idealite faktörü ve seri direnç değerlerinin sıcaklık arttıkça azaldığı, engel yüksekliğinin ise sıcaklık ile orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Ayrıca, yapının  $I-V$  ölçümleri güneş simülatörü altında farklı ışık yoğunluklarında ölçülmüş, yapının ışığa karşı duyarlı oldukları görüldü. Yapının ışığa duyarlılık, açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) gibi fotoelektriksel özelliklerinin ışık yoğunluğu ile artmakta olduğu görüldü. Bu sonuç yapının arayüzeyine düşen ışık miktarı arttıkça, arayüzeyde oluşan elektron-deşik çiftlerinin artmasına atfedildi.

**Anahtar Kelimeler:** Schottky Diyot, Ru(II) kompleksi, elektriksel özellikler, fotoelektriksel özellikler

## ABSTRACT

### EXAMINATION of TEMPERATURE DEPENDENT ELECTRICAL PROPERTIES of Au/Ru(II) COMPLEX/n-Si STRUCTURE

MSc THESIS

Emine DİNÇOĞLU

DEPARTMENT OF PHYSICS  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF DICLE

2017

In this study, the dependence of the electrical properties of Au/Ru (II) complex/n-Si structure formed by the newly synthesized Ru (II) complex on the temperature was investigated. For this purpose, an ohmic contact was formed by evaporation of the Au metal and annealing at 420 C for the n-Si substrate. Then, the Ru (II) complex thin film was formed on the n-Si semiconductor by the spin coating and Au/Ru (II) complex/n-Si diode was formed by evaporation of the Au metal on the formed structure. It has been seen that the created structure has the rectifier property.

Current-voltage (I-V) measurements of Au/Ru (II) complex/n-Si diodes were performed at wide temperature range (77-350 K). Basic electrical parameters of diode such as ideal factor, barrier height and series resistance values were calculated for each temperature. It was seen that the ideality factor and the series resistance values decreased with increasing temperature and the barriers increased with temperature.

In addition, the I-V measurements of the structure were measured at different light intensities under a solar simulator, and it was found that the structure was sensitive to light. It was seen that the photoelectric properties such as sensitivity to light, open circuit voltage ( $V_{OC}$ ) and short circuit current ( $I_{SC}$ ) are increased by light intensity. It was attributed that the increase of the amount of light falling to the interface results the increase of the electron-hole pairs formed at the interface

**Key Words:** Schottky Diode, Ru(II) Complex, electrical properties, photoelectrical properties



## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 4.1</b>	Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun sıcaklığa bağlı bazı elektriksel parametreleri	31
<b>Çizelge 4.2.</b>	Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun bazı fotoelektriksel parametreleri	38

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Perovskit tabanlı bir güneş pilinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş kesiti	5
Şekil 2.2.	Coumarin 30 bileşiğinin molekül yapısı	6
Şekil 3.1.	Metal-n-tipi yarı iletkenlerin enerji bant şeması a) bir kontağın oluşturulmasından önce b) bir kontağın oluşmasından sonra	11
Şekil 3.2.	Omik ve Schottky kontakların akım-gerilim grafiği	12
Şekil 3.3.	Omik kontakların a) düşük metal yarıiletken engeli b) tünelleme ve c) alaşım tabakası ile oluşturulması	13
Şekil 3.4.	Metal-yarıiletken n tipi kontaklarda doğru beslem altında akım iletim mekanizmaları	14
Şekil 3.5.	Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisine ait enerji bant diyagramı	16
Şekil 3.6.	Metal/yarıiletken kontakta seri direncin $I-V$ karakteristiğine etkisi	18
Şekil 3.7.	Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi	20
Şekil 3.8.	Hava kitle numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının şematik gösterilişi	21
Şekil 3.9.	Kara cisim ışınması, AM0 ve AM1.5 spektrumları gösterimi	22
Şekil 3.10.	a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterilişi b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği	23
Şekil 3.11.	Güneş pillerinde akım-gerilim grafiği	23
Şekil 3.12.	Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterilmesi	24
Şekil 3.13.	Güneş pili üzerine paralel direncin etkisi ( $R_s=0$ durumunda)	25
Şekil 3.14.	Güneş pili üzerine seri direncin etkisi ( $R_p=\infty$ durumunda)	25
Şekil 3.15.	Bu çalışmada kullanılan tavlama fırını	26
Şekil 3.16.	Çalışmada kullanılan Ru(II) kompleksinin molekül	27
Şekil 3.17.	Oluşturulan Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun şematik gösterimi	28
Şekil 3.18.	Keithley 2400 ve güneş simülatöründen oluşan ölçüm sistemi	28
Şekil 4.1.	Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun sıcaklığa bağlı I-V grafiği	30
Şekil 4.2.	Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun idealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı	32

<b>Şekil 4.3.</b>	Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlılığı	33
<b>Şekil 4.4.</b>	Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun engel yüksekliğinin idealite faktörüne bağlılığı	34
<b>Şekil 4.5.</b>	Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotuna ait $F(V)-V$ eğrileri	35
<b>Şekil 4.6.</b>	Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun seri direncinin sıcaklığa bağlılığı	36
<b>Şekil 4.7.</b>	Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun farklı ışık yoğunluklarındaki I-V ölçümleri	37



## KISALTMA VE SİMGELER

$A$	: Diyotun etkin alanı
$A^*$	:Richardson sabiti
$AC$	: Alternatif akım
$AM 1.5$	: Hava kütlesi 1.5
$a_s$	: Soğurma katsayısı
$\alpha_e$	: Emisyon katsayısı
$C$	: Kapasite
$C-V$	: Kapasite-Gerilim
$DC$	: Doğru akım
$D$	: Uzay yükü bölgesinin genişliği
$E_c$	: İletkenlik bandının tabanı
$E_f$	: Fermi enerji seviyesi
$E_g$	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
$eV$	: Elektron volt
$\Phi_b$	: Schottky engel yüksekliği
$\Phi_b (C-V)$	: Kapasite gerilim ile ölçülen Schottky engel yüksekliği
$\Phi_m$	: Metalin iş fonksiyonu
$\Phi_s$	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
$\chi$	: Yarıiletkenin elektron ilgisi
$H$	: Planck sabiti
$I-V$	: Akım-Gerilim
$I_m$	: Güneş pili için maksimum akım
$I_0$	: Ters besleme doyma akımı
$J$	: Akım yoğunluğu

$K$	: Boltzmann sabiti
$LED$	: Işık yayan diyot
$m_h^*$	: Boşluğun etkin kütlesi
$m_n^*$	: Elektronun etkin kütlesi
$MS$	: Metal yarıiletken kontak
$MIS$	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken kontak
$N$	: İdealite faktörü
$n-Si$	: n-tipi silisyum kristali
$N_a$	: Alıcı konsantrasyonu
$N_c$	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu
$N_d$	: Verici konsantrasyonu
$n-Si$	: n-tipi silisyum kristali
$Q$	: Elektronun yükü
$R_p$	: Paralel direnç
$R_s$	: Seri direnç
$S$	: Güneş pilinin etkin alanı
$T$	: Mutlak sıcaklık
$V_{b0}$	: Difüzyon potansiyeli
$V_{diff}$	: Difüzyon potansiyeli
$V_m$	: Güneş pili için maksimum gerilim
$V_n$	: Yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki fark
$V_{oc}$	: Açık devre gerilimi



## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektronikte yaşanan gelişmeler ve değişimler gündelik hayatımızı etkilemektedir. Bu etkileşimler bazen olumsuz olsa da genellikle hayatımızı olumlu etkiler. Günümüzde elektronik malzemeler haberleşme, sinyal işleme, otomotiv ve otomasyon gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Her geçen gün artan kullanım alanlarından dolayı elektronik devre elemanları hakkında bilgilerimiz artmaktadır. Bununla birlikte bilinmeyen pek çok bilgide mevcuttur. Elektronik devre elemanlarından biri de diyottur. Metal-yarıiletken (MS) kontak diyotlar son zamanlarda yarıiletken teknolojisinde, görünür bölge ve mor ötesi (UV) dedektörleri ve güneş pilleri gibi birçok elektrik ve optoelektronik aygıt üretiminde yoğun bir şekilde kullanılır hale gelmiştir.

İlk üretilen yarıiletken aygıt MS kontaklardır ve neredeyse tüm devre elemanlarında yer alırlar. MS kontaklar omik ve doğrultucu kontaklar olarak ele alınır. Omik kontaklar akımı her iki yöne geçirirken, doğrultucu kontaklar akımın tek bir yönde ilerlemesine izin verir. MS kontakların ardından geliştirilen p-n eklemler iki farklı yarıiletkenin kontak haline getirilmesi ile elde edilir. MS kontaklarda akım çoğunluk taşıyıcıları ile sağlandığından yüksek anahtarlama hızına sahiptir. Bu durum özellikle detektör uygulamalarında MS kontakların kullanılmasının önünü açmıştır.

Farklı yarıiletken ve metal kombinezonları ile üretilen metal-yarıiletken (MS) yapılar üzerine çalışmalar uzun zamanlardan beri devam etmekte olup; bu çalışmalardan bazıları yeni yarıiletken malzemelerin sentezlenip aygıt üretiminde kullanılması, bazıları ise geliştirilen bu aygıtların yarıiletkenlerin elektronik ve optoelektronik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerinden yeterince faydalanılması şeklindedir (Ocak 2010).

MS kontakların elektriksel ve optoelektronik özelliklerinin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlar arasında organik ara yüzeylerin kullanılması gösterilebilir. Yapılan çalışmalar organik ara yüzeyler ile MS kontakların idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnci ve fotoelektriksel özelliklerinin modifiye edildiği gösterilmiştir.

1977 yılında, ünlü fizikçiler Alan Heeger, ve kimyacı Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa'nın, polimerlerin elektriksel özelliklerinin modifiye edilmesi üzerine yaptığı çalışmadan sonra organik bileşiklerin devre elemanlarında kullanılmaya



başlamıştır. Bunlar arasında organik tabanlı ışık yayan diyotlar (OLED) ve organik güneş pilleri gösterilebilir. Heeger ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmanın elektronik dünyasında çığır açmasından dolayı 2000 yılında Nobel Kimya ödülüyle onurlandırılmışlardır (Heeger 1977). Organik malzemelerin, kolayca üretilebilir ve düşük maliyetleri olmaları gibi avantajları vardır. Ayrıca farklı amaçlara uygun farklı özelliklere sahip bileşiklerin sentezlenebilme ihtimali ve geniş alanlara uygulanabilirliği organik tabanlı elektronik ve optoelektronik aletlerin üretiminde, organik maddelere olan ilgiyi arttırmıştır (Ocak 2010).

Bu çalışmada yeni sentezlenmiş pi bağları açısından zengin Ru(II) kompleksinin n-Si yarıiletken üzerine dönel kaplama yöntemi ile kaplanması ve organik yüzey üzerine Au metalinin buharlaştırılması ile Au/Ru(II) Kompleks/n-Si yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının akım-gerilim karakterizasyonu kriyostat ve sıcaklık kontrolörü yardımı ile geniş sıcaklık aralığında (77-350 K) ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapının idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnci gibi temel elektronik parametrelerinin sıcaklığa bağlılığı araştırılmıştır. Ardından aynı yapının elektriksel özellikleri farklı ışık yoğunluğunda güneş simülatörü yardımı ile ölçülerek yapının fotoelektriksel özellikleri belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Temel ihtiyaçlarımızın karşılanmasında kullanılan telefon, bilgisayar, yazıcı, dvd, tv, radyo, telsiz, uydular, klima, otomobil gibi alet ve araçlar günümüzde elektronik bilim dalının gelişmesiyle oluşmuşlardır. 1874 yılında Braun'un, sülfat kristallerinde elektriksel iletkenliğinin asimetric olduğunu keşfetmesiyle beraber tüm bu teknolojik gelişmelerin temeli oluşturmuştur. Braun'un bu keşfi metal/yarıiletken (MS) kontaklarının başlangıcı olarak bilinmektedir. 1906 yılında Pickard, Braun'un bu keşfinden sonra, silisyum kullanarak metal-yarıiletken kontakına dayalı bir detektör patentini aldı. Pierce (1907), metal teli yarıiletken yüzeye nokta kontak oluşturmuş ve elde ettiği MS eklemının doğrultucu özelliklerini incelemiştir (Neamen 2003).

1931 yılında, MS kontakların doğrultma özellikleriyle ilgili ilk çalışmayı başta Schottky olmak üzere, Störmer ve Waibel yapmışlardır (Schottky 1931). Bu çalışmalardan sonra Wilson, Kuantum mekaniğini ilk olarak MS diyotlara uygulayan kişi olmuştur (Wilson 1932). Wilson, kuantum mekaniksel tünellemeyi ve doğrultma için ters polariteyi yaptığı çalışmalar sonucunda bulmuştur.

1938 yılında birbirlerinden bağımsız olarak Schottky ve Mott yaptıkları çalışmalarla diyotlarda doğrultma olayının elektronların potansiyel engeli üzerinden sürüklenmesi ve difüzyonu ile açıklanabileceğini ileri sürdüler. Daha sonra Schottky-Mott teorisi olarak adlandırılan bu teoriye göre, MS noktalarda oluşan potansiyel engelin kaynağı, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki nicelik farkıdır (Rhoderic ve Ark. 1988).

Daha sonraki yıllarda Schottky yaptığı çalışmalarda engel yüksekliğinin, metalin iş fonksiyonu haricinde, oluşturulan kontakların hazırlanma yöntemlerine bağlı olduğunu belirlemiştir. Çünkü Schottky-Mott teorisi ideal diyotlar için hazırlanmış bir teoriydi. Oysaki laboratuvar ortamında hazırlanan MS kontaklarda bir ara yüzey mutlaka oluşur. Oluşan bu ara yüzeyin elektronik özellikleri, diyotun karakteristik özelliklerini değiştirir (Bardeen 1947).

Rhoderick ve Card'ın yaptığı çalışmalar, Bardeen'i destekleyen çalışmaların başında gelir. Bu bilim insanları Rhoderick, Card ve Bardeen, MS kontakın ara yüzey hal yoğunluğunu belirlediler. Bu ara yüzey hal yoğunluğu ile arayüzey tabakasının akım-gerilim ( $I-V$ ) karakteristiklerinin, idealite faktörü üzerine etkilerini açıkladılar (Rhoderic ve Card 1971).

Engel yüksekliğinin homojensizliğinden dolayı idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin diyottan diyota farklılık gösterebileceğini 1987 yılında Mönch göstermiştir (Mönch 1987).

Cheung ve Cheung ideal ve ideal olmayan diyotlar üzerinde, doğru beslem  $I-V$  grafiklerini kullanarak, Schottky diyotların başta seri direnç olmak üzere temel elektriksel parametrelerini belirlemek için geliştirdikleri bir hesaplama yöntemi kullandılar. Bu uygulamanın daha sonralarında ise seri direncin yanı sıra, paralel direncin hesaplanması ile ilgili çalışmalarda yapıldı (Cheung ve Cheung 1986).

Deneyler çok hassas ve itinayla yapılmasına rağmen, metal ve yarıiletken arasında çok ince bir arayüzey (yalıtkan) tabaka oluşur. Diyotun karakteristiğini etkileyen bu ara yüzey tabaka, MS diyotunu MIS (Metal-insulator-semiconductor) diyotuna dönüştürür. Ayrıca bu ara yüzey tabakanın elektroniksel özellikleri diyot karakteristiğine önemli miktarda etkileri vardır. Bu arayüzeyin Schottky diyotları üzerine etkilerini ilk inceleyen kişiler Cowley ve Sze 'dir. Yapmış oldukları bu çalışmalarla ara yüzeylerin kalınlığının, idealite faktörüne ve engel yüksekliğine nasıl etkilerinin olduğunu, doğru beslem  $I-V$  grafiğini inceleyerek açıklamışlardır (Cowley ve Sze 1965).

Tseng ve Wu, ara yüzey durumlarının, Schottky kontaklarının elektriksel özelliklerini nasıl etkilediğini 1987'de incelediler. Tseng ve Wu yaptıkları çalışmalarla ara yüzey hallerinin Schottky kontaklarının  $I-V$  davranışı üzerine etkilerini incelediler. Tseng ve Wu yaptıkları çalışmalarla bu karakteristiklerden, ara yüzey hallerinin enerji dağılımını ve ara yüzey hallerinin sığasını hesapladılar. Rhoderick, Horvarth ve Card onlardan bağımsız olarak ara yüzey hallerinin diyot karakteristiğine etkilerini inceleyip, yaptıkları bu çalışmalarla ara yüzey durum dağılımı ve ara yüzey tabaka kalınlığının düz ve ters beslem  $I-V$  karakteristiğinden elde edileceğini gösterdiler (Crowell 1966).

Chattopadyay ve Daw MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) diyotlarının,  $I-V$  karakteristiklerinin ve diyotların engel yüksekliğinin oksit kalınlığına bağlılığının, Cowley ve Sze'nin engel yüksekliği modeline uyduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte, ara yüzeyde oluşan oksit tabakasının kalınlığa göre, engel yüksekliğinin değişimini incelediler (Chattopadyay 1995).

Türüt ve Sağlam Al/n-Si/Au-Sb Schottky diyotlarının  $I-V$  ve  $C-V$  grafiğindeki doğrusallıktan sapmayı, ara yüzey hallerinin artık sığası yardımıyla açıklanabileceğini

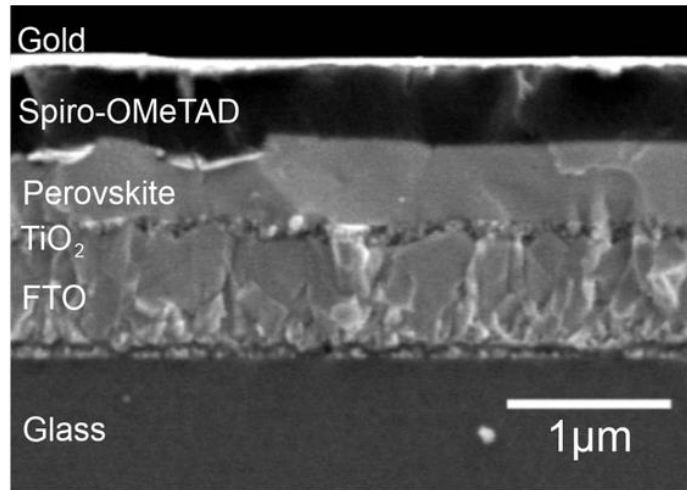
gösterdiler. (Türüt ve Sağlam 1992).

Kılıçoğlu ve Asubay Au/n-Si/AuSb ile oluşturdukları Schottky diyotlarda oksit tabakasının idealite faktörü, engel yüksekliği, ara yüzey durumları üzerine etkisini araştırmışlardır. Karataş ve Türüt Au/n-GaAs ile oluşturulan Schottky diyotlarda ara yüzey dağılımlarını incelemişlerdir. Aydın ve arkadaşları, Pb/p-Si Schottky kontaklarda nötral bölgenin direncinin ara yüzey durumları hesabı üzerindeki önemini belirtmişlerdir. Çetinkara ve arkadaşları, Au/n-Si Schottky diyotlarında, kontakta önce yüzeyde oluşan doğal oksidin diyot karakteristikleri üzerine etkisini incelemişlerdir (Kılıçoğlu ve Asubay 2005).

Alan Heeger ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalardan sonra organik bileşikler kullanılarak elektronik aygıtların geliştirilmesi veya mevcut aygıtların elektriksel ve optik özelliklerinin modifiye edilmesi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Örneğin B O'regan and M Grätzel 1991 yılında maliyet etkin, kolay geniş yüzeylere uygulanabilir bir yöntem ile fotovoltaik aygıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmada TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar ve Ru(II) kompleksi kullanarak organik-inorganik heteroeklem güneş pili oluşturmuşlardır. Yapılan bu çalışmada yaklaşık 10 µm TiO<sub>2</sub> film kullanılarak %12 verimli güneş pilleri üretilmiştir. Oluşturulan bu yapıya Gratzel güneş pili veya boya ile duyarlılaştırılmış güneş pilleri (DSSC) denilmiştir.

Gratzel'in bu çalışmasından sonra organik-inorganik heteroeklem güneş pillerinin geliştirilmesi için bir çok çalışma yapılmıştır. 2009 yılında perovskit tabanlı



Şekil 2.1 Perovskit tabanlı bir güneş pilinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş kesiti

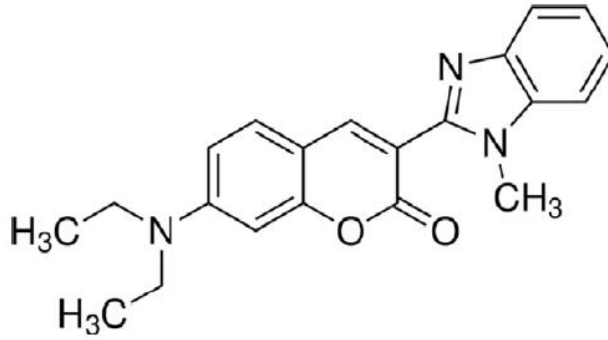
ilk güneş pili geliştirilmiş ve bu yapı ile %3,9 verim elde edilmiştir (Kojima ve ark.

2009). Bu yapılarda organik bileşik olarak  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  bileşiği kullanılmıştır. Ardından yapılan çalışmalar ile bu verim değeri, %22,1 seviyelerine çıkarılmıştır.

Ocak ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmaya göre, metilen mavisini MS diyotunda ara yüzey tabakası olarak kullanıp, diyotun *I-V* ölçümlerini almışlardır. Sn/p-Si MS diyotunun hesaplamalarında, metilen mavisinin engel yüksekliğini büyük oranda değiştirdiğini, bundan dolayı diyot karakteristiğine büyük etkilerinin olduğunu göstermişlerdir (Ocak ve ark. 2009).

Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre, CuPc (Bakır Fitalosiyenin) bileşiği kullanılarak hazırlanan diyotlar incelenmiştir. Morötesi ışık altında alınan *I-V* ölçümlerinde bu diyotların morötesi bölgede fotovoltajik karakter gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu diyotların verimliliği %1.03 oranına sahip olduğunu hesaplamışlardır (Chen 2006).

Tombak ve arkadaşları Coumarin 30 bileşiğini kullanarak Al/Coumarin 30/p-Si yapısını oluşturmuş, oluşturulan yapıda Coumarin 30 bileşiği ile Al/p-Si MS kontakın elektriksel özelliklerinin modifiye edilebileceğini göstermişlerdir. Bahsi geçen çalışmada Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun 300-380 K aralığında akım-gerilim ölçümleri alınmış ve yapının elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelenmiştir. Çalışmada Coumarin 30 bileşiği ile sıcaklık sensörü üretilebileceği gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Coumarin 30 bileşiğinin molekül yapısı

Bu tezde yeni sentezlenmiş bir Ru(II) kompleksi kullanılarak Au/Ru(II) kompleksi/n-Si yapısının elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelenmiştir. Bu amaçla önce n-Si yarıiletkenin mat tarafında Au buharlaştırılması ve 420 C'de tavlama ile omik kontak oluşturulmuştur. Ardından dönele kaplama yöntemi ile Ru(II) kompleksinin kloroformdaki çözeltisi kullanılarak Ru(II) kompleksinin ince filmi n-

Si/Au yapısı üzerinde oluşturulmuştur. Ardından yapıya doğrultucu kontak olarak Au metali buharlaştırılarak Au/Ru(II) kompleksi/n-Si yapısının oluşturulması tamamlanmıştır. Yapının oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümleri incelendiğinde doğrultucu özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Yapının sıcaklığa bağlı akım-gerilim ölçümleri 77-350 K aralığında alınarak yapının idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnci gibi elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelenmiştir. Ayrıca bahsi geçen yapının elektriksel özellikleri farklı ışık yoğunluklarında güneş simülatörü yardımı ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda yeni sentezlenmiş Ru(II) kompleksinin yapısının sıcaklık ve ışık sensörü gibi elektrik ve optoelektronik devre elamanlarının üretiminde kullanılabileceği gösterilmiştir.





### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Giriş

Bu bölümde önce metal-yarıiletken (MS) kontakların oluşumu, doğrultucu ve omik kontaklar, MS kontaklarda termoiyonik emisyon teorisi ve MS kontaklarda seri direnç etkisinden bahsedilecektir. Ardından çalışmada kullanılan termal buharlaştırma yönteminden ve fotoelektriksel özelliklerin belirlenmesi anlatılacaktır. Son olarak yapılan deneysel çalışmalar detaylıca verilmiştir.

#### 3.2. Metal -Yarıiletken Kontaklar

Metal yarıiletken (MS) kontaklar günümüz teolojisinde büyük önem taşımaktadır, çünkü her türlü yarı iletken tabanlı elektronik cihazların imalatında kullanılırlar. İyi bir kontak için, kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemesinin, en az dirençle temas ettirmek gerekir. İdeal bir kontak temas eden malzemelerin arasındaki direncinin sıfır olmasıyla oluşur. Ayrıca kontak malzemelerinin temiz olmasıyla da doğrudan ilişkilidir. MS kontakları, omik kontaklar ve doğrultucu Schottky kontakları gibi iki ayrı kısımda incelenebilir.

Bir metal ve yarı iletken aralarında herhangi bir malzeme bulunmayan bir temas kurduğunda buna MS kantağı denir. Ms kontakları oluşurken metal ile yarıiletken ara yüzeyleri arasında potansiyel engeline oluşur. Bu potansiyel engeli Schottky-Mott teorisine göre, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Kontakta oluşan potansiyel engel yarıiletkenin tipine, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonuna göre isim alır. Teorik olarak metalin iş fonksiyonu(  $\Phi_m$ ; metalin iş fonksiyonu) yarıiletkenin iş fonksiyonundan(  $\Phi_s$ ; yarıiletkenin iş fonksiyonu) daha büyük ise P tipi yarıiletkenlerde omik kontak oluşur. Yarıiletken iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan daha büyükse doğrultucu Schottky kontaklar oluşur.

#### n tipi kontaklar için

$$\Phi_m > \Phi_s \quad \text{doğrultucu}$$

$$\Phi_m < \Phi_s \quad \text{omik}$$

#### p tipi kontaklar için

$$\Phi_m > \Phi_s \quad \text{omik}$$

$$\Phi_m < \Phi_s \quad \text{doğrultucu}$$

### 3.2.1. Doğrultucu Kontaklar

$q\phi_m$  metalin iş fonksiyonudur. Buda  $q(x + \phi_n)$  'e eşittir. Bu ifade de  $q\chi$  elektron ilgisidir. İletim bandının tabanı ile vakum seviyesindeki fark olarak tanımlanan elektron yakınlığıdır. İki iş fonksiyonu arasındaki fark kontak potansiyeli olarak isimlendirilir ( $\phi_m - (\chi + \phi_n)$ ).  $q_n$  ise fermi seviyesi ile iletim bandı arasındaki enerji miktarıdır. Kontak oluşturacak metal ile yarıiletken arasındaki mesafe miktarı azaltıldığında, bu bölgede oluşan elektrik alanı artar ve negatif taşıyıcı miktarı azalır. Tatmin edici bölgede negatif taşıyıcı kadar olumlu bir taşıyıcı oluşturulmalıdır. Potansiyel farkı p-n eklemine bir tarafına çok benzer. Metal ile yarıiletken arasındaki mesafe çok küçükse, bu bölge elektronlar için şeffaf hale gelir, yani elektronlar için geçirgen olur bu bölge ve Şek. 3.1 oluşur. Bir metal ile bir p-tipi yarıiletken arasında ideal bir kontak için engel yüksekliği şu şekildedir (Rhoderick ve Williams 1988)

$$q\phi_{bn} = q(\phi_m - \chi) \quad 3.1$$

$$q\phi_{bp} = E_g - q(\phi_m - \chi) \quad 3.2$$

Bu nedenle, bir metal ve p-tipi ve n-tipi yarı iletken kullanılarak oluşturulmuş bir MS kantağının engel yüksekliklerinin toplamı, yarıiletkenlerin bant aralığına eşittir.

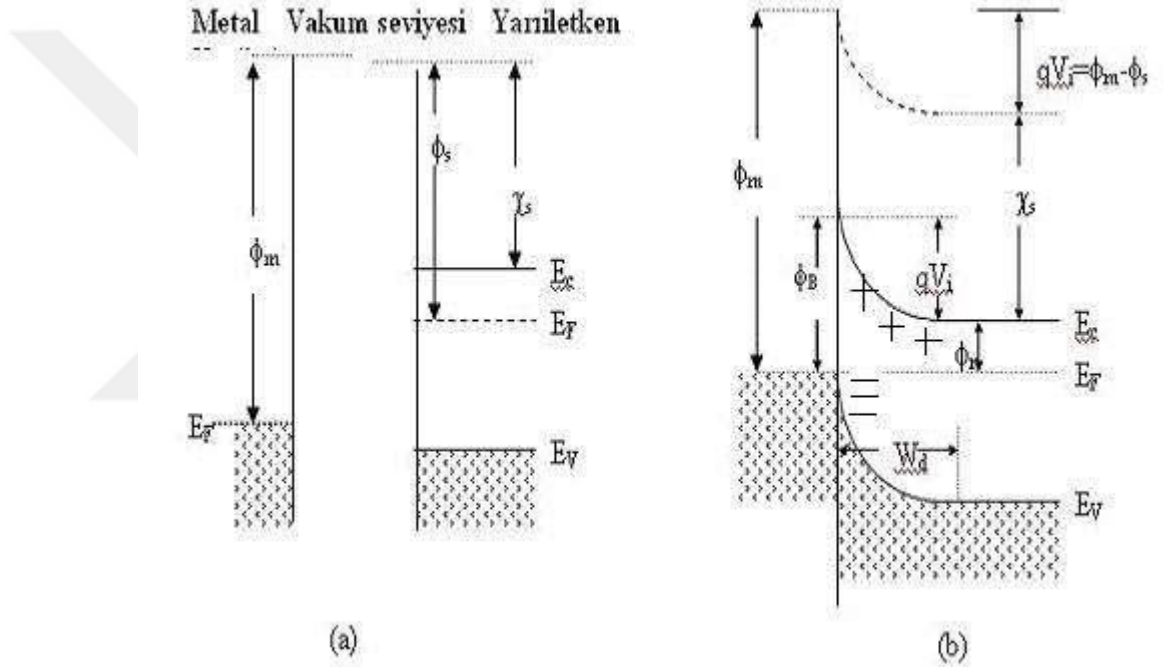
$$E_g = q(\phi_{bp} + \phi_{bn}) \quad 3.3$$

Bir n-tipi yarı iletken kullanılarak oluşturulan bir MS kantağı için, kantağın yarıiletken tarafındaki pozitif yükler, yarıiletkenin iç tarafında hareketsiz oldukları için birer uzay yüküdürler. Bir ters potansiyel kantağa uygulandığında, potansiyel engeli geçmek isteyen elektronlar için engel yüksekliği değişmez. Bu nedenle yarıiletkenden metala giden akım akışı sabitlenir. Öte yandan, elektronlar metalden yarı iletken geçerken bariyer yüksekliği eV değerinde düşer ve metalden yarı iletkene giden akım miktarı  $\exp(-eV / kT)$  faktörü kadar azalır. Bu nedenle, net akım şu şekilde ifade edilebilir (Rhoderick ve Williams 1988).

$$I = I_0 \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right]$$

3.4

Burada I net akım,  $I_0$  zıt yöndeki sızıntı akımı, q elektron yükü, V uygulanan voltaj(gerilim), n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Burada I net akımı pozitifdir ve bu duruma da düz besleme durumu denir. Yarı iletken tarafına pozitif bir voltaj uygulandığında iletim bandı yaklaşık eV kadar azalır ve yarıiletken taraftaki engel yüksekliği yaklaşık eV kadar artar. Bu duruma da ters besleme durumu denir.



**Şekil.3.1** Metal-n-tipi yarı iletkenlerin enerji bant şeması a) bir kontağın oluşturulmasından önce b) bir kontağın oluşmasından sonra

Şekil 3.1 de metal ile yarıiletkenin tek başlarına enerji durumlarını gösteriyor. a grafiğinde metal ile yarıiletkenin kontakdan önceki enerji durumu, b ise kontak oluşuktan sonraki termal dengedeki enerji durumunu ifade ediyor.

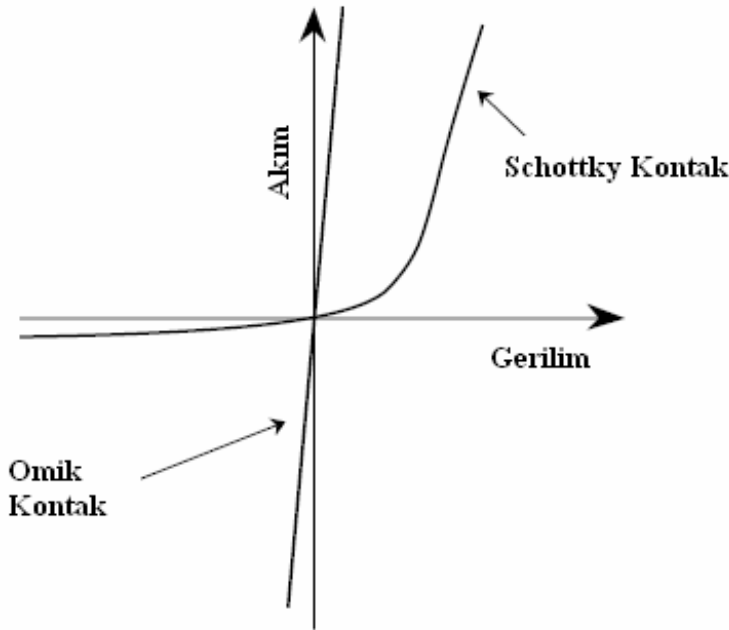
### 3.2.2. Omik Kontaklar

Oluşturulan bir metal yarıiletken kontakta yarıiletkenin iş fonksiyonunun metalin iş fonksiyonundan büyük ( $\Phi_s > \Phi_m$ ) olması halinde omik kontak oluşur. Akım yarıiletken ile metal arasında her iki yönde de sağlanır.

Omik kontakları kullanmanın önemli nedeni, asgari(minimum) dirençle yarı iletkenden akım almak veya akım vermektir. Omik kontak, ohm yasasına uygun çalışır. Oluşturulan omik kontakın kalitesi kontak direnciyle ilgilidir. Bu direnç şu şekilde yazılır:

$$R_C = \left( \frac{\partial I}{\partial V} \right)_{V=0}^{-1} \quad 3.5$$

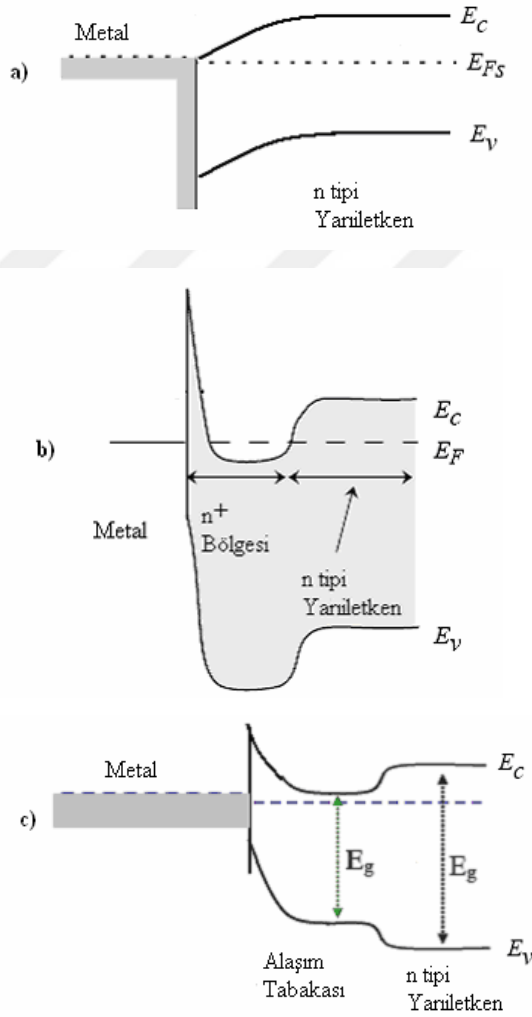
Bu kontak direncine potansiyel engeli de denir. Oluşturulan kontakın omik ya da doğrultucu karakterde olduğu potansiyel engelin yüksekliğinden etkilenir. Yani bir kontak için engel yüksekliği değeri oda sıcaklığında yaklaşık 0,3 eV tan daha düşükse omik, 0,3 eV değerinden daha büyükse doğrultucu özelliğe sahiptir. Şekil3.2 de bir metal yarıiletken kontakın, doğrultucu ve omik kontakın akım-gerilim karakteristiği görülmektedir.



Şekil 3.2 Omik ve Schottky kontakların akım-gerilim grafiği

Omik kontak elde etmek için üç farklı yöntem kullanılır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Yeni oluşturan metal-yarıiletken kontakta engel yüksekliğinin düşük olması şartıyla elektronların her iki yönde akım oluşturabileceği omik kontak oluşturulabilir.
2. Metal-yarıiletken kontakta engel yüksekliği büyük ise arasındaki elektronların tünelleme yapabileceği dar bir potansiyel engeli oluşturmak koşuluyla omik kontak elde edilebilir.
3. Termal difüzyon yoluyla dar bant aralıklı ve taban malzeme ile benzer özellikte bir alaşım tabakası oluşturmak koşuluyla omik kontak oluşturulabilir.

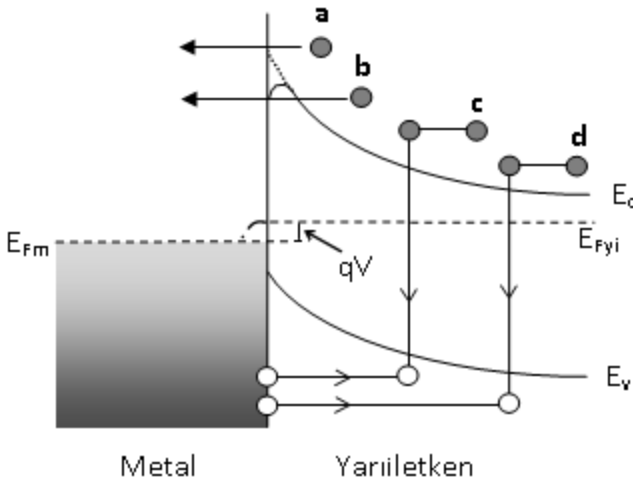


**Şekil 3.3.** Omik kontakların a) düşük metal yarıiletken engeli b) tünelleme ve c) alaşım tabakası ile oluşturulması

### 3.2.3. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım -İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontaklarda akımın iletimi genel olarak çoğunluk taşıyıcılar tarafından gerçekleştirilir. Bu iletim termal denge halinde devam eder. Metal yarıiletken kontaklarda yani Schottky diyotlarda dış gerilim altında akım iletiminin nelere bağlı olduğu, hangi teknik ve yöntemin kullanılacağını belirlemek oldukça zahmetlidir. Schottky diyotlarda seri direnç, arayüzey durumları, yarıiletken tipi, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka, sıcaklık, gerilimin yönü gibi faktörler akım iletiminde önemli rol oynar. Fakat Metal yarıiletken kontaklarda akım iletim mekanizmalarını şöyle sıralayabiliriz.

- Termiyonik emisyon teorisi (TE)
- Difüzyon teorisi
- Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi (TED)
- Kuantum mekaniksel tünelleme termiyonik alan emisyonu (TAE),
- Alan emisyonu (AE) ve çok katlı tünelleme
- Uzay yük bölgesinde rekombinasyon
- Elektron veya deşik enjeksiyonu
- Gaussian dağılımı



Şekil 3.4. Metal-yarıiletken n tipi kontaklarda doğru beslem altında akım iletim mekanizmaları

Şekil 3.4 de düz beslem altında metal/n-tipi yarıiletkende termal iletim mekanizması şeması gösterilmiştir. Bu grafikte, a noktası potansiyel engelin tepesini

aşan elektronların metalin iç kısmına doğru iletimi yani termiyonik emisyon, b noktası ise düşük sıcaklıkta yeterince enerjiye sahip olmayan elektronların engel üzerinden geçemedikleri için engelin içinden doğrudan geçmesi kuantum mekaniksel tünellemesi yani engel içinden tünelleme, c noktası uzay yük bölgesinde yeniden birleşme, buda yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için ve de en son d noktası için metalden yarıiletkene doğal bölgede deşik enjeksiyonunu

Kuantum mekaniksel tünelleme termiyonik alan emisyonu (TAE) ve alan emisyonunu (AE) olarak iki başlıkta incelenir.

### 3.2.4. Termiyonik Emisyon Teorisi

Schottky kontaklarda yeteri kadar termal enerji kazanan elektronlar veya holler (boşluk) potansiyel engel tepesini aşıp metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale geçmesi olayına termiyonik emisyon teorisi denir. Ayrıca yeteri miktarda enerjiye sahip olan elektronların sıcak bir yüzeyden salınması olayınada termiyonik emisyon denir ve kısaca TE ile gösterilir. Metal ve yarıiletken arasında bu akım iletimi elektron ve boşluklar (holler) sağlamaktadır.

Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda taşıyıcı çoğunlukta elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda ise çoğunlukta boşluklardır. Schottky diyotlarda ise akım iletimi, çoğunluk taşıyıcıları tarafından yapılır. Bu teoride Maxwell-Boltzman yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engel yüksekliğinin,  $kT$  enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma (tükenim) bölgesindeki taşıyıcı çarpışmaların çok küçük olup ihmal edilmesi kabul edilmektedir. Bu varsayımlardan akım iletiminin sadece potansiyel engel yüksekliğine bağlı olduğu anlaşılır.

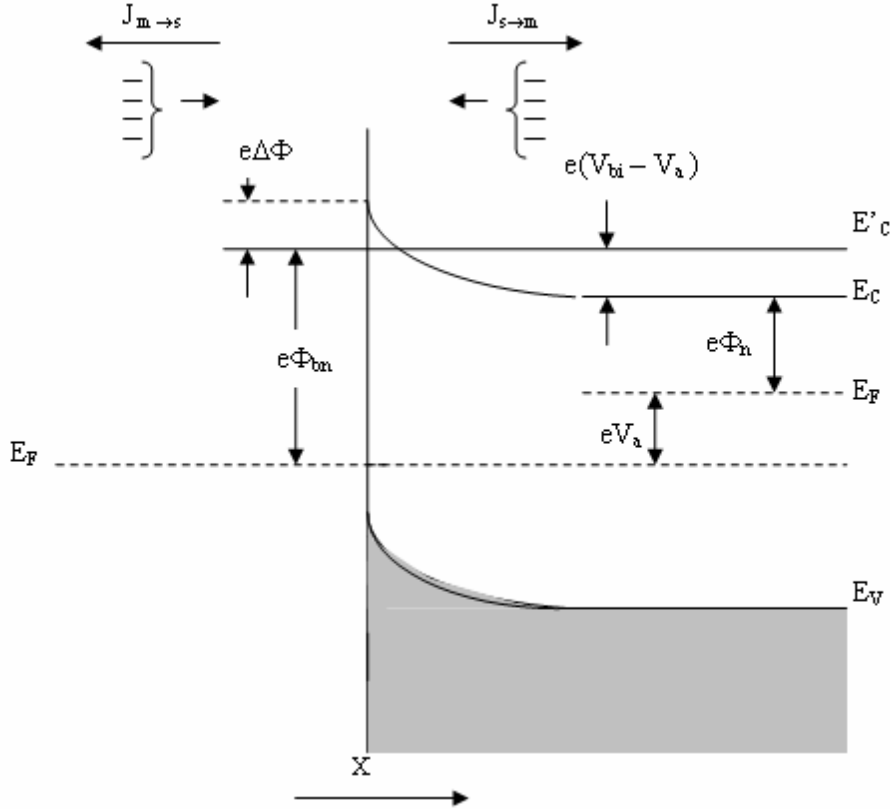
Şekil 3.5’de Schottky kontağa düz beslemde  $V_a$  büyüklüğünde bir gerilim uygulandığı görülmektedir. Bu grafikte  $J_{s \rightarrow m}$  yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğunu ifade eder.  $J_{m \rightarrow s}$  ise metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğunu. Toplam akım yoğunluğu ise bu iki akım yoğunluğunun, yani yarıiletkenden metale doğru olan ile metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğunun toplamına eşittir.  $J_{s \rightarrow m}$  akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşıp geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların yoğunluğunu ve bu elektronların hızlarını ifade eder. Bu durum



$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x dn$$

3.6

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde  $E_c$  metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli olan minimum enerji,  $V_x$  'se sürüklenme yönündeki hızdır.



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

Artan elektron yoğunluğu,

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

3.7

şeklinde ifade edilebilir. Yukardaki denklemde  $A^*$  Richardson sabiti olup

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

3.8

yazılabilir. Burada  $m^*$  taşıyıcının etkin kütlesi,  $h$  Planck sabiti,  $k$  ise Boltzmann sabitidir.

Termoionik emisyon teorisine göre net akım konsantrasyon ifadesi;

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad 3.9$$

olarak verilir. Bu bağıntıda  $J_0$  doyma akım yoğunluğu,  $V$  uygulanan gerilim,  $k$  Boltzmann sabiti,  $T$  ise mutlak sıcaklıktır.

Doyma akım yoğunluğu  $J_0$  ise;

$$J_{0=A} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \quad 3.10$$

Bu denklemde  $e\Phi_b$  yarı iletkenin iletkenlik bandının alt sınırı sıfır alındığında metal tarafındaki potansiyel engel yüksekliğidir.

### 3.2.5. Schottky Diyotlarda Seri Direnç Etkisi

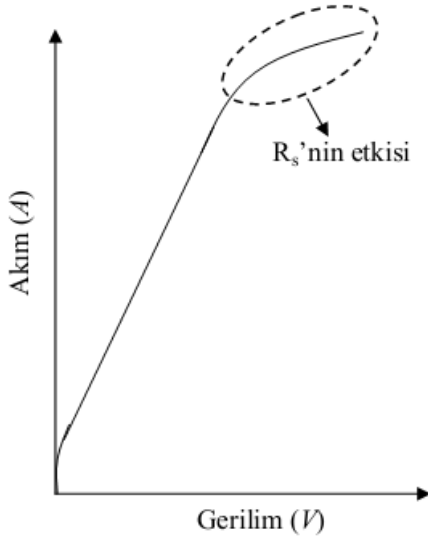
Schottky doğrultucu kontaklarda, yarıiletken tarafında oluşan deplasyon bölgesi dışında kalan nötral bölgenin diyot akımına karşı bir direnç gösterir. Bu dirence seri direnç ya da gövde direnci denir ve  $R_s$  ile gösterilir. Seri direnç diyotlarda güç kaybına neden olmaktadır. Metal-yarıiletken yapılarında görülen homojensizliklerin nedenlerinden biri de seri dirençtir. Bu etki küçük gerilim değerlerinde hissedilmez iken, büyük gerilim değerlerinde baskın olmaya başlar. Bu da diyottan geçen akımın azalmasına neden olur. Diyot akımındaki bu azalma gerilimin yüksek değerlerinde, akım gerilim karakteristiğinde bükülmeye neden olur. Şekil 3.6 da büyük gerilim değerlerinde seri direncin etkisi ile bir Schottky diyotta meydana gelen diyot akımındaki azalmayı göstermektedir.

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad 3.11$$

Denklem 1'den bir diyotun seri direnci

$$I=I_0\left[\exp\left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right)\right] \quad 3.12$$

ifade edilebilir.



Şekil 3.6.Metal/yarıiletken kontakta seri direncin  $I$ - $V$  karakteristiğine etkisi

### 3.3. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleri 1800 'lü yıllardan beri bilinmekte olan ince film kaplama tekniğidir. Bu tekniğin mekanizması kısaca yüksek vakumlu ortamda bir ısıtıcı ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerine ince bir film gibi kaplayıp birikmesidir. PVD kaplama tekniğinde ise katı haldeki maddenin yüksek enerji ve basınç altında plazma haline getirilip, kaplanacak olan malzemenin üzerine kontrollü bir şekilde yapışması olayı vardır.1852'de Grove AC, bir aydınlatma tütünün boşalmasından katottan metalik birikintilerin püskürmesini fark etmesiyle başladı. Bundan beş yıl sonra Faraday ilk ince film hazırlama işlemini yaptı. Çok fazla akım yoğunluğu uygulayarak metal film depozisyonunu gerçekleştirmiştir. Bu uygulama ince film oluşturma çalışmalarında başlangıç sayılır. Vakum pompalama aletinin gelişimi ile buharlaşma teknolojisi ilerledi.1877 yılında püskürtme yöntemiyle ince filmler oluşturuldu.1960 yılının sonuna gelindiğinde buharlaşma tekniği püskürtme tekniğinden daha yaygın kullanılmaya başlandı. Fiziksel buhar biriktirme terimi de ilk olarak 1966 yılında CF Powell'ın yazdığı Buhar

Biriktirme kitabında geçmiştir. Filmi oluşturur iken kullanılan teknik tercih edilen materyale göre değişir. Fiziksel buhar yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz. Buharlaştırarak biriktirme, Elektron ışın fiziksel buhar biriktirmePüskürterek biriktirme, Katodik ark biriktirme, Atmalı lazer biriktirme.

Bu deneyde termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak ince film kaplatılmıştır.

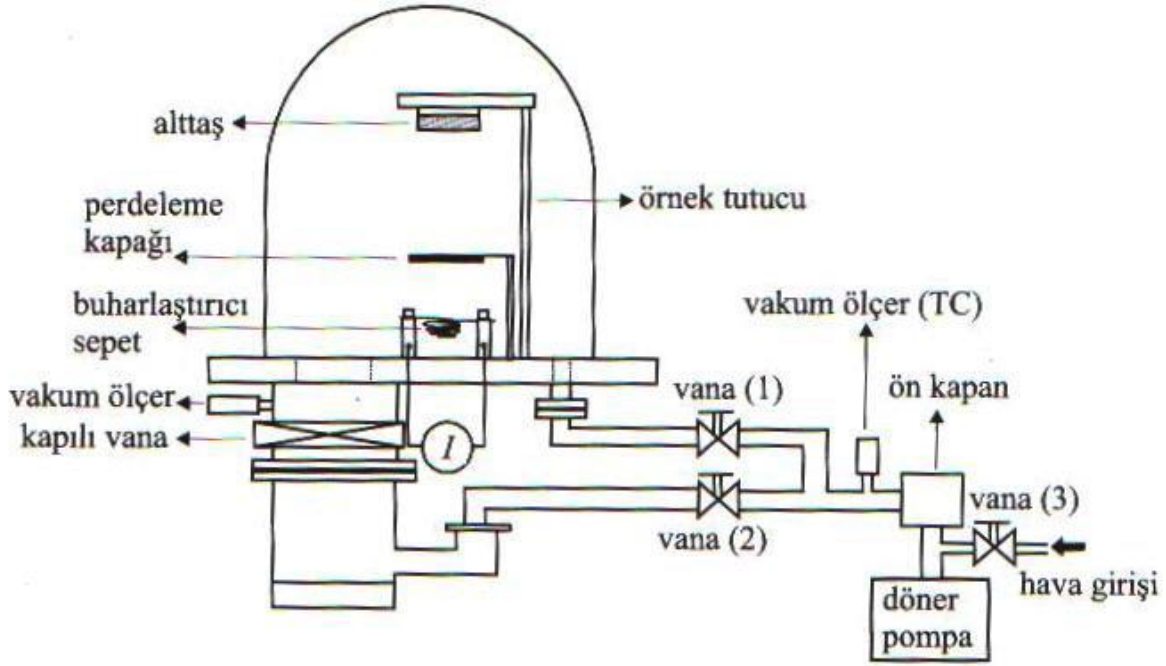
### **3.3.1.Termal Buharlaştırma Yöntemi**

Termal buharlaştırma, yüksek vakum altında, metal ya da alaşımların elektrik akımı ile ısıtılıp buharlaştırılması işlemidir. Kaplanacak olan malzeme yüksek basınçlı vakum ortamında ısıtılıp, buharlaştırılır. Buharlaştıran atomlar kaplanacak malzemenin üzerine giderek yapışır.

Termal buharlaştırma yöntemi, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleri arasında en kolay olanıdır. Ayrıca yarıiletken yüzeylerine ince metal filmleri kaplamak için kullanılan yaygın tekniklerden biridir. Yarıiletken malzemelerin metal kontaklarının yapılması, ince film kaplama işlemleri bu yöntemle yapılan işlemlere örnektir. Termal buharlaştırıcılarda, kaplanacak olan malzemeler erime sıcaklığı oldukça yüksek olan metalden örneğin W, Mo ve Ta gibi ısıya dayanıklı olan pota içine yerleştirilir. Bu potalar yüksek sıcaklığa dayanıklı olup içerisinde malzemeler ısıtılmaktadır. Potanın bağlı olduğu iki elektrot aracılığıyla pota üzerinden yüksek akım geçirerek ısıtma işlemi sağlanır.

Bu yöntem diğer tekniklere göre daha ucuz olup avantajlıdır. Ayrıca sistemin oldukça basit olması ve buhar veriminin yüksek olması, kaplanacak malzeme seçiminde geniş olanaklar sunması termal buharlaştırma yönteminin faydalarıdır. Fakat büyük çaplı üretimlerin geometrik seçimlerinden dolayı çok zor veya mümkün olmaması dezavantajıdır.

Erime sıcaklığı 1500 °C den küçük malzemeler için kullanılabilir. Bazı durumlarda, pota da bu sıcaklıktan etkilenecek buharlaşır ve kaplama bozulabilir. Şekil 3.7 de termal buharlaştırma aleti açık bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil3.7.Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

### 3.4. Fotovoltaik Özelliklerin Belirlenmesi

Fotovoltaik, güneş pilleri ya da dizinleri sayesinde Güneş gibi ışık kaynaklarından elektrik elde etme yöntemidir. Fotovoltaik hücre, fotovoltaik enerji dönüşümü ile ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren önemli bir alettir. Çoğu teknolojik aygıtların temelini oluşturan yarıiletken malzemeler fotovoltaik hücrelerin yapısını da oluşturmaktadır.

#### 3.4.1. Hava Kitlesi

Güneş yüzeyi 5762 K sıcaklığa sahiptir. Bu sıcaklıkta ışınım spektrumu bir siyah cisim radyatörünün spektrumuna benzer. Güneş dünyadan oldukça uzakta olduğu için dünya tarafından emilime uğrayan ışınların paralel geldiği kabul edilebilir.

Atmosfer üzerinde, ışınım yoğunluğu yaklaşık  $1353 \text{ W/m}^2$  dir ve bu ışınımın spektral dağılımı sıfır hava kitlesi (AM0) olarak nitelendirilir. Hava kitlesi, dünya yüzeyine ulaşan ışınların spektrumunun ve yoğunluğunun atmosfer tarafından ne kadar etkilendiğini gösteren bir ölçüdür. Hava kitlesi (Air Mass)

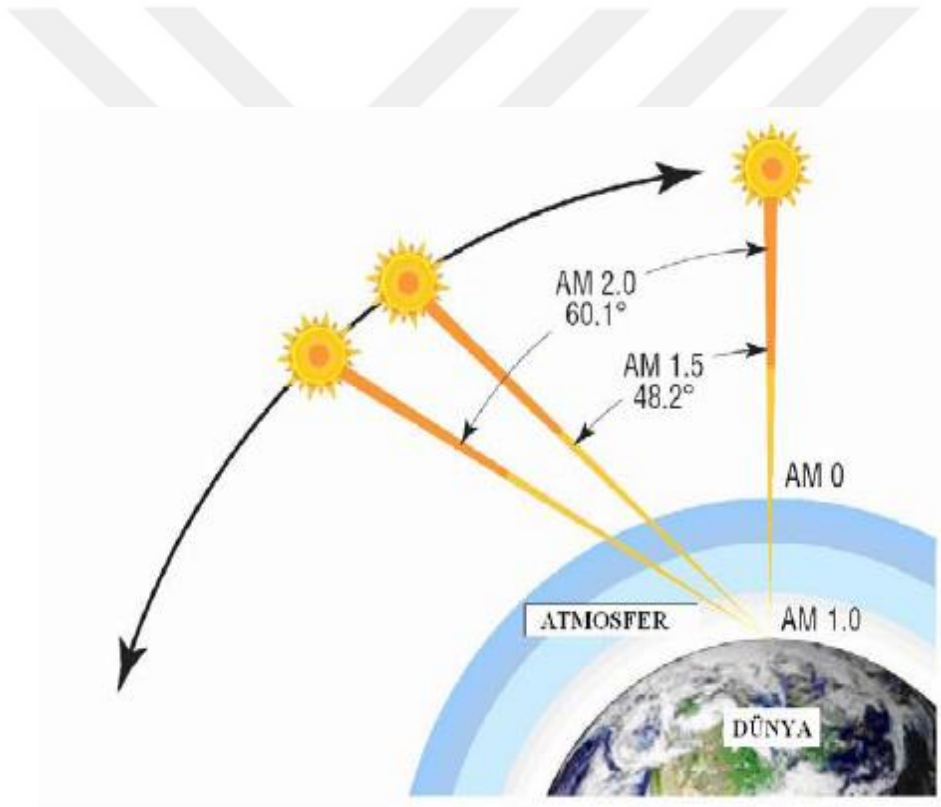
$$AirMass = \frac{1}{\cos \theta}$$

3.13

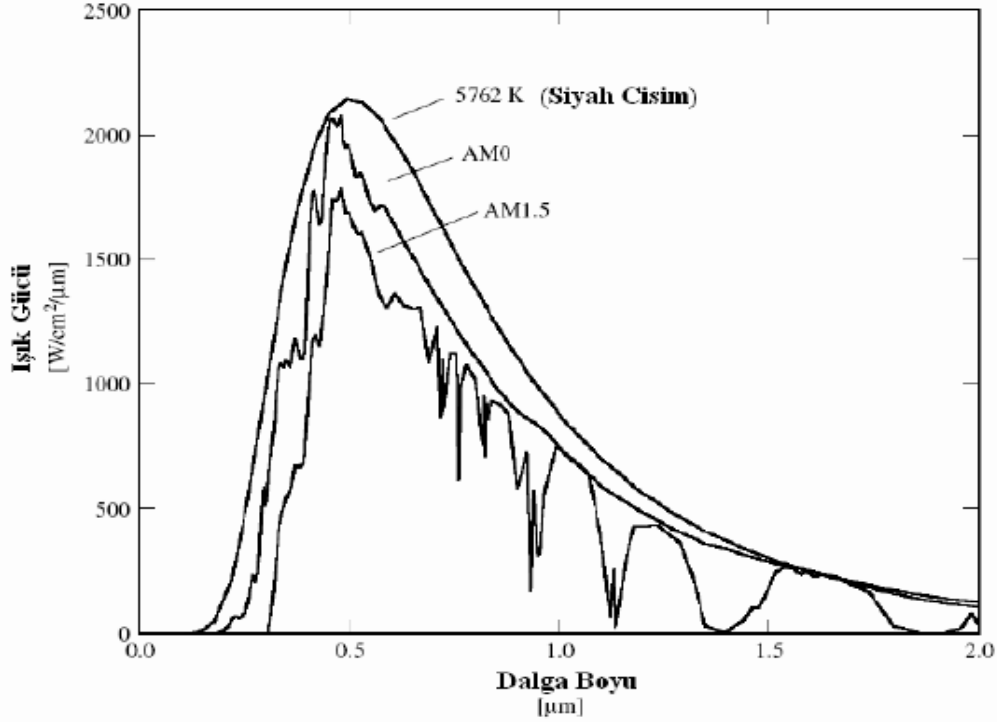
biçiminde ifade edilebilir. Burada  $\theta$  ışığın geliş açısı olarak kabul edilir. Green, hava kütlesinin daha kolay bulunması için aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Green 1992).

$$AirMass = \sqrt{1 + (L / H)^2} \quad 3.14$$

Bu bağıntıda H cismin boyu ve L gölge boyu olarak kabul edilir. Güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılmasında standart olarak AM1.5 spektrumu ve toplam  $1000 \text{ W/m}^2$  güce sahip ışık kullanılır. Şekil 3.8 hava kütlesi numaralarına göre güneş ışınlarının dünyaya gelişini ve Şekil 3.9 kara cisim ışımasını, AM0 ve AM1.5 spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 3.8. Hava kütlesi numarasına göre ışınların dünyaya geliş açılarının gösterilişi (Ocak 2010)



Şekil 3.9. Kara cisim ışınması, AM0 ve AM1.5 spektrumları gösterimi

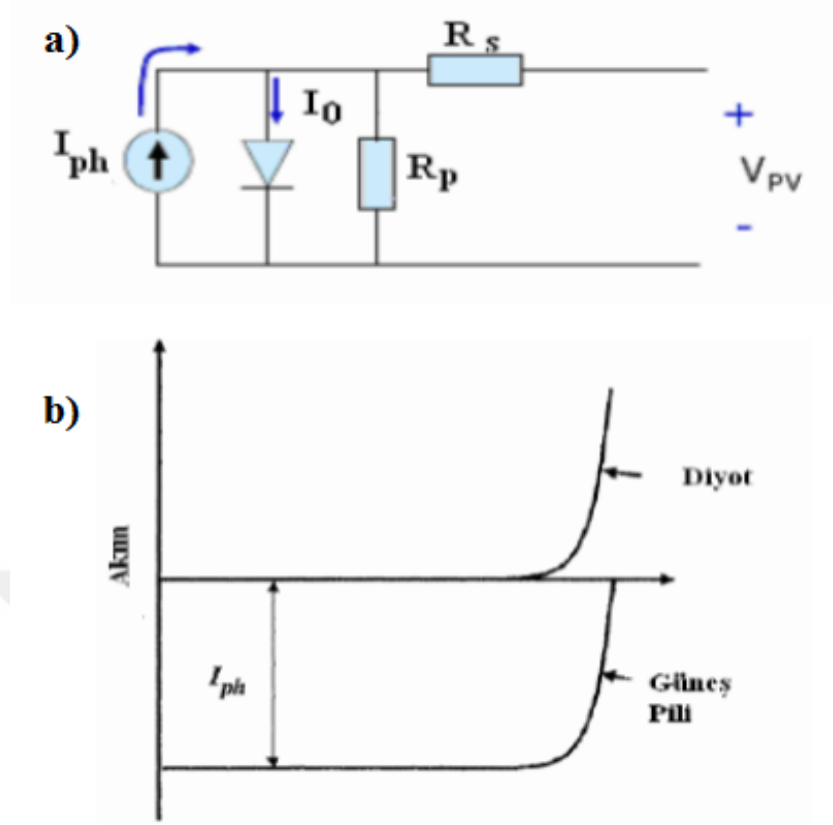
### 3.4.2. Güneş Pillerinin Karakterizasyonu

Güneş pillerinde fotovoltaik enerji dönüşümünde iki basamak kullanılır. Sırasıyla bunlar, soğurulan ışık tarafından elektron-boşluk çiftlerinin oluşması ve elektronların güneş pilinin negatif terminaline ve boşlukların pozitif terminale gitmeleridir. Böylece elektriksel güç elde edilir. Bir güneş pili Şekil 3.10'te gösterildiği gibi doğrultucu bir diyota bağlanmış bir akım kaynağı ile izah edilebilir. Şekil 3.10b'de ayrıca diyot ve güneş piline ait akım gerilim grafiklerinin üst üste binmesi grafik olarak gösterilmiştir. Bir pilin akım gerilim karakteristiği Shockley tarafından

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad 3.15$$

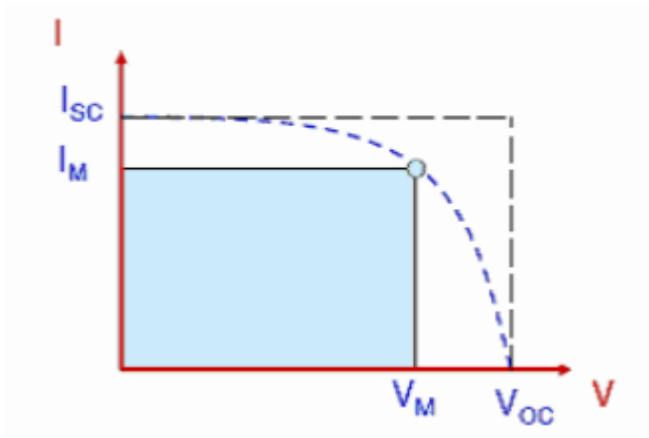
şeklinde belirtilmiştir (Shockley 1950). Burada gösterilen  $T$  mutlak sıcaklık,  $k$  Boltzmann sabiti,  $q$  elektron yükü ve  $V$  pilin iki terminali arasına uygulanan gerilim





Şekil 3.10. a) Bir güneş piline ait eşdeğer devrenin gösterilişi b) Bir güneş piline ait (güneş pili+ diyot) akım gerilim grafiği

olarak ifade edilir.  $I_0$  ise doyma akımını ifade eder ve karanlık altında güneş pilinin klasik doğrultucu kontak gibi davrandığını gösterir.  $I_{ph}$  ışık tarafından oluşturulan bir akımdır ve pil üzerine düşürülen foton akışı ile ilişkisi vardır. Grafikte gösterilen  $V_m$  ve  $I_m$  ifadeleri sırasıyla maksimum gücün elde edildiği akım ve gerilim değerleridir.



Şekil 3.11. Güneş pillerinde akım-gerilim grafiği

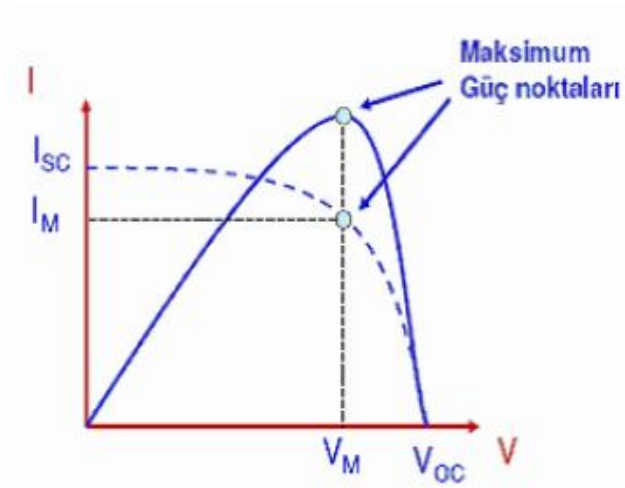
Pil tarafından üretilen güç ise şekil 3.8'de gösterilmiştir. Pilden elde edilen maksimum güç;

$$P_{max} = I_{max}V_{max} \quad 3.16$$

şeklinde ifade edilir. Güneş pilinin enerji dönüşüm verimi ( $\eta$ ), pil devreye bağlandığında soğurulan ışık enerjisinin, elektrik enerjisine çevrilme yüzdesi olarak açıklanır. Burada belirtilen pilden elde edilen maksimum gücün pil üzerine düşürülen ışığın gücüne oranıdır. Güneş pilinin verimi

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}S} \quad 3.17$$

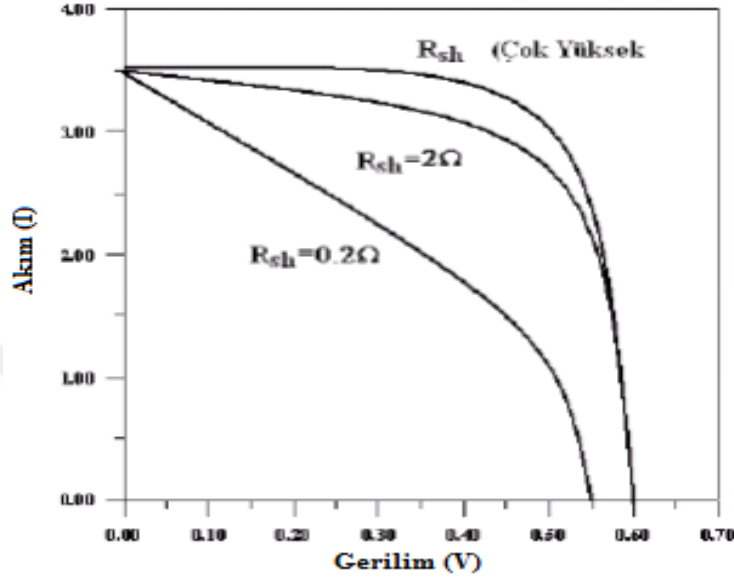
şeklinde yazılır. Burada  $P_{in}$  pil yüzeyine düşürülen ışığın gücü ve  $S$  pilin etkin alanıdır. Bundan dolayı ölçümlerde kullanılan simülasyonun ışık gücü ile pilin etkin alanının çarpılması ile net güç bulunur. Güneş pillerinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre, doluluk oranıdır. Bu terim, elde edilen maksimum gücün açık devre gerilimi ile kısa devre akımlarının çarpımına oranıdır ve 3.17 eşitliği ile ifade edilir (Gray,2003).



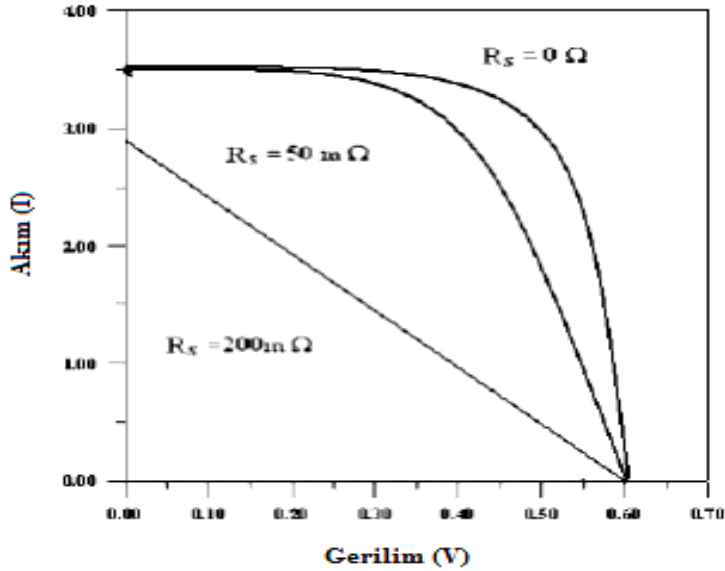
Şekil 3.12. Güneş pilinde pilde maksimum gücün elde edildiği noktaların gösterilmesi

Bir güneş pilinin doluluk oranı, pilin seri ve paralel direncinden doğrudan etkilenir. Paralel direncin artması ve seri direncin düşmesi sonucu pilin doluluk oranını

artar ve bundan dolayıdır ki pilin verimi de artmış olur. Şekil.3.13 ve şekil 3.14'te güneş pillerinde doluluk faktörüne ve dolayısıyla pil verimine seri direnç ve paralel direncin etkilerini göstermektedir.



Şekil 3.13. Güneş pili üzerine paralel direncin etkisi ( $R_s=0$  durumunda)



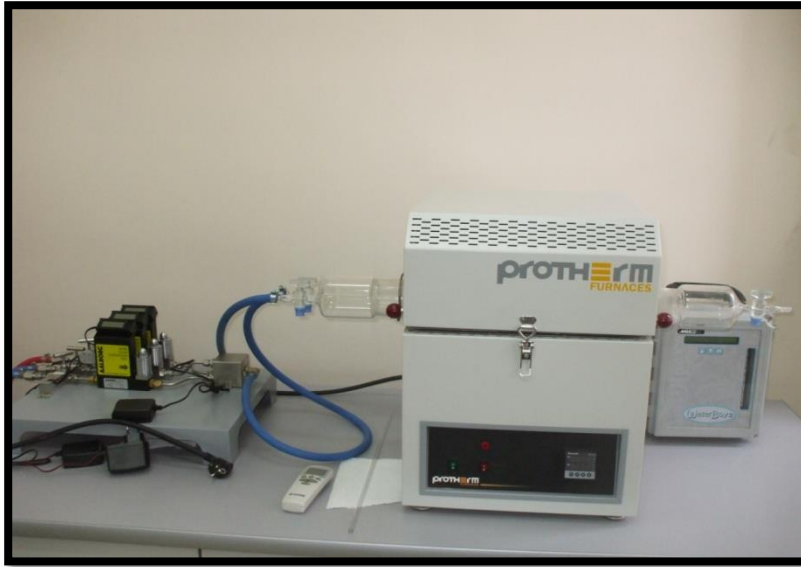
Şekil 3.14. Güneş pili üzerine seri direncin etkisi ( $R_p=\infty$  durumunda)

#### 3.5. Deneysel İşlemler

Bu çalışmada, yeni sentezlenmiş bir Ru(II) kompleksi kullanılarak oluşturulmuş, Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla omik kontağı oluşturulmuş n-Si üzerine dönel kaplama yöntemi ile Ru(II) kompleksinin ince filmleri oluşturulmuş, ardından oluşturulan yapı üzerine Au metali buharlaştırılarak diyot tamamlanmıştır. Oluşturulan diyotun doğrultucu özellik gösterdiği belirlendikten sonra 77-350 K sıcaklık aralığında akım-gerilim (I-V) ölçümleri alınarak Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun temel elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı incelenmiştir.

##### 3.5.1. Omik Kontakın Oluşturulması

Bu çalışmada (100) yönelime sahip 1-10Ω cm özdirençli 380 µm kalınlığındaki bir yüzeyi parlatılmış n-Si yarıiletkeni kullanılmıştır. Yarıiletkenin yüzeyinde oluşmuş olabilecek organik kirliliklerden uzaklaştırılabilmesi için trikloroetilen içerisinde 5 dakika kaynatılmış, ardından aseton ve metanol içerisinde 5'er dakika ultrasonik banyoda titreştirilmiştir. Temizlik işlemlerinden daha sonra n-Si yüzeydeki doğal oksit tabakasından kurtulmak için n-Si yarıiletkeni %0,4'lük HF çözeltisi içerisinde 30 saniye bekletilmiştir. Her işlemten sonra n-Si yarıiletkeni deionize su ile yıkanmıştır. Temizlik işlemlerinden sonra yarıiletken yüksek saflıkta azot ile kurutulmuş ve vakum sistemine yerleştirilmiştir.

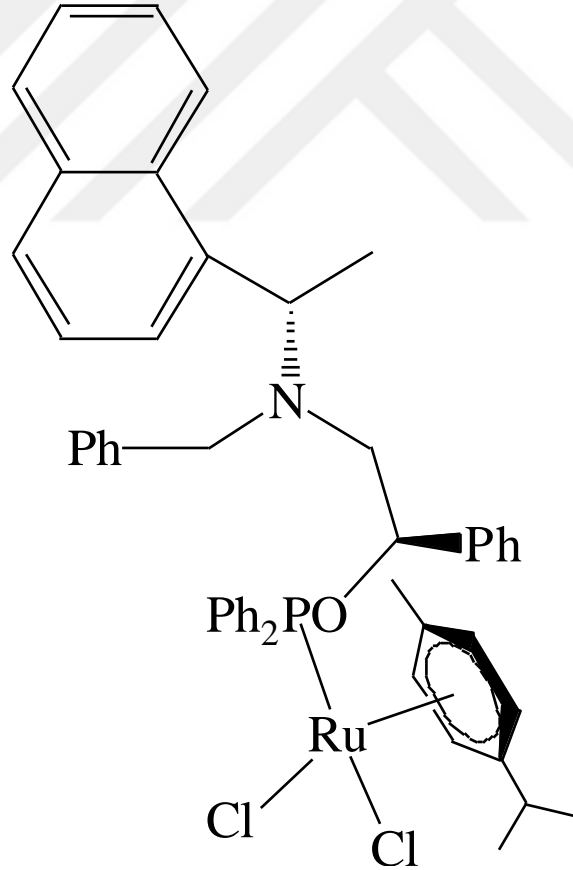


Şekil 3.15. Bu çalışmada kullanılan tavlama fırını

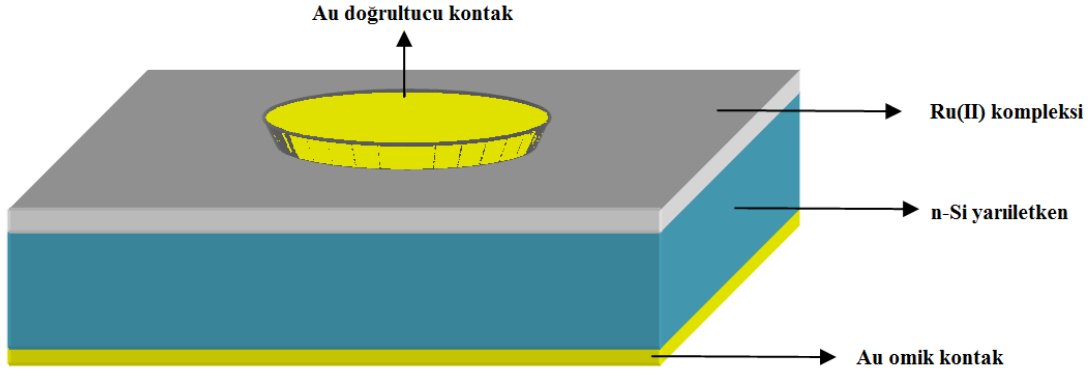
n-Si yarıiletkeninin mat tarafına yüksek vakumda ( $10^{-6}$  Torr) yüksek saflıkta Au buharlaştırılmıştır. Ardından n-Si/Au yapısı içinden yüksek saflıkta azot geçirilen ve şekil 3.15 de gösterilen quartz tüp fırın içerisinde  $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 3 dakika tavlannmıştır.

### 3.5.2. Au/Ru(II) Kompleks/n-Si yapısının Oluşturulması

Şekil 3.16'de gösterilen  $\Omega$  bağları açısından zengin yeni sentezlenmiş Ru(II) bileşiğinin  $10^{-3}$  M kloroformdaki çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin oksitlerinden arındırılmış n-Si/Au yapısı üzerine damlatılmış ve döne kaplama sisteminde 1000 devir/dakika hızla döndürülerek kaplanmıştır. Ardından oluşturulan yapı üzerine Au metali yine yüksek vakumda buharlaştırılarak Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotu oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının şematik gösterimi Şekil 3.17 de verilmiştir.



Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan Ru(II) kompleksinin molekül yapısı



Şekil 3.17. Oluşturulan Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun şematik gösterimi

### 3.5.3. Oluşturulan Yapının Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Oluşturulan yapının önce akım-gerilim ( $I-V$ ) ölçümleri Keithley 2400 sourcemeter ile oda sıcaklığında alınmış, yapının doğrultucu özellik gösterdiği görüldükten sonra Janis VPF-100 marka kriyostat ve LakeShore 335 sıcaklık kontrolörü kullanılarak 77-350 K sıcaklık aralığında akım gerilim ölçümleri alınarak yapının elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlılıkları araştırılmıştır. Ardından aynı yapının  $I-V$  ölçümleri AM1.5 filtreye sahip Oriel 96000 marka güneş simülatörü yardımı ile farklı ışık yoğunluklarında ölçülerek fotoelektriksel özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.18. Keithley 2400 ve güneş simülatöründen oluşan ölçüm sistemi

## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Giriş

Bu bölümde, önce Au/Ru(II) kompleksi/n-Si yapısının sıcaklığa bağlı elektriksel özellikleri 77-350 K arasında alınan akım gerilim ölçümleri yardımı ile incelenmiş ardından aynı yapının güneş simulatörü altında ışık yoğunluğuna bağlı fotoelektriksel ışık şiddetine bağlılığı araştırılmıştır.

### 4.2. Au/Ru(II) Kompleksi/n-Si Diyotunun Akım-Gerilim Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlılığı

Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun 77-350 K arasında alınan akım-gerilim verilerinden elde edilen yarı-logaritmik  $I-V$  grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotu doğrultucu özellik göstermektedir. Ara tabakalı MS kontakların elektriksel özellikleri termoiyonik emisyon teorisi ile incelenebilir. Termoiyonik emisyon teorisine göre Seri dirence sahip bir diyottan geçen akımın gerilime bağlılığı

$$I = I_0 \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad 4.1$$

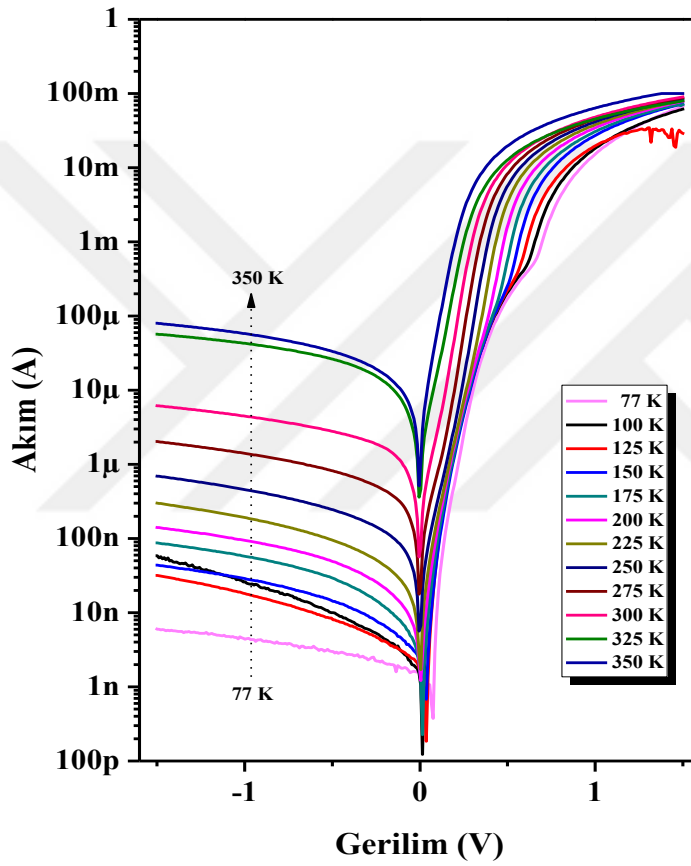
denklemleri ile yazılabilir. Bu denklemde  $I$  diyottan geçen akım,  $I_0$  diyotun doyma akımı,  $q$  elektron yükü,  $V$  diyota uygulanan gerilim,  $R_s$  seri direnç,  $n$  idealite faktörü,  $k$  Boltzmann sabiti ve  $T$  mutlak sıcaklıktır. Diyota ait doyma akımı

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad 4.2$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde  $A$  diyotun alanı,  $A^*$  Richardson sabiti ve  $\Phi_b$  ise engel yüksekliğidir. Diyotun idealite faktörü, akım-gerilim grafiğinin düz besleminin lineer kısmının eğiminden

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

denklemini yardımı ile hesaplanır. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun oda sıcaklığındaki idealite faktörü denklem 4.3 kullanılarak 1.322 olarak hesaplanmıştır. İdeal bir diyotun idealite faktörü 1'dir. İdealite faktörünün 1'den uzaklaşması, diyotun ideallikten uzaklaştığını göstermektedir. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun idealden uzak olmasının sebebi olarak diyot üretimi sırasında n-Si yüzeyde oluşmuş olabilecek doğal oksit tabakasının varlığına ve diyotun seri direncine atfedilebilir.



Şekil 4.1. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun sıcaklığa bağlı I-V grafiği

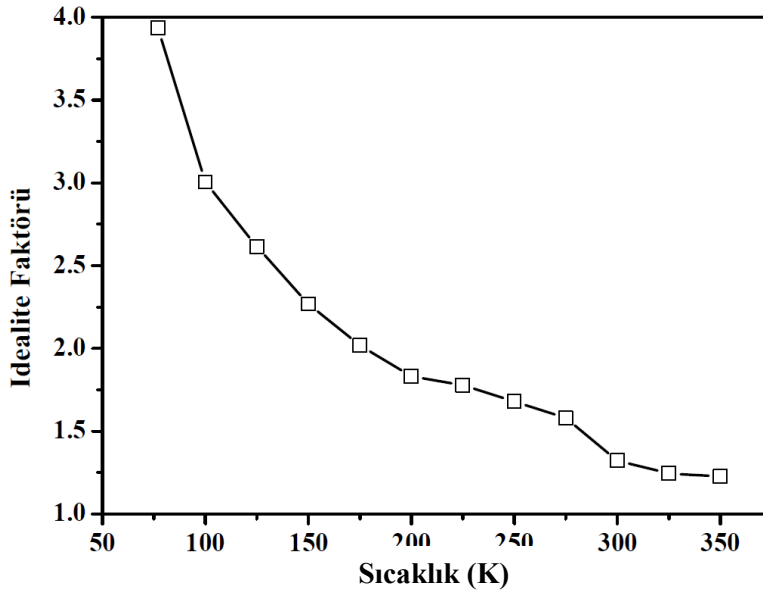
Diyotun 77-350 K aralığındaki idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel parametreleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Diyotun I-V verileri ile hesaplanan idealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2'de görüleceği gibi diyotun idealite faktörü 3,936 (77 K) değerinden 1,226 (350 K) değerine düşmüştür ve bu düşüş lineer olarak gerçekleşmemiştir. Benzer



sonuçlar farklı yapılar için literatürde verilmiştir. Örneğin, Tombak ve arkadaşları Coumarin 30 molekülü ile elde ettikleri Al/Coumarin 30/p-Si yapısının akım-gerilim ölçümlerini 300 ile 380 K arasında gerçekleştirmiş ve bahsi geçen yapının idealite faktörünün 2,2'den 1,77'ye düştüğünü göstermişlerdir. Benzer bir şekilde, Yüksek ve arkadaşları Au/Rubrene/n-Si diyotunun idealite faktörünün 100 ile 300 K aralığında ölçmüş ve idealite faktörünün bu sıcaklık aralığında 6,051'den 1,918'e düştüğünü raporlamışlardır.

Sıcaklık (K)	lnI-V		Norde	
	N	$\Phi_b$ (eV)	$\Phi_b$ (eV)	$R_s$ ( $\Omega$ )
77	3,936	0,208	0,231	50088
100	3,004	0,261	0,265	34000
125	2,614	0,336	0,354	16860
150	2,269	0,406	0,434	5755
175	2,018	0,470	0,506	2448
200	1,832	0,535	0,563	1113
225	1,777	0,587	0,615	1043
250	1,681	0,639	0,661	548
275	1,580	0,681	0,713	194
300	1,322	0,719	0,735	65
325	1,246	0,732	0,755	23
350	1,226	0,755	0,775	10

**Çizelge 4.1.** Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun sıcaklığa bağlı bazı elektriksel parametreleri

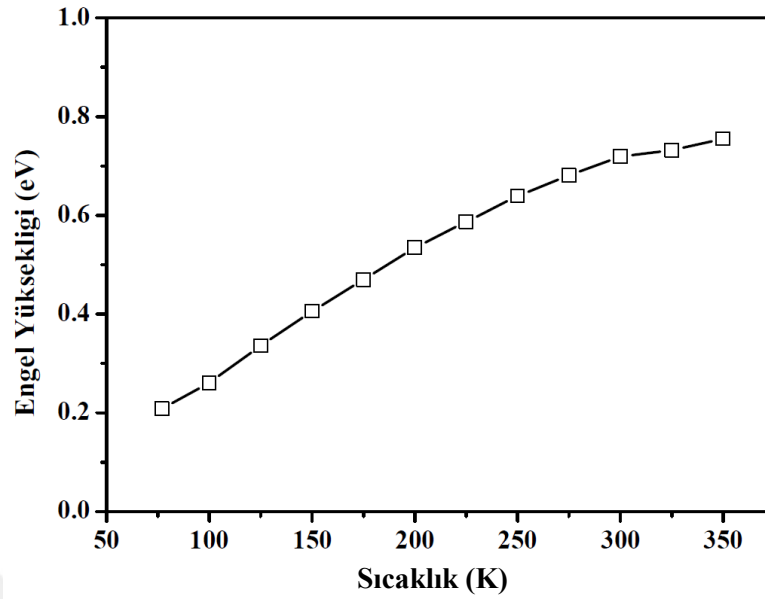


Şekil 4.2. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun idealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı

Diyotun engel yüksekliği,  $\ln I-V$  grafiğinin  $I$  eksenine ile kesiştiği yerden elde edilen  $I_0$  verileri kullanılarak denklemi ile hesaplanır.

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad 4.4$$

Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun 300 K'deki engel yüksekliği 0,719 eV olarak hesaplanmıştır. Sağlam ve arkadaşları Au/n-Si Schottky diyotların engel yüksekliklerinin 0,789 ile 0,819 eV aralığında değiştiğini göstermişlerdir. Bu durum organik ara yüzey tabakası ile engel yüksekliğinin modifiye edildiğini ve Ru(II) kompleks ara tabakalı yapının klasik Au/n-Si Schottky diyotundan 0,07 eV daha düşük olduğunu göstermektedir. Vearey-Roberts ve Evans Ag/GaAs Schottky diyotları, arayüzeylerine kalay fitalosiyenin (SnPc) organik bileşiği kaplayarak modifiye etmiş ve SnPc organik bileşik kalınlığı ile engel yüksekliğinin azaltılabileceğini göstermiştir. Ara tabakasız Ag/GaAs Schottky diyotların engel yüksekliği 0,60 eV olarak hesaplanırken, Ag/SnPc/GaAs diyotlarda bu değer 0,34 eV değerine kadar düştüğü gösterilmiştir.

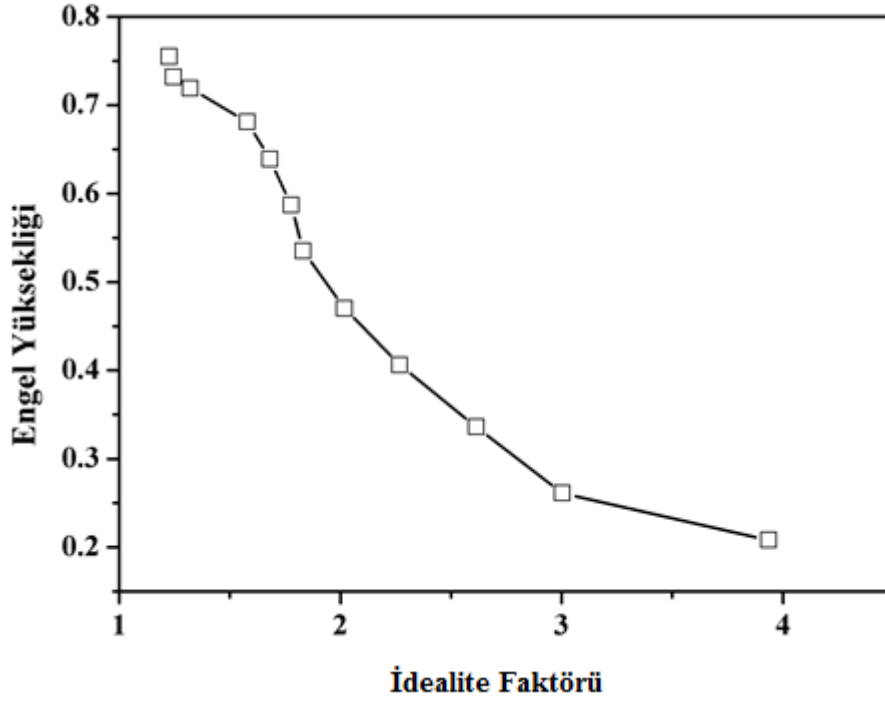


Şekil 4.3. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlılığı

Çizelge 1 ve Şekil 4.3 diyotun engel yüksekliği değerinin 77-350 K sıcaklık aralığında 0,208 eV değerinden 0,755 eV değerine çıktığını göstermektedir. Bu durum diyotun engel yüksekliğinin sıcaklığa ciddi bir şekilde bağlılığını göstermektedir. Şekil 4.4'de ayrıca Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun idealite faktörü ile engel yüksekliği arasındaki bağımlılığını göstermektedir. Şekildende anlaşılacağı gibi diyotun engel yüksekliği arttıkça idealite faktörü azalmaktadır. Şekil 4.4 kullanılarak ideal Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun ( $n=1$  için) engel yüksekliği .....olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.1'de verilen  $\ln I-V$  grafiklerinin yüksek gerilim değerlerinde lineerlikten saptıkları görülmektedir. Bu durum oluşturulan Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun seri direncinin etkisine atfedilir. Yapıdaki seri direnç, kullanılan yarıiletken ve organik filmlerin direnci ile yapıda kullanılan kontakların toplam direncinden kaynaklanmaktadır. Schottky diyotların seri dirençlerini hesaplamının yollarından biri Norde tarafından önerilmiştir. Norde tarafından önerilen metoda göre Norde fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left( \frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad 4.5$$



Şekil 4.4. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun engel yüksekliğinin idealite faktörüne bağlılığı

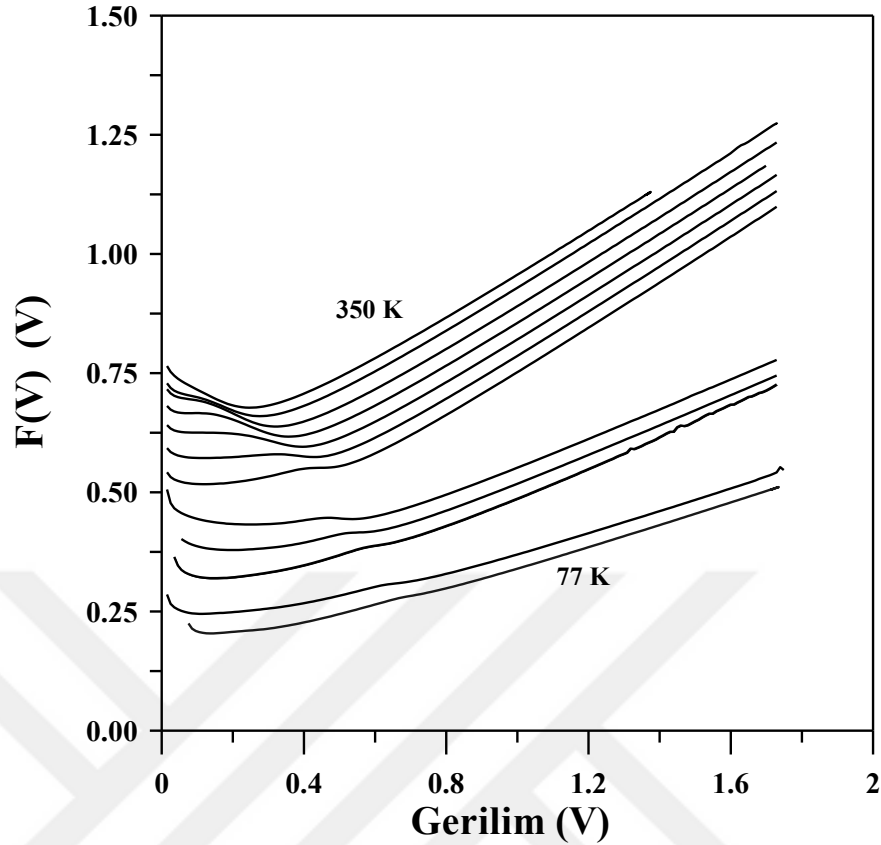
Bu denklemde  $\gamma$  değeri idealite faktöründen büyük olan ilk tam sayı değeri ve  $I(V)$  ise  $I-V$  ölçümlerinden elde edilen akım değeridir. Diyota ait engel yüksekliği  $F$  vs.  $V$  plot eğrisinin minimum değeri ve

$$\phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad 4.6$$

denklemini kullanılarak hesaplanır. Bu denklemde  $F(V_0)$  değeri minimum  $F(V)$  değeri,  $V_0$  ise bu değere karşılık gelen gerilim değeridir. Sıcaklığa bağlı  $F(V)-V$  eğrileri Şekil 4.5'de verilmiştir. Diyota ait seri direnç değeri ile hesaplanır.

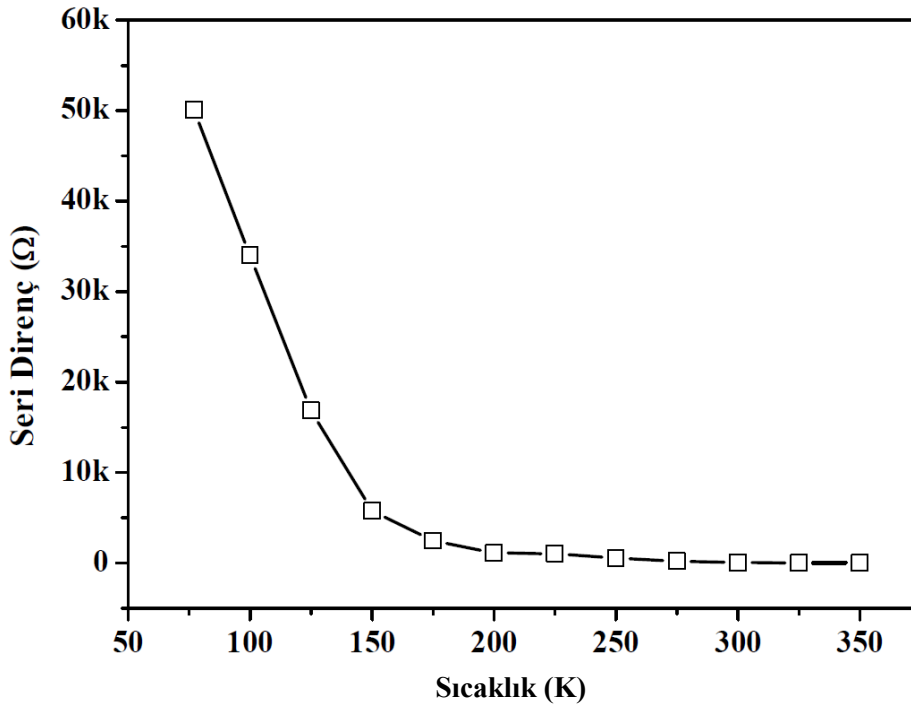
$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_{\min}} \quad 4.7$$

Bu denklemdeki  $I_{\min}$  ifadesi  $V_0$  değerine karşılık gelen akım değeridir.



Şekil 4.5. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotuna ait  $F(V)$ - $V$  eğrileri

Denklem 4.6 ve 4.7 ile hesaplanan engel yüksekliği ve seri direnç değerleri çizelge 4.1’de sunulmuştur. Çizelgeden de görüleceği üzere engel yükseklikleri 0,231’den (77 K) 0,775 eV (350 K) değerlerine çıkmaktadır. Elde edilen engel yükseklikleri  $\ln I$ - $V$  ile hesaplanan değerlerden daha yüksek olmasına rağmen, engel yüksekliklerinin sıcaklığa bağlı artışı uyum içerisindedir.  $\ln I$ - $V$  ve Norde yöntemleri ile elde edilen engel yükseklikleri arasındaki fark, her iki yöntem için farklı bölgeler ile hesap yapılmasından kaynaklandığı ileri sürülebilir.  $\ln I$ - $V$  yönteminde ileri beslem  $\ln I$ - $V$  grafiğinin sadece lineer kısmı dikkate alınmasına rağmen, Norde yönteminde tüm ileri beslem  $I$ - $V$  verileri kullanılmaktadır. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.6’da diyotun seri direncinin sıcaklığa bağlılığı gösterilmektedir. Çizelge ve şekilde gösterildiği gibi Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun seri direnci yaklaşık 50 k $\Omega$  değerinden 10  $\Omega$  değerine düşmüştür.

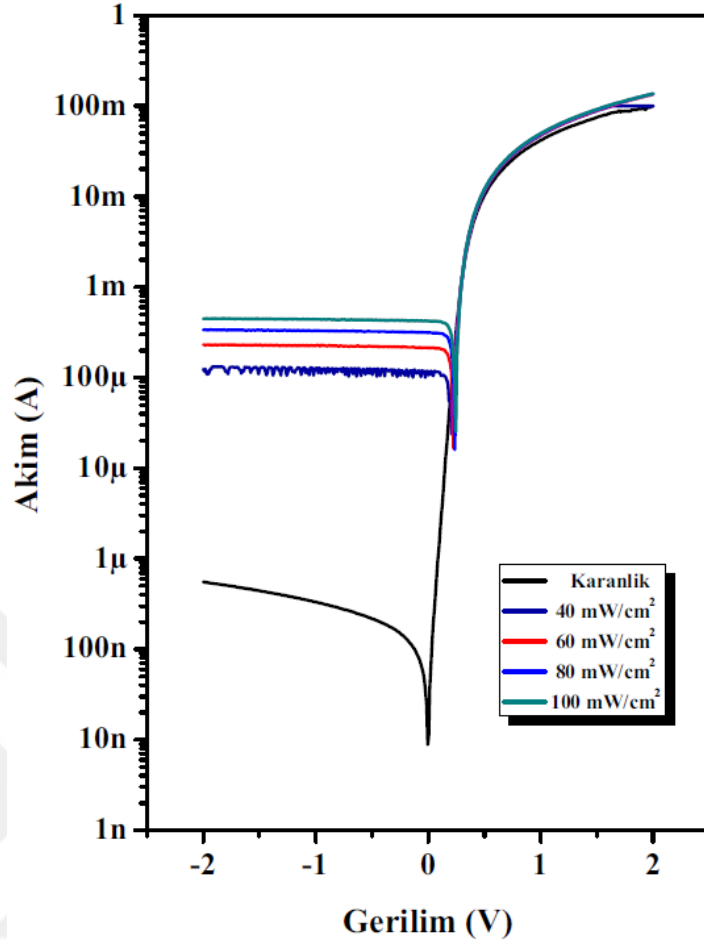


Şekil 4.6. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun seri direncinin sıcaklığa bağlılığı

Sıcaklığın azalması ile seri direnç değerinin artması, sıcaklık azaldıkça idealite faktörünün artması ve serbest taşıyıcı konsantrasyonun azalmasına bağlanabilir.

### 4.3. Au/Ru(II) Kompleksi/n-Si Diyotunun Fotoelektriksel Özellikleri

Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun akım-gerilim ölçümleri karanlıkta ve standart güneş simülatörü altında, farklı ışık yoğunluklarında alınan  $I-V$  ölçümleri Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Şekilde yapıya güneş ışığı düştüğü anda yapının ters beslem akım değerinin arttığı, diğer bir ifade ile yapıda fotoakımın oluştuğu görülmektedir. Işık şiddeti arttırıldıkça, yapıyla etkileşen foton sayısının artışına bağlı olarak ters beslem akım değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun farklı ışık yoğunluklarındaki  $I$ - $V$  ölçümleri

Yapının farklı ışık yoğunluklarındaki fototepkisi (aydınlık ters beslem akımının, karanlık ters beslem akımına oranı) Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgede ışık yoğunluğuna bağlı olarak diyotun fototepkisinin arttığı görülmektedir. Bu durum ışık yoğunluğu arttıkça arayüzeyde daha fazla elektron-deşik çiftlerinin oluştuğunu göstermektedir. Yapıya ait diğer fotoelektriksel parametreler olan açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ) ve kısa devre akımları ( $I_{SC}$ ) gösterilmektedir. Çizelgede de görülebileceği gibi Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun  $V_{OC}$  ve  $I_{SC}$  değerleri yapının ışığa tepkisi gibi ışık yoğunluğu arttıkça artmaktadır. Benzer sonuçlar literatürde farklı organik bileşikler ile elde edilen diyotlar içinde rapor edilmiştir.

Işık Yoğunluğu ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	Işığa Tepkisi	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ )
40	226	206	118
60	416	226	214
80	609	236	313
100	811	246	424

Çizelge 4.2. Au/Ru(II) kompleksi/n-Si diyotunun bazı fotoelektriksel parametreleri.



## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, daha önce sentezlenmiş olan  $\Omega$  bağları açısından zengin Ru(II) kompleksi Au/n-Si Schottky diyotunda ara tabaka olarak kullanılmış ve Au/Ru(II) kompleks/n-Si yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının doğrultucu özellik gösterdiği görüldükten sonra diyotun elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca ve Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun fotoelektriksel özelliklerine ışık yoğunluğunun etkisi incelenmiştir.

Çalışmada n-Si yarıiletkenin mat tarafında Au buharlaştırılması ve 420 °C'de tavlama ile omik kontak elde edilmiş, ardından Ru(II) kompleksinin ince filmi n-Si üzerinde dönele kaplama yöntemi ile oluşturulduktan sonra Au metalinin Ru(II) kompleks/n-Si yapısı üzerine buharlaştırılması ile Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotu elde edilmiştir. Yapının önce karanlıkta oda sıcaklığında *I-V* ölçümleri alınmış, doğrultucu yapıya sahip olduğu görüldükten sonra kriyostat ve sıcaklık kontrolörü yardımı ile 77-350 K arasında *I-V* ölçümleri alınmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak oda sıcaklığında yapının 1.322 idealite faktörü değerine, 0,719 eV engel yüksekliğine ve 65  $\Omega$  seri dirence sahip olduğu görülmüştür. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun idealite faktörünün 1.322 olması yapının ideallikten uzaklaştığını, bunun sebebinin diyot üretimi sırasında n-Si yüzeyde oluşmuş olabilecek doğal oksit tabakasının varlığına ve diyotun seri direnci olduğu düşünülmüştür. Au/Ru(II) kompleks/n-Si diyotunun 0,719 eV engel yüksekliği literatürde Au/n-Si için elde edilen değerden düşük olduğu görülmüştür. Bu durum Ru(II) kompleks bileşiğinin diyotun elektriksel özelliklerini ciddi anlamda etkilediğini göstermektedir. Yapının idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç faktörlerinin sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde idealite faktörünün 3,926'dan 1,226'ya ve seri direncin 50 k $\Omega$  değerinden 10  $\Omega$  değerine düştüğü, engel yüksekliğinin ise aynı sıcaklık aralığında 0,208 eV'den 0,755 eV değerine çıktığı görülmüştür. Sonuçların benzer nitelikteki çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Çalışma sonunda ayrıca, Au/Ru(II) kompleks/n-Si yapısının akım gerilim ölçümleri 40-100 mW/cm<sup>2</sup> arasındaki farklı yoğunluklardaki ışıkların altında yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde oluşturulan yapının ışığa karşı duyarlı olduğu, ışık şiddeti ölçümleri 40-100 mW/cm<sup>2</sup> aralığında arttıkça, diyotun ışığa duyarlılığının 226 kattan 811 kata çıktığı görülmüştür. Bu durum Au/Ru(II) kompleks/n-Si yapısının diyotu üzerine düşürülen ışık etkisi ile arayüzeyde elektron-deşik çiftlerinin oluştuğunu

ve dolayısı ile ters beslemede fotoakım a-oluşturduğunu göstermektedir. Yapının açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ) değerinin aynı aralıkta 206 mV değerinden 246 mV değerine çıktığı, kısa devre akım ( $I_{SC}$ ) değerinin ise 118  $\mu A$ 'den 424  $\mu A$ 'e yükseldiği görülmüştür. Bu durum ise yapı üzerine daha fazla foton düştükçe, ara yüzeyde daha fazla elektron-deşik çiftlerinin oluştuğunu ortaya koymaktadır.



## 6. KAYNAKLAR

- Aydın, M. E. 2003. Metal/yarıiletken ve Metal/oksit/yarıiletken Pb/p-Si ve Pb/n-Si Schottky engel diyotlarının karakteristik parametreleri ve arayüzey hallerinin enerji dağılımının belirlenmesi, Doktora Tezi, D. Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır
- Bachrach, R. Z.,1984 Interface Chemistry And Structure of Schottky Barrier Formation In Metal Semiconductor Schottky Barrier Junctions And Their Applications, New York, Plenum.
- Bozkurt, A. Erçelebi, Ç. Toppare, L. 1997. *Synthetic Metals*, 87, 219-223.
- Braun, K. F,1874. On the Electrical Conductivity of Sulphides, *Poggendorff's Annalen* 153 ,556-63.
- Card, H. C., and E. H. Rhoderick,1971.Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes, *Journal of Physics D: Applied Physics* 4.10 ,1589
- Card, H.C. Rhoderick, E.H. 1971. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 4,1589.
- Chattopadhyay, Soma, et al.1995 ,Size-induced diffuse phase transition in the nanocrystalline ferroelectric PbTiO<sub>3</sub>. *Physical Review B* 52.18 ,13177.
- Chen, L.L. Li, W.L. Wei, H.Z. chu, B. Li, B. 2006. Organic ultraviolet photovoltaic diodes based on copper phthalocyanine as an electron acceptor, *Solar Energy Metals And Solar Cells*, 90, 1788-1796
- Cheung, N.W. 1986.*J.Appl.Phys. Let.* , 49, 85-87.
- Cheung, S. K., and N. W. Cheung. 1986 ,Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics,*Applied Physics Letters* 49.2 , 85-87.
- Cowley, A. M., and S. M. Sze,1965.Surface states and barrier height of metal-semiconductor systems, *Journal of Applied Physics* 36.10 ,3212-3220.

Crowell, C. R., and S. M. Sze.1966, Current transport in metal-semiconductor barriers, *Solid-State Electronics* 9.11-12 ,1035-1048.

El-Nahass, M. M., Abd-El-Rahman, K. F., Farag, A.A.M., Darwish, A.A.A. 2005. *Organic Electronics*, 129-136.

Gray J.L. 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Luque A., Hegedus, S. John Wiley & Sons, Ltd.

Jang M. and Lee, J. 2002 Analysis of Schottky Barrier Height in Small Contacts Using a Thermionic-Field Emission Model. *ETRI Journal*, 24,6

Kılıçoğlu, T. 1988. Anodik oksitli Al/SiO<sub>2</sub>/Si Yapılarının Elektronik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Kılıçoğlu, T. Asubay, S.2005. The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/Au-Sb Schottky barrier diodes, *Physica B*, 58, 368.

Kojima, Akihiro, et al,2009. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells, *Journal of the American Chemical Society* 131.17 ,6050-6051.

Mott, N.F. 1938. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 34, 568

Mott, N.F. 1971. DavıS E.A. **Electronic Processes in Non Crystalline Materials**,

Mönch ,W. 1987.*The American Physical Society* , 58 (12) 1260.

Mönch, W.1987, Role of virtual gap states and defects in metal-semiconductor contacts. *Physical Review Letters* 58.12 ,1260.

Neamen, D. A. 2003. Basic Principles, Semiconductor Physics And Devices, McGraw Hill, N.Y.

Nozu, S.; Matsuda, K.; Sugino, T. 1999. *Plasm. Jpn. J. Appl. Pyhs.* 38, 295-297.

O'regan, Brian, and M. Gratzel,1991.A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized,*Nature* 353.6346 ,737-740.

Ocak Yusuf Selim 2006. Al/metil Kırmızısı/p-si Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu Doktora Tezi Dicle Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü - Diyarbakır

Ocak, Y.S. 2010. Organik-İnorganik Hibrit Yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karakterizasyonu, Doktora Tezi, D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Ocak, Y.S. Kulakçı, M. Kılıçoğlu, T. Turan, R. Akkılıç, K.2009. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of a Sn/Methylene Blue/p-Si Schottky diode, *Synthetic Metals*,159, 1603-1607.

P.A. Lane, J. Rostalski, C. Giebeler, S.J. Martin, D.D.C. Bradley, D. Meissner, 2000. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 63, 3.

Pierce, George W,1907.Crystal rectifiers for electric currents and electric oscillations. Part I. Carborundum,*Physical Review (Series I)* 25.1 ,31.

Rhoderick E.H. 1988. Williams R.H. Metal-Semiconductor Contacts, Clarendon Pres,Second Edition, Oxford.

Rhoderick, E. H., R. H. Williams, and Metal-Semiconductor Contacts. 1988,Clarendon, 75.

Schottky, W. 1938.*Naturwissenschaften*, 26, 843

Schottky, W. Störmer, R. Waibel, F. 1931. *Zeits f. Hochfrequenztechnik*, 37,162 .

Shirakawa, H. 1977. Louis, E.J.; MacDiarmid, A.G.; Chiang, C.K. Heeger, *A.J. Chem. Commun*, 578.

Shirakawa, Hideki, et al,1977.Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogen derivatives of polyacetylene,(CH) <sub>x</sub>, *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications* 16 ,578-580.

Tseng. H.H. Wu, C.Y. 1987.*Solid State. Electron*,30, 383-390.

Turton, R. 2005. Katıların Fiziği, (Çeviren: Yoğurtçu, Y.K.), Aktif Yayınevi, Erzurum, 436 s

Türüt, A. and Sağlam, M. 1992. Determination Of The Density Of Si-Metal Interface States And Excess Capacitance Caused by Them. *Physica B*, 179-285-2.

W. Shockley, 1950. Electrons and Holes in Semiconductors, D. Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

Wilson, A.H. 1932. *Proc. Roy. Soc. London, Series A*, 48, 136.

X. Tian, Z. Xu, F. Zhang, S. Zhao, G. Yuan, J. Li, Q. Sun, Y. Wang. 2010. *Curr. Appl. Phys.* 10, 129.

Yakuphanoglu, F. Kandaz, M. Yaraşır, M. N. Şenkal, F. B. 2007. *Physica B*, 235-238.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Emine DİNÇOĞLU

**Doğum Yeri** : Adana

**Doğum Tarihi** : 20.10.1988

**Medeni Hali** : Bekar


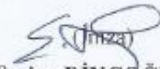
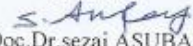
**Yabancı Dili** : İngilizce

### Eğitim Durumu

**Lise** : Hacı Sani Konukoğlu Lisesi

**Lisans** : Atatürk Üniversitesi /2007-2012

**Yüksek Lisans** : Dicle Üniversitesi/2013-2017

 <div style="text-align: center;"> <p>T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU</p> </div>	
<b>ÖĞRENCİ BİLGİLERİ</b>	
ADI VE SOYADI	Emine DİNÇOĞLU
ÖĞRENCİ NO	13802005
EĞİTİM - ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	<input type="checkbox"/> Güz <input type="checkbox"/> Bahar
ANABİLİM DALI	FİZİK
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	
<b>İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ</b>	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	45
BENZERLİK ORANI	%11
RAPORLAMA TARİHİ	03/08/2017
<p>Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 45 sayfalık kısmına ilişkin, 03/08/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından <i>Turnitin</i> adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11 'dir.</p> <p>Uygulanan filtrelemeler:</p> <p><input type="checkbox"/> Kabul/Onay sayfaları hariç,  <input type="checkbox"/> Kaynakça hariç  <input type="checkbox"/> Alıntılar hariç/dâhil  <input type="checkbox"/> Diğer</p> <p>Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p> <div style="text-align: right;">             (Emine DİNÇOĞLU)         </div>	
(İmza)  03/08/2017  Doç.Dr. Sezai ASUBAY Tez Danışmanı	(İmza)  03/08/2017 Yrd.Doç.Dr.F.Figen BİNBAŞI Anabilim Dalı Başkanı V. 