

**X-IŞINI RADYASYONUNUN METAL/ORGANİK/  
YARIİLETKEN DOĞRULTUCU KONTAKLARIN  
I-V (AKIM-GERİLİM) KARAKTERİSTİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Yılmaz ŞAHİN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı  
2014  
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**X-IŞINI RADYASYONUNUN METAL/ORGANİK/YARIİLETKEN  
DOĞRULTUCU KONTAKLARIN  $I$ - $V$  (AKIM-GERİLİM)  
KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Yılmaz ŞAHİN**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ERZURUM**

**2014**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

X-IŞINI RADYASYONUNUN METAL/ORGANİK/YARIİLETKEN DOĞRULTUCU  
KONTAKLARIN I-V (AKIM-GERİLİM) KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE  
ETKİLERİ

Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN danışmanlığında, Yılmaz ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 20/02/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Duygu EKİNCİ

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Betül GÜZELDİR

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

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

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **X-IŞINI RADYASYONUNUN METAL/ORGANİK/YARIİLETKEN DOĞRULTUCU KONTAKLARININ *I-V* (AKIM-GERİLİM) KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Yılmaz ŞAHİN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

Bu çalışmada Au/Antrakininon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al doğrultucu kontaklarının 50 gray ve 75 gray dozdaki X-ışını radyasyonunun *I-V* (Akım-Gerilim) karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırıldı. Radyasyon ışınlamalarından önce ve sonra *I-V* ölçümleri alındı. Düz beslem *I-V* grafikleri yardımıyla kontakların idealite faktörü, engel yüksekliği değerleri hesaplandı. Cheung fonksiyonları yardımıyla idealite faktörleri, engel yükseklikleri ve seri direnç değerleri hesaplandı. Işınlanmadan önce oda sıcaklığında Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun idealite faktörü 1,10, engel yüksekliği 0,75 eV, 75 gray ışınlanmadan sonra idealite faktörü 1,33, engel yüksekliği ise 0,87 eV olarak hesaplandı. Aynı metot ile oda sıcaklığında Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun idealite faktörü 1,53, engel yüksekliği 0,72 eV, 75 gray ışınlanmadan sonra idealite faktörü 1,70, engel yüksekliği 0,73 eV olarak hesaplandı. Işınlamanın etkisiyle idealite faktöründe ve engel yüksekliğinde artış gözlemlendi. Işınlama dozunun artmasıyla idealite faktöründeki artış diyotların akım iletim mekanizmasının termoiyonik emisyon teorisinden sapmasıyla açıklandı. Artan radyasyon dozuyla seri direnç değerinde de artış gözlemlendi. Seri dirençteki bu artış mobilite ve serbest taşıyıcı konsantrasyonunun azalmasına atfedildi. Yüksek dozda radyasyonun diyotlarda oluşturduğu kusurlar nedeniyle diyotların ideallikten saptığı gözlemlendi. Bu durum radyasyonun diyodun yapısını bozmasına atfedildi.

**2014, 58 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** *p*-Si, Schottky diyot, x ışını radyasyonu, Antrakininon, Piridin

## ABSTRACT

Master Thesis

### THE EFFECTS OF X-RAY IRRADIATION ON THE /CURRENT-VOLTAGE/ (*I-V*) CHARACTERISTICS OF METAL/ORGANIC/SEMICONDUCTOR RECTIFIER CONTACTS

Yılmaz ŞAHİN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

This study aimed to analyse the effects of x-ray irradiation with 50 gray and 75 gray doses on current-voltage (*I-V*) characteristics of Au/Antrakininon/*p*-Si/Al and Au/Piridin/*p*-Si/Al rectifier contacts. *I-V* measurements were taken before and after the irradiation exposure. With the help of *I-V* plots, the ideal factors and barrier height values were calculated. In addition, with the help of Cheung functions, ideal factors, barrier heights and series resistance values were calculated. Prior to the radiation application, in the room temperature, the ideal factor and barrier height of Au/Antrakininon/*p*-Si/Al were calculated as 1.10 and 0.75 eV respectively. After the radiation application, the ideal factor and barrier height values were calculated as 1.33, and 0.87 eV respectively. By using the same methods, in the room temperature, the ideal factor and barrier height of Au/Piridin/*p*-Si/Al were calculated as 1.53 and 0.72 eV respectively. After the application of 75 gray, ideal factor was measured as 1.70 and barrier height 0.73 eV. The application of x-ray irradiation increased the values of ideal factor and barrier height. The increase in ideal factor with respect to the increase of irradiation dose was explained by an outcome of the deviation in current transmission mechanism from thermo-ionic emission theory. Series resistance values increased in parallel with the increase in the radiation dose. The increase in the serial resistance was attributed to the decrease of mobility and free carrier concentration. After x-ray irradiation the diodes deviated from ideal case due to the defects induced by irradiation. This case was attributed to the impairment in the structure of diodes done by radiation.

**2014, 58 Pages**

**Keywords:** *p*-Si, Schottky diode, x-ray radiation, Antraquinone, Piridin

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde hazırlanmıştır.

Çalışmalarında bana desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN'a,

Hayatımın her anında hep arkamda olan, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme,

Tezimin her aşamasında benden desteğini esirgemeyen Sayın Uzm. Fizik Müh. Korkmaz ŞERİFOĞLU'na, Sayın Zakir ÇALDIRAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan SEZEN'e, Sayın Doç. Dr. Duygu EKİNCİ'ye ve Sayın Dr. Ali YEŞİLDAĞ'a,

Sağladığı imkanlarla bu çalışmayı yapmama vesile olan Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünün değerli öğretim üyelerine ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

**Yılmaz ŞAHİN**

**Şubat, 2014**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>5</b>
2.1. Giriş.....	5
2.2. Metal/Yarıiletken Kontaklar.....	5
2.2.1. Omik kontaklar.....	5
2.2.2. Metal/ <i>p</i> -tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar .....	6
2.3. Tünelleme Eklemi .....	8
2.4. Metal–Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları .....	9
2.5. Schottky Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi .....	10
2.6. Schottky Etkisinden Dolayı Engel Yüksekliğinin Azalması.....	15
2.7. Schottky Kontakların Karakterizasyonu .....	18
2.7.1. <i>I-V</i> (Akım-Gerilim) karakteristikleri ve Cheung fonksiyonları .....	18
2.8. Radyasyonun Yarıiletken Malzemelere Etkileri .....	21
2.8.1. Radyasyon birimleri .....	21
2.8.2. X Işınları.....	22
2.8.3. İyonizasyon zararları .....	24
2.8.4. Yerdeğiştirme zararları .....	24
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. Giriş.....	26
3.2. <i>p</i> -Si Kristalinin Temizlenmesi ve Numunenin Hazırlanması.....	26
3.3. Elektrokimyasal Kaplama İşlemi .....	28
3.3.1. Elektrokimyasal cihaz .....	28
3.3.2. Elektrot yüzeylerinin modifikasyonu .....	29

3.4. Deney ve Ölçüm Sistemleri.....	34
3.4.1. Işınlama şekli.....	34
3.5. Lineer Hızlandırıcılar .....	35
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>39</b>
4.1. Giriş.....	39
4.2. <i>I-V</i> (Akım-Gerilim) Ölçümleri ve Cheung Fonksiyonlarının Kullanılması.....	39
4.3. Arayüzey Hâl Yoğunluğu.....	49
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....</b>	<b>51</b>
5.1. Giriş.....	51
5.2. Radyasyona Bağlı <i>I-V</i> Ölçümlerinin Tartışılması .....	51
KAYNAKLAR .....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	59



## SİMGELER DİZİNİ

A	Diyodun etkin alanı
A*	Richardson sabiti
C-f	Kapasite-frekans
DI	Deiyonize su
Dmax	Maksimum Doz Noktası
e	Elektronun yükü
$E_F$	Fermi enerji seviyesi
$I_0$	Saturasyon akımı
I-V	Akım-gerilim
J	Akım yoğunluğu
$J_{m \rightarrow s}$	Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$	Yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
MU	Monitor Unit
n	İdealite faktörü
$N_c$	Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
$N_d$	İyonize olmuş donör konsantrasyonu
$p^{++}$	Aşırı katkılı p tipi yarıiletken
$R_s$	Seri direnç
SSD	Kaynak Cilt Mesafesi
T	Sıcaklık
$V_{dif}$	Difüzyon potansiyeli
$\epsilon_0$	Boşluğun dielektrik sabiti
$\epsilon_s$	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
$\Phi_b$	Schottky engel yüksekliği
$\Phi_m$	Metalin iş fonksiyonu
$\Phi_s$	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
$\chi_s$	Elektron ilgisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-bant diyagramı.....	7
Şekil 2.2. Metal-yarıiletken kontaklarda düz beslem altında akım iletim mekanizmaları .....	9
Şekil 2.3. Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisi ...	10
Şekil 2.4. (a) Metal dielektrik arayüzeyinde imaj yükü ve elektrik alan çizgileri, (b) Elektrik alan sıfırken potansiyelde meydana gelen bükülme, (c) Sabit elektrik alanda imaj yükünden dolayı oluşan bükülme .....	16
Şekil 3.1. Buharlaştırma ünitesi .....	27
Şekil 3.2 Tavlama fırını .....	28
Şekil 3.3. Si elektrot yüzeylerinin kaplandığı elektrokimyasal hücrenin şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.4. Antrakinin diazonyum tuzunun kimyasal sentezi ve Si elektrot yüzeylerinin elektrokimyasal modifikasyonu .....	31
Şekil 3.5. Si elektrot yüzeylerinin antrakinin molekülü ile elektrokimyasal olarak kaplanmasını gösteren voltamogram.....	31
Şekil 3.6. Au/Antrakinin/p-Si/Al ve Au/Piridin/p-Si/Al diyotlarının kesit görüntüsü ...	33
Şekil 3.7. Lineer Hızlandırıcı ve Işınlama düzeneği.....	36
Şekil 3.8. Lineer Akseleratör'ün Tedavi Kafası .....	37
Şekil 3.9. Akım-Gerilim ölçüm sistemi .....	38
Şekil 4.1. Işınlanmadan önce Au/Antrakinin/p-Si/Al ve referans Au/p-Si/Al diyotlarının <i>I-V</i> grafiği .....	42
Şekil 4.2. Işınlanmalar sonucu elde edilen Au/Antrakinin/p-Si/Al diyodunun <i>I-V</i> grafiği .....	43
Şekil 4.3. Au/Antrakinin/p-Si/Al diyodunun radyasyona bağlı seri direnç değişim grafiği .....	44
Şekil 4.4. Işınlanmadan önce Au/Piridin/p-Si/Al ve referans Au/p-Si/Al diyotlarının <i>I-V</i> grafiği.....	46

<b>Şekil 4.5.</b> Işınlanmalar sonucu elde edilen Au/Piridin/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun <i>I-V</i> grafikleri.....	47
<b>Şekil 4.6.</b> Au/Piridin/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun radyasyona bağlı seri direnç değişim grafiği ...	48
<b>Şekil 4.7.</b> Au/Piridin/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun Nss. Ess-eV grafiği .....	49
<b>Şekil 4.8.</b> Au/Antrakininon/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun Nss. Ess-eV grafiği.....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b> Metal–yarıiletken kontaklarda malzemelerin iş fonksiyonuna bağlı olarak kontakların cinsi .....	5
<b>Çizelge 4.1.</b> Au/Antrakinon/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun akımın gerilime bağlı değişiminden elde edilen deneysel verilerle bulunan idealite faktörü ( <i>n</i> ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve $dV/d\ln(I)$ 'nın ( <i>I</i> )'ya karşı değişiminden elde edilen seri direnç değerleri .....	44
<b>Çizelge 4.2.</b> Au/Piridin/ <i>p</i> -Si/Al diyodunun akımın gerilime bağlı değişiminden elde edilen deneysel verilerle bulunan idealite faktörü ( <i>n</i> ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve $dV/d\ln(I)$ 'nın ( <i>I</i> )'ya karşı değişiminden elde edilen seri direnç değerleri.....	48

## 1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken kontaklardaki doğrultma özelliği ilk olarak 1874 yılında F. Braun tarafından tespit edilmiştir. Yapılan ilk metal-yarıiletken diyotlar nokta kontaklı diyotlardı. Bu yapılar ilk olarak frekans dönüştürücü olarak ve mikrodalga dedektör olarak kullanılmıştır. Bu diyotlar mekanik olarak güvenilir değildi ve yeniden üretilmesi mümkün değildi. Bu yüzden yerini bir yarıiletken yüzey üzerine ince bir metal film tabakanın kaplanması ile oluşan diyotlara bıraktı. Yarıiletken üzerinde oluşturulan metal tabaka, arayüzeyinde engel oluşturduğundan bazı metal/yarıiletken yapılar doğrultucu özellik göstermektedir. Metal-yarıiletkenler arasında oluşan bu engel için ilk modeli geliştiren kişi Schottky olduğundan dolayı metal-yarıiletken kontaklar “Schottky kontak” olarak da isimlendirilmektedir. Mott ise bu engel için farklı bir model ileri sürmüştür. Bu modele göre; yarıiletkenin metal komşuluğunda vericilerden yoksun ince bir tabaka bulunmaktadır. Bu tabakada elektrik alan sabit kalacak ve potansiyel lineer olarak değişecektir.

Metal-yarıiletken kontaklarla ilgili çalışmalar özellikle 1960’lı yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Bu yıllarda Schottky diyotların yapımı birçok uygulamaya konu olmuştur. Metal-yarıiletken ve metal-yalıtkan-yarıiletken yapıların akım iletim mekanizmaları ve temel özellikleri; (Sze 1969; Sharma 1980) tarafından incelenmiştir.

Cheung and Cheung (1986), tarafından akım yoğunluğunun lineer fonksiyonlar yardımıyla çizilen grafiklerden hem ideal hem de ideal olmayan durumlarda diyot parametrelerinin elde edilmesini sağlayan farklı bir metot geliştirilmiştir.

Schottky kontakların yapımının kolaylığı ve karakteristiklerinin önemli oranda belirlenebilirliği elektronik endüstrisinde geniş bir alanda kullanımını sağlamaktadır. Kullanıldığı alana uygun devre elemanı yapmak için yarıiletkenin karakteristik parametrelerinin ölçülebilmesi gerekmektedir. Bu elektriksel parametrelerden birisi engel yüksekliği, bir diğeri de metal-yarıiletken arasındaki akım geçiş karakteristiğidir.

Akım geçiş mekanizması metal-yarıiletkenin idealliğine bağlıdır ve ideallik akım gerilim karakteristiğiyle belirlenir.

İdeal bir diyodun idealite faktörü 1'dir. Aynı zamanda iyi bir Schottky diyodun seri direnç değeri ve ters beslem akımı düşük olmalıdır.

İdeal olmayan Schottky diyotlarda metal-yarıiletken ara yüzeyi her zaman ideal şartlarda olmayabilir. Metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey tabakası, uygulanan gerilimle yüksek yük yoğunluğu ya da arayüzey hallerinin değişimi, nötral bölgenin direnci, arınma bölgesinin genişliği ile etkin kontak alanındaki değişimler, imaj kuvveti etkisiyle engel yüksekliğinin azalması ve arınma bölgesindeki tuzaklar ideal durumdan sapmalara neden olmaktadır.

Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasında doğal olarak oluşan veya yapay olarak oluşturulan arayüzey tabakasının, kontakların elektriksel özelliklerini ve fiziksel parametrelerini değiştirdiğinin görölmesiyle metal-yalıtkan-yarıiletken yapılarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Arayüzey halleriyle ilgili ilk alışma Heine (1965) tarafından yapılmıştır.

Metal-yarıiletken kontaklarda, kontak bölgesi kapasitesinin davranışlarını incelemek suretiyle yapının özellikleri hakkında bilgi sahibi olunması mümkündür.

Schottky kontaklar elektronik sanayinde birçok alanda kullanılmaktadır. Schottky engel tabakalı alan etkili transistörler (MESFET), metal oksit yarıiletken alan etkili transistörler (MOSFET) Schottky kontakların kullanıldığı yarıiletken devre elamanlarından bazılarıdır. Yarıiletken malzemelerden elde edilen transistör, doğrultucu, modülatör, hızlı anahtar uygulamaları, varaktör, dedektör, termistör ve fotosel gibi araçlar elektronik ve bilgisayar teknolojisinin gelişiminde önemli rol oynamıştır.

Türüt ve Sağlam (1992) tarafından yapılan çalışmada Al/*n*-Si ve Al/*p*-Si arayüzey tabakalı ve arayüzey tabakasız Schottky diyotlarda arayüzey hallerini ve arayüzeydeki sabit yükleri dikkate alarak *I-V* ve *C-V* karakteristiklerinden, engel yüksekliği, idealite faktörü ve arayüzey hal yoğunluğunu incelemiştir.

Sağlam *et al.* (1996) tarafından yapılan çalışmada Au/*n*-GaAs Schottky diyotların *I-V* karakteristiklerinden, arayüzey tabakası boyunca gerilim düşmesini de dikkate alarak, Cheung fonksiyonları yardımı ile seri direnç etkisini ve engel yüksekliğini hesaplamışlar, arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hallerinin enerji dağılımıyla değişimini incelemiştir.

Akkılıç *et al.* (2003) tarafından yapılan çalışmada arayüzey tabakalı ve arayüzey tabakasız Sn/*n*-Si Schottky diyot yapılarının *I-V* karakteristiklerini incelemiştir. İdealite faktörünün uygulanan gerilimle ve etkin engel yüksekliğinin de idealite faktörü ile değişimini teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır.

Krishnan *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada elektron radyasyonunun Al/*p*-Si Schottky diyotlara etkisini incelediler. Oda sıcaklığında *I-V* ölçümlerini alarak idealite faktörü, doyma akımı, engel yüksekliği ve seri direnç parametrelerini hesapladılar. Artan radyasyonla birlikte idealite faktörünün arttığını ve engel yüksekliğinin azaldığını gözlemlediler.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada arayüzey malzemesi kullanılarak oluşturulan Au/Antrakinon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotlarının x ışınları radyasyonu öncesi ve sonrasında *I-V* (Akım-Gerilim) ölçümleri yardımıyla temel diyot parametreleri hesaplandı. Diyotlar farklı dozlardaki x ışını radyasyonuna tabi tutularak ölçümler ve hesaplamalar tekrar yapıldı. X ışını radyasyonunun Schottky kontaklar üzerinde oluşturduğu etkiler incelendi.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm; konu ile ilgili literatür çalışması ve konunun amacını belirten “giriş”, ikinci bölüm; “kuramsal temeller”, üçüncü bölüm;

numune hazırlanması ve deney sistemini içeren “materyal ve yöntem”, dördüncü bölüm;  $I-V$  (Akım-Gerilim) ölçümlerinden faydalanılarak hesaplanan temel diyod parametrelerini içeren “araştırma bulguları” ve son olarak beşinci bölüm; ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen parametre ve bilgilerin yorumlanmasını içeren “tartışma ve sonuç” bölümünden oluşmaktadır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Giriş

Metal–yarıiletken kontakların iletkenlik özellikleri uygun kontakların kristallere uygulanmasıyla mümkündür. Kontak durumuna getirilen iki tabaka arasında yük alışverişi olur. Bu yük alışverişi sonucu metal ve yarıiletken termal dengeye ulaşır, böylece metalin ve yarıiletkenin Fermi enerji seviyeleri aynı düzeye gelir. Oluşan bu metal–yarıiletken kontak metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlı olarak doğrultucu kontak (Schottky kontak) ve omik kontak olarak adlandırılır.

**Çizelge 2.1** Metal–yarıiletken kontaklarda malzemelerin iş fonksiyonuna bağlı olarak kontakların cinsi ( $\Phi_m$ : Metalin iş fonksiyonu,  $\Phi_s$ : Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

	Metal/ <i>n</i> -tipi	Metal/ <i>p</i> - tipi
Doğrultucu Kontak	$\Phi_s < \Phi_m$	$\Phi_m < \Phi_s$
Omik Kontak	$\Phi_s > \Phi_m$	$\Phi_m > \Phi_s$

### 2.2. Metal/Yarıiletken Kontaklar

#### 2.2.1. Omik kontaklar

Bir metal ile yarıiletkenin kontak haline getirilmesi durumunda taşıyıcıların bir maddeden diğerine her iki yönde kolayca geçebildiği kontaklar “omik kontak” olarak adlandırılır. Omik kontaktaki akım-gerilim ilişkisi ohm yasasına uygundur. Omik kontak elde edebilmek için *p*-tipi yarıiletken yüzeyine metal buharlaştırılır. Yarıiletken yüzeyinde bir *p++* tabaka oluşturmak için belirli sıcaklıkta tavlama yapılır. Tavlama sonucu yarıiletken içine difüze olan tabaka elektron bakımından yarıiletkene göre daha zengindir.

### 2.2.2. Metal/*p*-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

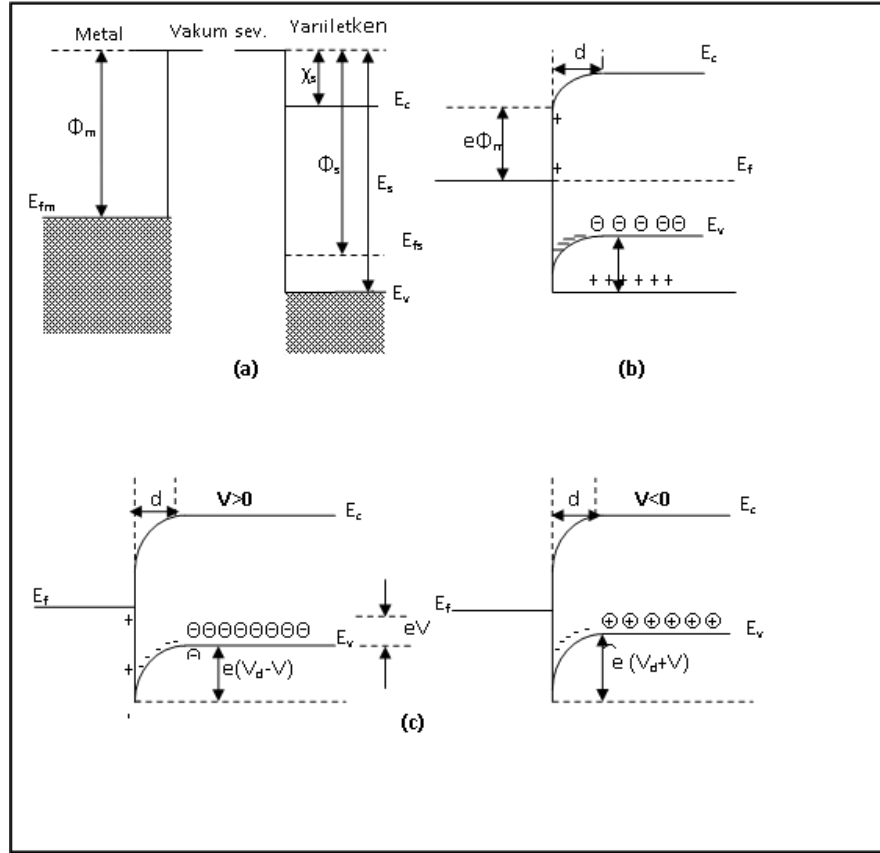
Kontak haline getirilen bir metal ve bir *p*-tipi yarıiletken dikkate alalım. Oluşan kontak için  $\Phi_m < \Phi_s$  olsun. Oda sıcaklığında akseptörlerin hepsinin iyonize olduğunu kabul edelim. Kontakta önce, Şekil 2.1.a'da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar aşağıdadır. Kontakta sonra her iki maddenin Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metalden yarıiletkene doğru elektron akışı olur. Bunun sonucu olarak, yarıiletken tarafındaki holler, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki bu negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler  $d$  kalınlığında bir uzay yükü tabakası içerisinde dağılırlar. Yarıiletken gövdedeki enerji seviyeleri  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar yükseldiği için, yarıiletken tarafındaki holler için yüzey engeli;

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

olur. Burada  $V_{dif}$  difüzyon potansiyelidir. Yarıiletken içerisindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır. Kontakta metal tarafındaki holler için engel yüksekliği;

$$e\Phi_b = E_s - \Phi_m \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilir.



**Şekil 2.1.** Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-bant diyagramı

\***a**; kontakta önce, **b**; kontakta sonra ve termal dengede, **c**;  $V \neq 0$  durumunda

Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletkendeki bazı holler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanarak, metalin içine geçebilirler. Benzer şekilde metalde termal olarak oluşan bazı holler de engeli aşacak kadar enerji kazanarak, yarıiletkenin içine geçebilirler. Böylece kontakta engelden geçen eşit ve zıt yönlü iki  $I_0$  akımı oluşur.

Yarıiletkene bir  $V$  gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.1.b), soldan sağa akan hol akımı değişmez, fakat sağdan sola doğru akan akım  $\exp(eV/kT)$  çarpanı kadar değişir. Bunun sonucu olarak yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü  $eV$  kadar düşer ve buna bağlı olarak yarıiletkenden metale geçen holler için engel yüksekliği  $eV$  kadar azalır. Sonuçta sağdan sola doğru olan akım pozitif kabul edilirse, karakteristik akım,

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

olacaktır.

### 2.3. Tünelleme Eklemi

Tünelleme metal-yarıiletken doğrultucu diyotlardaki önemli bir akım iletim mekanizmasıdır. Elektronlar engel yüksekliğini aşmak yerine daralan engel genişliği sayesinde Schottky engeli boyunca tünellenirler. Deplasyon bölgesinin genişliğinin azaltılması yarıiletken yüzeyinin aşırı tiplilik gösterecek biçimde katkılanması suretiyle mümkün olur. Katkılama işlemi termal difüzyon, iyon ekme veya epitaksiyel büyütme tekniklerinden biri kullanılarak yapılır (Neamen 1992).

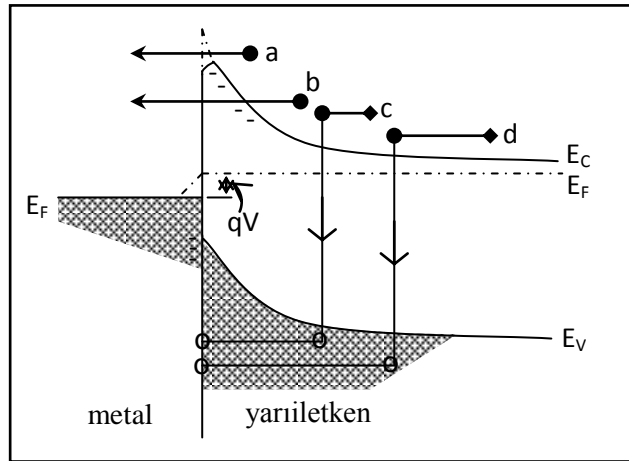
Coşkun (2000) tarafından bildirildiğine göre; bir doğrultucu kontağın uzay yükü bölgesinin genişliği (deplasyon bölgesi), yarıiletkene katkılanan kirlilik atomlarına ait konsantrasyonun karekökünün tersiyle orantılıdır (Aydoğan 2003).

$$w = \sqrt{\left(\frac{2\epsilon_s}{qN_d}\right) \left(\phi_b - (E_c - E_f) - V - \frac{kT}{q}\right)} \quad (2.4)$$

Bundan dolayı uzay yükü bölgesinin genişliği, katkı atomlarının konsantrasyonunun artmasıyla azalır. Bu durumda katkı konsantrasyonu arttıkça, potansiyel engel genişliği azalacak ve taşıyıcıların her iki yönde de tünelleme yapma ihtimaliyeti artacaktır. Bu yüzden tünelleme ile omik kontak oluşturmada yarıiletken yüzeyin aşırı tiplilik gösterecek seviyede katkılanması gerekmektedir.

## 2.4. Metal–Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

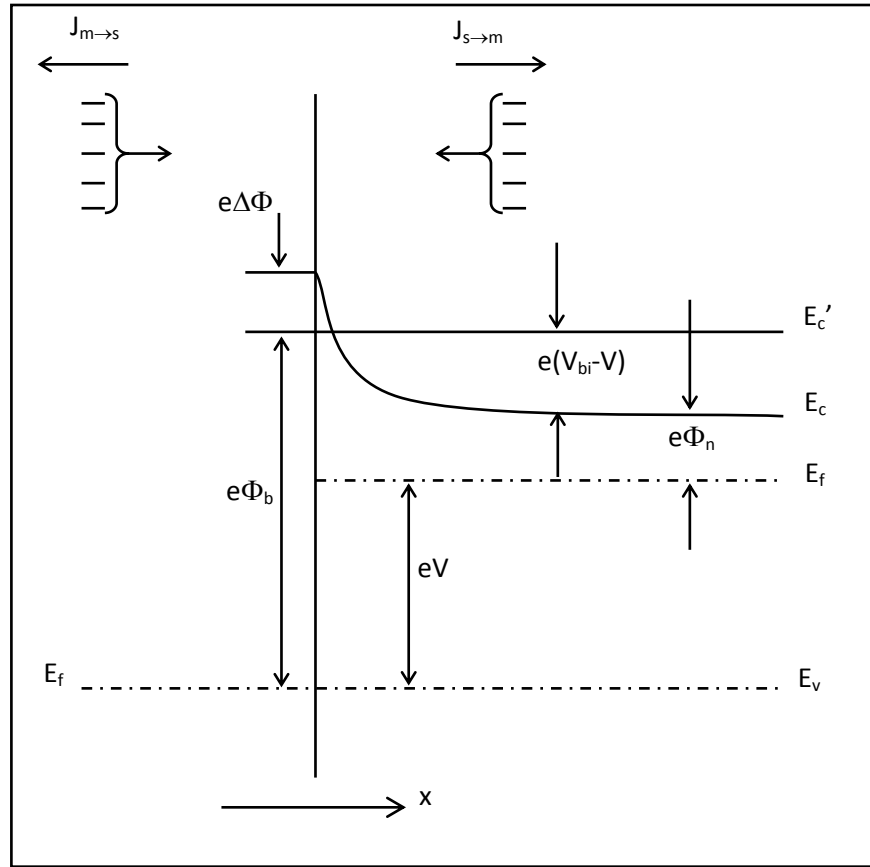
Metal-yarıiletken kontaklarda akımın taşınması genellikle çoğunluk taşıyıcılarıyla gerçekleşir. Schottky engelinde geçen akım için birkaç farklı akım iletim mekanizması vardır. Şekil 2.2’de doğru beslem altında metal/*n*-tipi yarıiletkende dört temel akım iletim mekanizması gösterilmiştir. Bunlardan birincisi (a) termoyonik emisyon teorisi, ikincisi (b) engel boyunca kuantum mekaniksel tünelleme, üçüncüsü (c) uzay yük bölgesinde yeniden birleşmeler ve dördüncüsü (d) nötral bölgelerde birleşmelerdir. Birinci durum; potansiyel engelin tepesi üzerinden yarıiletkenden metalin içine doğru elektronların iletimidir. Bu ideal katkılanmış Schottky diyotlar için ideal bir modeldir. İkinci durum; elektronların engel içinden kuantum mekaniksel olarak tünellenmesidir. Bu durum yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygun bir modeldir. Üçüncü durum orta sıcaklık bölgesinde önemli bir mekanizmadır. Dördüncü durum ise düşük sıcaklıklarda ve ters beslem durumunda etkin olan bir mekanizmadır.



Şekil 2.2. Metal-yarıiletken kontaklarda düz beslem altında akım iletim mekanizmaları

## 2.5. Schottky Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi

“Termoyonik emisyon” sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların yayınlanması olarak tanımlanır. Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda yeterince termal enerji kazanan taşıyıcıların potansiyel engeli üzerinden metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale geçmesi olarak bilinir. Metal/*n*-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/*p*-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise boşluklar akımı sağlar. Metal tarafı uygulanan voltajdan bağımsızdır. Termal enerjileri yardımıyla metal tarafındaki engeli aşan elektronların oluşturduğu akım yoğunluğu  $J_{s \rightarrow m}$  termoyonik akım yoğunluğudur. Termoyonik emisyon teorisi oluşturulurken; potansiyel engelinin yüksekliğinin  $kT/e$  enerjisinden çok yüksek olduğu, deplasyon bölgesinde taşıyıcı çarpışmalarının olmadığı, hayali kuvvetlerin etkisi ihmal edilmektedir.



Şekil 2.3. Düz beslem altındaki metal/yarıiletken kontakta imaj kuvvet azalma etkisi

Şekil 2.3'de  $V$  büyüklüğünde düz beslem gerilimi uygulanmış bir Schottky kontak görülmektedir. Burada  $J_{s \rightarrow m}$  yarıiletken den 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,

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x dn \quad (2.5)$$

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

$$dn = g_c(E) f_F(E) d(E) \quad (2.6)$$

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

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[-\frac{(E - E_F)}{kT}\right] dE \quad (2.7)$$

yazılabilir.  $(E - E_c)$  enerjisi serbest elektronun kinetik enerjisi olarak kabul edilirse, bu durumda,

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_c \quad (2.8)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (2.9)$$

ve

$$\sqrt{E - E_c} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (2.10)$$

olur. Bu sonuçlar kullanılarak (2.10) ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$dn = 2 \left( \frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{kT}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* v^2}{2kT}\right) 4\pi v^2 dv \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu denklem, hızları  $v_x \rightarrow v_{ox}$  aralığında değişen elektronların sayısını verir. Hız, bileşenlerine ayrılırsa;

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

şeklinde olur. Buradan (2.4) ifadesi,

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left( \frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{kT}\right) \int_{v_{ox}}^{\infty} v_x \exp\left(\frac{m_n^* v_x^2}{2kT}\right) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-m_n^* v_y^2}{2kT}\right) dv_y \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-m_n^* v_z^2}{2kT}\right) dv_z, \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir.  $v_{ox}$  hızı, x doğrultusundaki harekette elektronun potansiyel engelini aşabilmesi için gerekli olan minimum hızdır. Son ifadede aşağıdaki değişken değiştirmeleri yapılabilir:

$$\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \equiv \alpha^2 + \frac{e(V_{bi} - V)}{kT} \quad (2.13)$$



$$\frac{m_n^* v_y^2}{2kT} \equiv \beta^2 \quad (2.14)$$

$$\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \equiv \gamma^2 \quad (2.15)$$

Ayrıca minimum  $v_{ox}$  hızı için,

$$\frac{1}{2} m_n^* v_{0x}^2 = e(V_{bi} - V) \quad (2.16)$$

yazılabilir. Bu durumda  $v_x \rightarrow v_{ox}$  şartı için  $\alpha = 0$  olur. Yine  $v_x dv_x = \left( \frac{2kT}{m_n^*} \right) \alpha d\alpha$

yazılabilir. Bu ifadeler (2.12) denkleminde kullanılırsa;

$$\begin{aligned} J_{s \rightarrow m} = & 2e \left( \frac{m_n^*}{h} \right)^3 \left( \frac{2kT}{m_n^*} \right)^2 \exp\left( \frac{-e\phi_n}{kT} \right) \exp\left[ \frac{-e(V_{bi} - V)}{kT} \right] \\ & \times \int_0^\infty \alpha \exp(-\alpha^2) d\alpha \int_{-\infty}^\infty (-\beta^2) d\beta \int_{-\infty}^\infty (-\gamma^2) d\gamma \end{aligned} \quad (2.17)$$

ifadenin integrali alınırsa;

$$J_{s \rightarrow m} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e(\phi_n + V_{bi})}{kT} \right] \exp\left( \frac{eV}{kT} \right) \quad (2.18)$$

ya da

$$J_{s \rightarrow m} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e\phi_b}{kT} \right] \exp\left( \frac{eV}{kT} \right) \quad (2.19)$$

olur. Uygulama gerilimi sıfır olduğunda  $J_{s \rightarrow m}$  ile  $J_{m \rightarrow s}$  tamamen eşittirler. Yani,

$$J_{m \rightarrow s} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e\phi_b}{kT} \right] \quad (2.20)$$

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

$$J = \left[ A^* T^2 \exp\left( \frac{-e\phi_b}{kT} \right) \right] \left[ \exp\left( \frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.21)$$

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

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.22)$$

ile verilir (Rhoderick 1988). Genel bir durum için (2.21) ifadesi,

$$J = J_{sT} \left[ \exp\left( \frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.23)$$

olarak yazılabilir. Burada  $J_{sT}$  ters-doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_{sT} = A^* T^2 \exp\left( \frac{-e\phi_b}{kT} \right) \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir.  $\phi_b$  Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve  $\phi_b = \phi_{b0} - \Delta\phi$  şekline verildiği dikkate alınarak (2.24) ifadesi yeniden,

$$J_{sT} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2.25)$$

şeklinde yazılır. Engel yüksekliğindeki  $\Delta\phi$  değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters beslem gerilimi ile artacaktır.

## 2.6. Schottky Etkisinden Dolayı Engel Yüksekliğinin Azalması

Schottky etkisi veya imaj etkisi metal-yarıiletken yapılarda elektrostatik etkileşmeden dolayı potansiyel engelinin  $\Delta\Phi$  kadar alçalmasıdır. Bu olay şöyle açıklanabilir; Metalden  $x$  kadar uzaklıktaki bir mesafede bir dielektrikteki bir elektron bir elektrik alan oluşturacaktır. Elektrik alan çizgileri, metal yüzeyine dik olmalıdır ve bu çizgiler metalin yüzeyinden iç kısma doğru  $x$  kadarlık bir mesafede yerleşmiş bir  $+e$  imaj yükününkü ile aynı olacaktır. Bu imaj etkisi Şekil 2.4.a'da gösterilmiştir. İmaj yükü ile Coulumb etkileşmesinden dolayı elektron üzerine etki eden kuvvet,

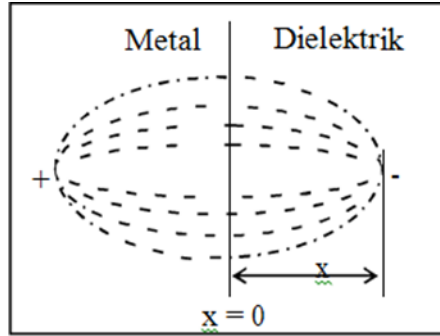
$$F = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_s(2x)^2} = -Ee \quad (2.26)$$

ifadesi ile verilir (Neamen 1992). Potansiyel ifadesi ise,

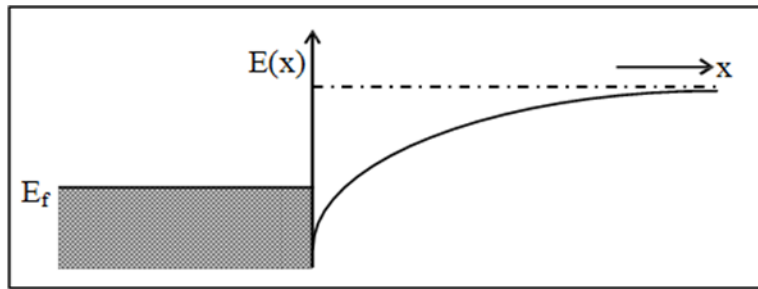
$$-\Phi(x) = + \int_{\chi}^{\infty} E dx' = + \int_{\chi}^{\infty} \frac{e}{x 4\pi\epsilon_s 4(x')^2} dx' = \frac{-e}{16\pi\epsilon_s x} \quad (2.27)$$

ile verilir. Burada  $x'$  integral değişkeni olup,  $x=\infty$  için potansiyel sıfır kabul edilmektedir.

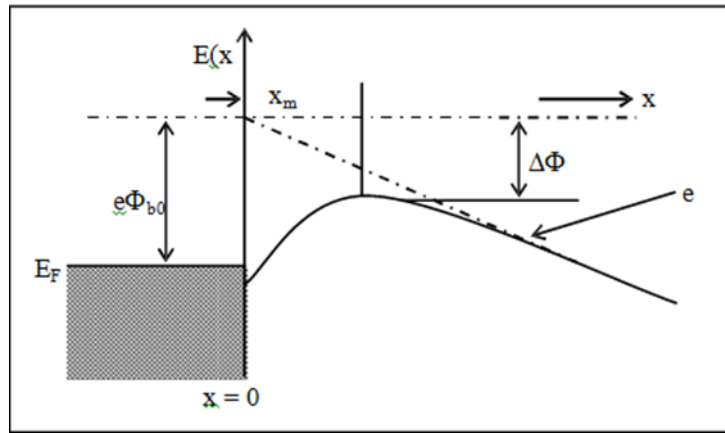
Elektronun potansiyel enerjisinin  $-e\Phi(x)$  değişimi başka elektrik alanın olmadığı kabul edilerek Şekil 2.4.b'de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 2.4.** (a) Metal dielektrik arayüzeyinde imaj yükü ve elektrik alan çizgileri, (b) Elektrik alan sıfırken potansiyelde meydana gelen bükülme, (c) Sabit elektrik alanda imaj yükünden dolayı oluşan bükülme

Dielektrikteki bir elektrik alanının varlığında potansiyel ifadesi ilave bir terim olarak modifiye edilir ve

$$-\Phi(x) = \frac{-e}{16\pi\epsilon_s x} - Ex \quad (2.28)$$

Sabit bir elektrik alanının varlığında elektronun potansiyel enerji değişimi Şekil 2.4.c'de gösterilmiştir. Bu şekilde potansiyel engeli piki azalmıştır. Potansiyel engeli pikinin bu şekilde azalması Schottky etkisi ve imaj kuvveti etkisi ile engel yüksekliğinin azalması olarak bilinir.

$$\frac{d(e\Phi(x))}{dx} = 0 \quad (2.29)$$

Şartı dikkate alınarak maksimum engelin konumu,

$$x_m = \sqrt{\frac{e}{16\pi\epsilon_s E}} \quad (2.30)$$

ve Schottky engel yüksekliğinin azalması,

$$\Delta\Phi = \sqrt{\frac{eE}{4\pi\epsilon_s}} \quad (2.31)$$

ile verilir (Ziel 1968).

## 2.7. Schottky Kontakların Karakterizasyonu

### 2.7.1. $I$ - $V$ (Akım-Gerilim) karakteristikleri ve Cheung fonksiyonları

$I$ - $V$  grafiğinin düz beslem kısmındaki değişimden faydalanarak idealite faktörü ( $n$ ), engel yüksekliği ( $e\Phi_b$ ) ve seri direnç değerleri hesaplanır. Diyodun kalitesini belirleyen önemli bir parametre olan idealite faktörü birimsiz olup  $n$  ile gösterilir. İdealite faktörü ideal bir diyot için 1 olmalıdır.

İdealite faktörü;

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.32)$$

Eşitliği ile hesaplanır.  $eV \gg kT$  olması durumunda 1 ihmal edilebilir ve ifade,

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (2.33)$$

olarak yazılır.

Eşitliğin her iki tarafının logaritması alındıktan sonra  $V$ 'ye göre türev alındığında idealite faktörü için;

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (2.34)$$

ifadesi elde edilir.  $\ln I$ - $V$  grafiği çizilip düz beslem kısmın lineer bölgesine doğrusal fit uygulanır. Bu doğrunun eğiminden  $dV/d\ln I$  değeri elde edilir. Elde edilen bu değerle birlikte (2.34) ifadesinde elektronun yükü ( $e=1.6 \times 10^{-19}$  C), Boltzmann sabiti ( $k=8.625 \times 10^{-5}$  eV/K) ve sıcaklık ( $T$ ) yerlerine yazılarak idealite faktörünün değeri

bulunur. Fit edilen doğrunun  $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta  $I_0$  doyma akım yoğunluğunu verir.

$I_0$  doyma akım yoğunluğu;

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

ifadesiyle verilmektedir. Bu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak  $\Phi_b$ 'ye göre düzenlenirse engel yüksekliği için;

$$e\Phi_b = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (2.35)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede yer alan  $A$ , diyodun etkin alanı ( $A=0.00785 \text{ cm}^2$ ),  $A^*$  Richardson sabitidir. Richardson sabitinin değeri  $p$ -Si için  $32 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ 'dir.

Termoionik emisyon teorisinde akım yoğunluğu için bulunan denklem diyodun etkin alanı ile çarpıldığında diyottan geçen toplam akım;

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.36)$$

olarak elde edilir.  $eV \gg kT$  olduğunda 1 terimi ihmal edilebilir. Bu ifade ideal diyotlar için geçerlidir. Ancak uygulanan potansiyelin tamamı deplasyon bölgesine düşmeyeceğinden ideal durumdan sapmalar olacaktır. Bu sapmalar denkleme ilave edilen birimsiz sabit olan  $n$  idealite faktörü ile temsil edilir. İdealite faktörü dikkate alınarak denklem tekrar düzenlenirse;

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (2.37)$$

ifadesine dönüşür.  $R_s$  seri direnç olmak üzere uygulanan  $V$  gerilimin  $IR_s$  kadarlık kısmı seri direnç üzerine düşeceğinden  $V$  yerine  $(V - IR_s)$  yazılabilir. Bu durumda akım denklemi;

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadenin logaritması alınarak  $V$  yalnız bırakılırsa;

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) + n\Phi_b + IR_s \quad (2.39)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin  $\ln I$ 'ya göre türevi alınırsa;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (2.40)$$

olur. Denklemdaki  $\frac{dV}{d(\ln I)}$ ,  $n$ 'nin  $I$ 'ya karşı grafiği bir doğruyu verir. Bu doğrunun eğimi seri direnci ( $R_s$ ) ve  $I=0$  için düşey ekseni kestiği noktanın  $kT/e$ 'ye oranı idealite faktörü ( $n$ )'yi verecektir. (2.38) denklemindeki son iki terim yalnız bırakılarak ifade düzenlenirse;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (2.41)$$

şeklinde ifade elde edilir. Bu ifadedeki  $H(I)$  fonksiyonu;

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (2.42)$$



şeklinde yazılabilir.  $H(I)-I$  grafiği yine bir doğru verir. Bu doğrunun eğimi nötral bölgenin direncini ( $R_s$ ) verir.  $I=0$  değeri için düşey eksen kestiği nokta engel yüksekliği ( $e\Phi_b$ )'yi verir (Aydoğan 2003).

## 2.8. Radyasyonun Yarıiletken Malzemelere Etkileri

Yarıiletken malzemeler kullanıldıkları ortama göre radyasyon sonucu yüksek enerjili fotonlara ve parçacıklara maruz kalırlar. Yüksek enerjili parçacıklar enerjilerini yarıiletken malzemelere aktararak kusurlar oluştururlar. Radyasyon yarıiletken malzemeler üzerinde iyonizasyon zararları ve yerdeğiştirmeye zararları olmak üzere iki tip zarar oluşturur. Bu iki tip zarar aşağıda anlatılmıştır. Radyasyon, malzemeler üzerinde performans alçalmasına neden olan hasarlar oluşturur. Bu hasarlar; parçacıkların enerjilerine, kütlelerine, atom numaralarına, hedef malzemelerin kütesine ve hedef atomların atom numarasına bağlıdır.

### 2.8.1. Radyasyon birimleri

Radyasyon, çeşitli kaynaklardan yayınlanan ve madde içine nüfuz edebilen girici ışınlar için kullanılan bir terimdir. Çeşitli türdeki radyasyonların enerjilerine bağlı olarak giricilikleri farklıdır. Çeşitli radyasyon birimleri aşağıda belirtilmiştir.

Aktivite birimi: Radyoaktif maddelerin birim zamandaki bozunma sayısıdır. Birimi Becquerel'dir (Bq). Kullanılan diğer birim Curie dir (Ci) ve  $1 \text{ Bq}=2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ 'dir.

Işınlama birimi: Birimi Röntgen'dir. Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında  $2.58 \times 10^{-4} \text{ C}$ 'luk yük değerinde pozitif ve negatif iyon oluşturan ışın miktarıdır.

Soğurulmuş doz: Birimi Gray'dir (Gy). 1 kg'lık kütlede depolanan enerjinin ölçüsüdür.  $1 \text{ Gray}=1 \text{ joule/kg}$ . Kullanılan eski birim rad'dır.  $1 \text{ Gy}=100 \text{ rad}$ 'dir.

Eşdeğer doz: Birimi Sievert'tir (Sv). Vücutta kg başına depolanan enerjinin değeridir. Kullanılan diğer birim rem'dir. 1 Sv=100 rem'dir.

Etkin doz: Doku ve organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade eder. Birimi Sievert'tir. 1 Gy=1Sv'dir.

### 2.8.2. X Işınları

Tez çalışmamızda radyasyon kaynağı olarak X-ışını radyasyonu kullanılmıştır. X ışınlarının yüksek enerjiye sahip olmaları, yarıiletken malzemelerin atomik düzenini değiştirmeleri, doz hızlarının yüksek olmaları, numunelerin homojen olarak ışınlanmaları ve giriciliklerinin yüksek olmaları nedeniyle X-ışını radyasyonu tercih edilmiştir. Giriciliği yüksek ışınların ne tür etkiler meydana getireceği araştırılmıştır.

X-ışınları kaynağından doğru çizgiler boyunca ıraksayan, uzağa doğru dalga veya parçacıklar şeklinde yayılan enerjiye radyasyon denir. Bu tanım kapsamında, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri, ivmeli hareket eden yüklü parçacıkların ışıdığı enerji, genel anlamda, radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz: parçacık ve dalga tipi radyasyonlar. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak çıplak gözle doğrudan görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir (elektromanyetik dalgalar). Bütün elektromanyetik radyasyonlar ışık hızıyla (boş uzayda  $\sim 3 \times 10^8$  m/s) hareket ederler. Parçacık ve dalga tipi radyasyonları, özellikleri itibarıyla de iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyonlaşma, herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil

tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için oldukça zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş çeşit iyonlaştırıcı radyasyon vardır. Bunlar:  $\alpha$ - parçacıkları,  $\beta$ - parçacıkları, X- ışınları,  $\gamma$ - ışınları ve küçük ihtimalli de olsa nötronlardır. X-ışınları, yaklaşık  $10^{-8}$  m ile  $10^{-13}$  m aralığında dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalar. En genel kaynağı bir metal hedefi bombardımana tabi tutan yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır. Bunlar aynı zamanda, elektronların yörünge atlaması ile de meydana gelebilirler.

X-ışınları tıpta bir tanı aracı olarak ve belirli kanser türlerinin tedavisinde kullanılır. Diagnostik radyoloji uygulamalarından röntgen, bilgisayarlı tomografi, mamografi ve floroskopide de X-ışınları kullanılmaktadır. X-ışınları canlı dokulara ve organizmalara zarar verici veya öldürücü etki yaptığından, bu ışınlara gereksiz yere maruz kalmanın önlenmesine dikkat edilmelidir. X-ışınları kristal yapının incelenmesinde de kullanılır; çünkü X-ışını dalga boyları katı cisimlerdeki atomlar arası uzaklık (0,1 nm) mertebesinde. X-ışınları; maddenin yapısı, örneğin kristal yapısını, doğrultularını, örgü sabitlerini ve fazın saflığını belirlemede, karmaşık organik maddelerin molekül yapılarının aydınlatılmasında, günümüzde sık başvurulan bir araştırma aracıdır.

Ayrıca nesnelere sabit bir X-ışını kaynağından geçirilerek içeriği hakkında bilgi veren X-ışını cihazlarında da kullanılmaktadır. Teknikte malzeme kontrolünde, sözcüğü ele alınan bir örneğin içinde yabancı bir madde, hava boşluğu ya da bir yapı hatası bulunup bulunmadığını anlamak için, X-ışınları radyografisinden yararlanılır. X-ışını astronomisi ile dış uzaydaki X- ışını kaynaklarının incelenmesi mümkündür. Endüstrideki kullanım alanları tıp alanındaki kadar geniş ve çeşitli olmasa da özellikle reaktör çalışmalarında ve tahribatsız muayene olarak bilinen cisimlerin içsel kesit görüntülerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Plastik, lastik, kâğıt ve cam gibi maddelerde safsızlık analizlerine olanak sağlar. Ayrıca çevre ve arkeoloji araştırmalarında da X-ışınları yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.8.3. İyonizasyon zararları

Bir atomdan veya molekülden bir ya da daha fazla elektron uzaklaştırılması işlemine iyonizasyon denir. Radyasyon sonucu iyonizasyon sağlamak için gönderilen parçacıkların enerjisinin, atom veya molekülden bir elektron sökmek için yeterli kuantum enerjisine sahip olması gerekir. Yüksek enerjiye sahip olan X ışınları ve gama ışınları iyonizasyona sebep olurlar.

### 2.8.4. Yerdeğiştirme zararları

Radyasyon, kristal örgüden bir atom sökerek boşluk oluşturabilir. Sökülen atom kristal örgüde farklı konumlara yerleşebilir. Bu durum yarıiletken malzemelerde örgü uyumunu bozduğu için “örgü kusuru” olarak tanımlanır. Parçacık ışınlanmasıyla oluşturulan nokta kusurları yüksek enerjili oldukları için, örgü içinde uzak mesafeye gidebilirler. Bu durum yüksek enerji ve büyük kütle için daha büyük bir olasılıktır. Yarıiletken malzemelerdeki yerdeğiştirme kusurları, malzemenin elektrik ve optik özellikleri üzerine büyük etkiler oluşturur.

Bu etkiler;

- Radyasyon sonucu oluşan kusurlar tarafından elektron-hol çifti üretimi,
- Radyasyon sonucu oluşan tuzak merkezleri tarafından elektron-hol çiftlerinin rekombinasyonu,
- Donor ve akseptörlerin telafisi,
- Taşıyıcıların tünellenmesi vb.'dir.

Serbest taşıyıcı mobilitesi, yoğunluğu, direnci, oluşma ve yok olma ömürleri gibi önemli malzeme parametreleri yer değiştirme zararından etkilenir. Sonuç olarak radyasyona maruz kalan devre elemanları bundan olumsuz etkilenebilirler. Yarıiletken

malzemelerde oluşan bu kusurları yok etme yöntemlerinden en önemlisi tavlama dır. Tavlama ile radyasyon altındaki devre elemanlarının ömrü uzatılabilir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Giriş

Bu kısım, Au/Antrakinon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al Schottky kontaklarının yapımı için gerekli olan malzeme, numune hazırlanması, temizlenmesi ve kontakların üretilmesiyle ilgili gerekli bilgileri kapsamaktadır.

#### 3.2. *p*-Si Kristalinin Temizlenmesi ve Numunenin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan *p*-Si kristalleri 400 µm kalınlıkta ve 1-10 Ωcm öz direncine sahiptir. Kristaller tabaka olarak satın alındığından yalnızca kimyasal temizleme yapıldı. Kimyasal temizleme için aşağıdaki işlem basamakları uygulandı:

- 1-Asetonda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2-Metanolda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3-Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 4-RCA1 (H<sub>2</sub>O: HF: NH<sub>3</sub>; 6:1:1)' de 60°C'de 10 dakika kaynatıldı.
- 5-Seyreltik HF (H<sub>2</sub>O: HF; 10:1) ile 30 saniye yıkandı.
- 6-RCA2 (H<sub>2</sub>O: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: HCl; 6:1:1)' de 60°C'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7-Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 8-Seyreltik HF (H<sub>2</sub>O: HF; 10:1) ile 30 saniye yıkandı.
- 9-15-20 dakika akan deiyonize su içerisine konuldu ve sonra iyice kurutuldu.

Omik kontak yapımında numuneyi tavlama için kullanılacak kuartz pota, asetonla 5 dakika ve metanolla 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı. Buharlaştırmada kullanılacak olan Au ve Al metalleri %10 seyreltilmiş HF ile yıkandı ve kurutuldu.

İlk işlem olarak numunelerin mat tarafına omik kontak yapılması gerekir. Omik kontak işleminde temizlenmiş Al metali kullanıldı. Bu işlemde kullanılacak olan ısıtıcı %10 seyreltilmiş HCl ile 2 dakika yıkandı ve deiyonize su ile temizlenerek kurutuldu. Daha sonra vakum ünitesinde akkor hale getirilerek temizlendi.

Kimyasal olarak temizlenmiş olan Al metali ısıtıcı üzerine yerleştirilerek vakum sisteminde  $\sim 10^{-5}$  torr basınç altında numunelerin (*p*-Si) mat yüzeyine buharlaştırıldı. Buharlaştırma işleminden sonra numuneler N<sub>2</sub> ortamında 3 dakika, 580°C tavlama fırınında tavlandı. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Buharlaştırma ünitesi ve tavlama fırını sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görülmektedir.



**Şekil 3.1.** Buharlaştırma ünitesi



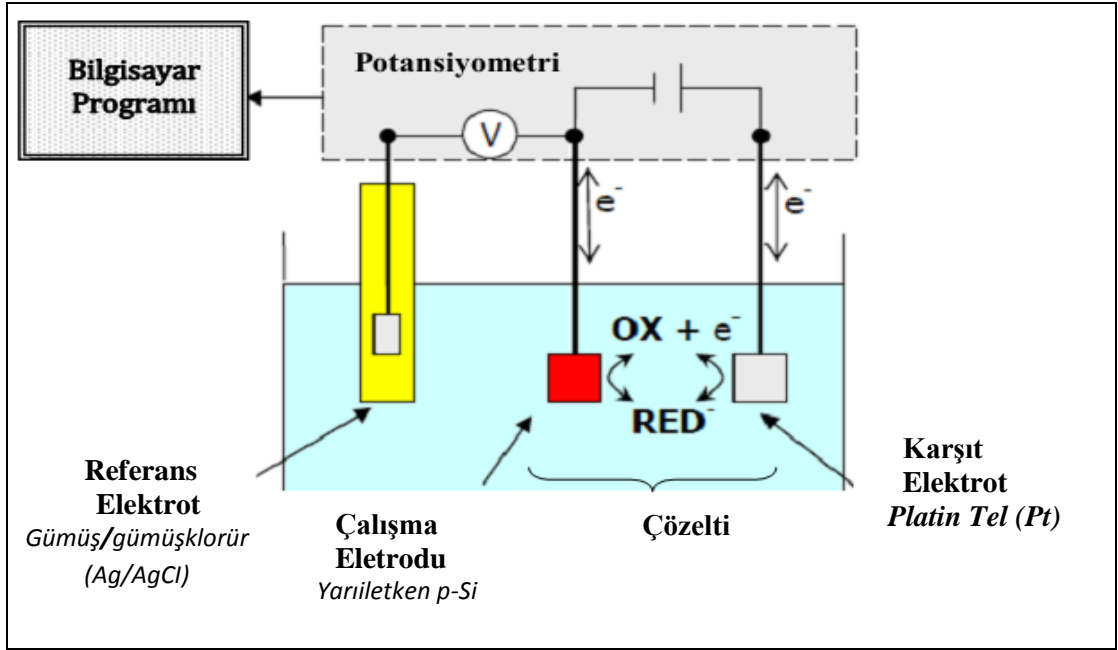
**Şekil 3.2** Tavlama fırını

### **3.3. Elektrokimyasal Kaplama İşlemi**

#### **3.3.1. Elektrokimyasal cihaz**

Tüm elektrokimyasal ölçümler Bioanalytical Systems BAS-100B elektrokimyasal analizörü ile üç elektrotlu bir bölmeli elektrokimyasal hücrede gerçekleştirildi (Şekil 3.3). Çalışma elektrotu olarak omik kontak yapılmış *p*-Si tabakalar kullanıldı. Pt tel ve Ag/AgCl/KCl (doygun) elektrotlar sırasıyla karşıt ve referans elektrot olarak kullanıldı. Tüm potansiyeller bu referans elektrota karşın oda sıcaklığında kaydedildi. Elektrokimyasal analizler sırasında çözünmüş oksijeni uzaklaştırmak için çözeltiden azot gazı geçirildi.





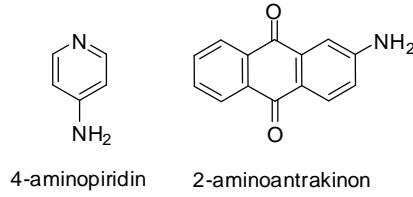
**Şekil 3.3.** Si elektrot yüzeylerinin kaplandığı elektrokimyasal hücrenin şematik gösterimi

### 3.3.2. Elektrot yüzeylerinin modifikasyonu

Modifikasyondan önce silisyum elektrotların temizlenmesi aşağıda verilen basamaklar izlenerek gerçekleştirildi.

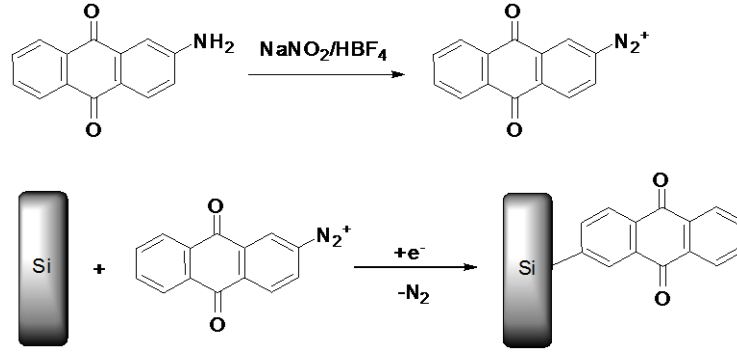
- Sırasıyla asetonitril ve saf su içerisinde ultrasonik banyoda 10 dk yıkama,
- %2'lik HF içerisinde ultrasonik banyoda 5 dk yıkama,
- Yeniden su ve asetonitril çözeltilisinde ultrasonik banyoda 10 dk yıkama,
- Azot atmosferinde kurutma,

Mekanik olarak temizlenen elektrotların kovalent bir şekilde modifikasyonu için 4-aminopiridin ve 2-aminoantrakinon molekülleri kullanıldı.

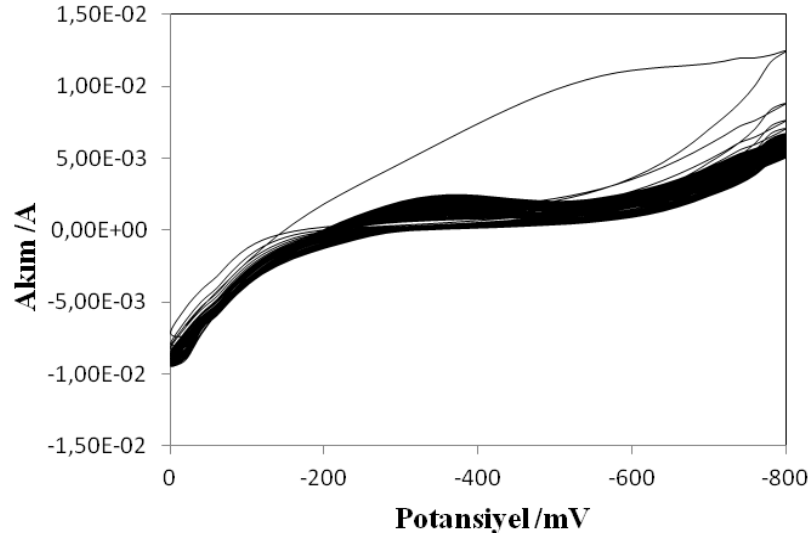


Bu bileşiklerin NH<sub>2</sub> grubu içermesi, çalışmamızın amacını oluşturan diazonyum tuzunu elde etme ve bu diazonyum tuzlarının elektrokimyasal indirgenmesiyle katı elektrot yüzeylerinin kolayca modifikasyonu açısından önemlidir.

Diazyonyum tuz sentezi literatürde verilen prosedür ile gerçekleştirildi. İlk aşamada heteroaromatik amino molekülleri (0,01 mol) 6 ml HBF<sub>4</sub> içerisinde çözününceye kadar karıştırıldı ve bu esnada sıcaklık tuz-buz banyosuyla -4 °C'ye ayarlandı. Karıştırılan her bir çözeltiliye 0,01 mol sodyumnitritin (NaNO<sub>2</sub>) 3 ml asetonitril içerisindeki çözeltisi damla damla ilave edildi. NaNO<sub>2</sub> ilavesinden sonra her bir çözelti 45 dakika karıştırıldı ve diazonyum tuzlarının çökmesi için +4 °C'de bekletildi. Reaksiyon sonucunda sadece antrakinon için katıların oluşumu gözlemlendi. Söz konusu çökelek eter ile yıkandıktan sonra modifikasyon işlemi için 0,1 M Bu<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub> içeren asetonitril içerisinde çözüldü. Bu çözelti kullanılarak voltametri tekniği ile diazonyum tuzunun indirgenme potansiyel aralığı belirlendi (Şekil 3.4). Belirlenen potansiyel aralığında (başlangıç potansiyeli +0,0 V ve dönüşüm potansiyeli -0,8 V) tarama yapılarak Si yüzeyinin modifikasyonu gerçekleştirildi (Şekil 3.5).



**Şekil 3.4.** Antrakinon diazonyum tuzunun kimyasal sentezi ve Si elektrot yüzeylerinin elektrokimyasal modifikasyonu



**Şekil 3.5.** Si elektrot yüzeylerinin antrakinon molekülü ile elektrokimyasal olarak kaplanmasını gösteren voltamogram

Diazonyum tuzu sentezi esnasında, piridin gibi heteroatomlu halkaların çözünürlüklerinin fazla olması nedeniyle, oluşması beklenen tuzların çözelti fazından alınabilmesi ve piridin diazonyum tuzlarının uzun süre kararlı olmaması gibi bazı problemlerle karşılaşıldığından, piridin diazonyum tuzlarının elektrokimyasal hücre içerisinde in-sitü olarak sentezi gerçekleştirildi. İn-sitü şartlarda oluşan diazonyum kationları ile elektrot yüzeylerinin modifikasyonu iki aşamada yapıldı. Elektrokimyasal hücrede yapılan ilk aşamada 1,0 mM 3-aminopiridin içeren her bir  $\text{HBF}_4$  çözeltisine 0,1

M BuNO<sub>2</sub>/asetonitril çözeltisi damla damla ilave edildi ve karışımlar -4 C<sup>0</sup>'de karıştırıldı (Baranton *et al.* 2005). İkinci aşamada ise bu çözelti içerisinde yer alan çalışma elektrotuna her bir tuzun indirgenmesi için gerekli olan potansiyel aralığında tarama yapılarak elektrot yüzeylerinin modifikasyonu gerçekleştirildi.

Si elektrot yüzeylerine kovalent bağ ile bağlanan antrakinin ve sonuç filmlerin uygulama alanlarını şöyle sıralayabiliriz:

### **1.grup;**

- Elektrostatik malzemeler,
- İletken yapıştırıcılar,
- Elektrokimyasal kılıflama,
- Baskı devre bordları,
- Antistatik kaplama,
  
- Aktif elektronik (diyot ve transistör), ...v.b.

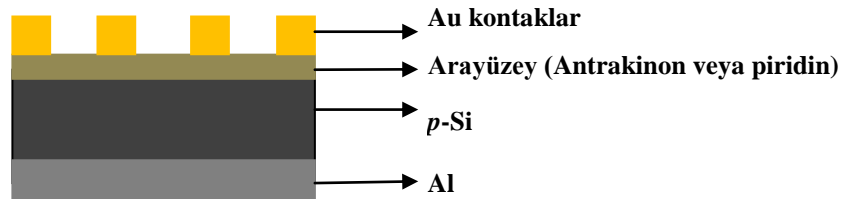
### **2.grup;**

- Moleküler elektronik,
- Elektriksel göstergeler,
- Kimyasal, biyokimyasal ve termal sensörler,
  
- Şarjlı batarya, katı elektrolitler ve optik bilgisayarlar, ...v.b.

Sonuç olarak bir yüzeyine Al buharlaştırılmış Si elektrotları kaplamak için iki adım kullandı 1. adım kimyasal sentez, 2. adım ise elektrokimyasal kaplamadır (Şekil 3.6). Elektrokimyasal yöntem polimerleştirme yöntemi değildir ancak tarama sayısına bağlı olarak çoklu tabakalar elde edilebilir. Düşük taramada antrakininin ve piridin tek

tabaka olarak (ince film) Si elektrot yüzeyine bağlanır, yüksek taramada ise çoklu tabaka oluşur ve bu durum polimerleşme gibi düşünülebilir (Dunker *et al.* 1936; Delamar *et al.* 1992).

*p*-Si kristalin parlak yüzeylerine Antrakinin ve Piridin büyütüldükten sonra elde edilen Antrakinin/*p*-Si/Al ve Piridin/*p*-Si/Al yapıları laboratuvar sıcaklığında 10 dakika asetonitril ile yıkandı ve azot gazı ile kurutuldu. Daha sonra referans Au/*p*-Si/Al ve Au/Antrakinin/*p*-Si/Al Schottky yapıların imaline başlandı. Üzerine Antrakinin ve Piridin kaplanmış omik kontağı yapılmış numuneler, 1 mm çapındaki deliklere sahip molibden gölge maske üzerine, omik kontak için yapılan yüzleri yukarı bakacak şekilde yerleştirilerek üzeri cam lamel ile kapatıldı. Laboratuvarımızdaki omik kontak işleminde kullandığımız kaplama ünitesinin cam fanusu kapatılarak vakuma alındı. Kaplama ünitesinin içerisinde basınç  $\approx 10^{-5}$  torr değerine ulaşıncaya, sisteme akım verildi. Antrakinin ve Piridin kaplanmış yüzey üzerine Au metali buharlaştırılarak Şekil 3.6'daki gibi nokta şeklinde doğrultucu (Schottky) kontaklar elde edildi. Elde edilen Au/Antrakinin/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotların laboratuvar sıcaklığında *I-V* ölçümleri alındı ve temel diyot parametreleri (idealite faktörü, engel yüksekliği gibi) hesaplandı. Bu hesaplamalar sonucunda, Au/Antrakinin/*p*-Si/Al yapısında ideal değerlere yakın diyot seçildi. Daha sonra bu diyotlar radyasyona tabi tutuldu. Bu aygıtların kesit görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Au/Antrakinin/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotlarının kesit görüntüsü

### 3.4. Deney ve Ölçüm Sistemleri

#### 3.4.1. Işınlama şekli

Cihaz kalibrasyonunu yapmak ve cihazın maksimum verimlilikte ışınlama yapmasını sağlamak için aşağıdaki parametreler kullanıldı.

Basınç (P) : 816,5 mBar

Sıcaklık (T) : 20,5°C

$$C_{TP} = \frac{T + 273,2}{T_0 + 273,2} \times \frac{P_0}{P} \quad (3.5)$$

Basınç-Sıcaklık Faktörü :

$T_0 = 20^\circ\text{C}$

$P_0 = 1013,2 \text{ mBar}$

Numuneler LİNAC (Lineer Akseleratör) cihazında ışınıldı. Işınlamadan önce yukarıda belirtilen parametreler hesaba katılarak cihaz 1 Cgy'e 1 MU (Monitor Unit) verecek şekilde kalibre edildi. Gerekli lazer ayarları yapıldı. Numuneler katı fantom üzerine konuldu (Şekil 3.7). Kaynak ile numune arasında mesafe (SSD) 100 cm'ye ayarlandı. Numuneler 6 MV'un maksimum doz noktası olan 1,7 cm'ye yerleştirildi. 6 MV enerjide ışınlama yapıldı. Şekil 3.7'da ışınlama düzeneği görülmektedir. Cihazın mekanik özelliklerine göre ışınlama süresi (MU) hesaplandı. Verilen dozlar ve süreler aşağıdaki gibidir.

RADYASYON	ENERJİ	MU	dmax	IŞINLANAN ALAN
1.Radyasyon(50Gy)	6MV	5056	1,7 cm	10x10 cm <sup>2</sup>
2.Radyasyon(75Gy)	6MV	7584	1,7 cm	10x10 cm <sup>2</sup>

1.Radyasyonda numune doz olarak 50 Gray, süre olarak da 5056 MU ışınlandı. 2. Radyasyon sonunda numune toplam 75 Gy ve süre olarak da 7584 MU ışınlanmış oldu.

İşinlamada Siemens-Primus lineer hızlandırıcı kullanıldı.

### **3.5. Lineer Hızlandırıcılar**

Lineer Akseleratörler 4-25 MV'lik X ışını ve 3-18 MeV arasında elektron üretebilen tedavi cihazlarıdır. Linaclar, X-ışını elde etmek için kullanılan Röntgen tüplerinin çalışma prensibine dayanmaktadır. Fakat anot ile katot arası mesafe Röntgen tüplerine nazaran daha uzundur. Katotdan çıkan elektronlar Megavoltaj mertebesindeki bir potansiyel farkı ve radar dalgaları sayesinde çok yüksek hızlara (0,4 x ışık hızından 0,97 x ışık hızına) kavuşturulduktan sonra anota (hedefe) çarptırılarak megavoltaj X ışınları elde edilir.

Linac'larda Fokus cilt uzaklığı 100 cm kadardır ve Gantrileri Gantri merkezinden bir aks etrafında 360° dönebilme imkânına sahip olması nedeniyle izosentrik tekniklere uygun tedavi yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu cihazlar Co-60 Teteterapi cihazlarına göre daha büyük ve keskin kenarlı (düşük penubralı) alanları yüksek enerjilerde ışınlama imkânı sağlamaktadır. Linaclar Co-60'lara göre tedavide daha çok imkân tanınmasına nazaran daha fazla bakım gerektiren ve maliyeti yüksek olan cihazlardır. Linaclar yapı itibariyle elektron hızlandırıcısı, elektron saptırıcı kısmı ve kolimatör (kafa) kısmı olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.7. Lineer Hızlandırıcı ve Işınlama düzeneği





**Şekil 3.8.** Linear Akseleratör'ün Tedavi Kafası

Fabrikasyonunu yaptığımız referans Au/p-Si/Al diyodunun sadece laboratuvar sıcaklığında  $I-V$  ölçümleri alındı. Elde edilen diyotların  $I-V$  ölçümlerini almak için “KEITHLEY 487 Picoammeter/Voltage Source” cihazı, kullanıldı. Ölçümler oda sıcaklığında ve karanlık ortamda alındı.  $I-V$  ölçüm sistemleri Şekil 3.9’da görülmektedir.



**Şekil 3.9.** Akım-Gerilim ölçüm sistemi

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Giriş

Bu bölümde, bir önceki bölümde ayrıntıları verilen işlem basamakları takip edilerek fabrikasyonu tamamlanan referans Au/*p*-Si/Al, Au/Antrakinon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotlarının laboratuvar şartlarında *I-V* (Akım-Gerilim) ölçümleri, X ışını radyasyonuna bağlı olarak elde edilen değişimlerin değerlendirilmesinde kullanılan metotlar ve değişimlerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen temel diyot parametrelerinin bazıları yer almaktadır.

### 4.2. *I-V* (Akım-Gerilim) Ölçümleri ve Cheung Fonksiyonlarının Kullanılması

Bu bölümde Au/Antrakinon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotlarının farklı dozlarda x-ışını radyasyonuna maruz bırakılarak *I-V* karakteristikleri yardımıyla radyasyonun diyotlar üzerindeki etkileri değerlendirilecektir.

*I-V* ölçümleri yardımıyla diyotların lineer davranış sergilediği düz beslem tarafındaki değişiminden idealite faktörü, engel yüksekliği ve yüksek akım değerlerine karşılık gelen ve lineerliğin bozulduğu bölge yardımıyla da seri direnç değerleri hesaplandı. Ayrıca referans Au/*p*-Si/Al yapısının laboratuvar sıcaklığındaki *I-V* ölçümlerinden idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri de hesaplandı.

Termoionik Emisyon (TE) teorisine göre, bir Schottky diyodun doğru beslem akımı uygulanan potansiyele bağlı olarak;

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

ifadesi ile verilmektedir. Bu ifadede  $eV \gg nkT$  olması durumunda üstel terim yanında '1' ihmal edilebilir. Bu durumda ifadenin yeni hali;

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

olur. (4.2) ifadesinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp, sonra da  $V$ 'ye göre türevi alınır; idealite faktörü için (4.3) ifadesi elde edilir.

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

İdealite faktörü; diyodun karakteristiğini belirleyen önemli bir parametredir. "n" simgesi ile gösterilir ve birimsiz bir parametredir. İdeal bir diyot için  $n=1$ 'dir ve  $n$  değeri 1'den uzaklaştıkça, yani değeri büyüdükçe diyot ideal olmayan bir davranış sergiler.

$\ln I$ - $V$  grafiği çizildiğinde, düz beslem kısmındaki lineer bölgeye doğru bir fit çizilerek bu doğrunun eğiminden  $dV/d(\ln I)$  elde edilir. Bu değerle birlikte  $e$ , (elektronun yükü  $=1,6 \times 10^{-19}$  C),  $k$  (Boltzmann sabiti  $=8,625 \times 10^{-5}$  eV/K) ve  $T$  (mutlak sıcaklık (K)) değerleri (4.3) ifadesinde yerine yazılarak idealite faktörü değerleri hesaplandı. Fit edilen doğrunun  $V=0$ 'da düşey eksen kestiği nokta  $I_0$  doyma akım yoğunluğunu verir. (4.2)'deki  $I_0$  doyma akım yoğunluğu,

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

ile verilmektedir. (4.4) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp  $\Phi_b$ 'ye göre çözümlerse, (4.5) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

$$e\Phi_b = kT \ln(AAT^2 / I_0) \quad (4.5)$$

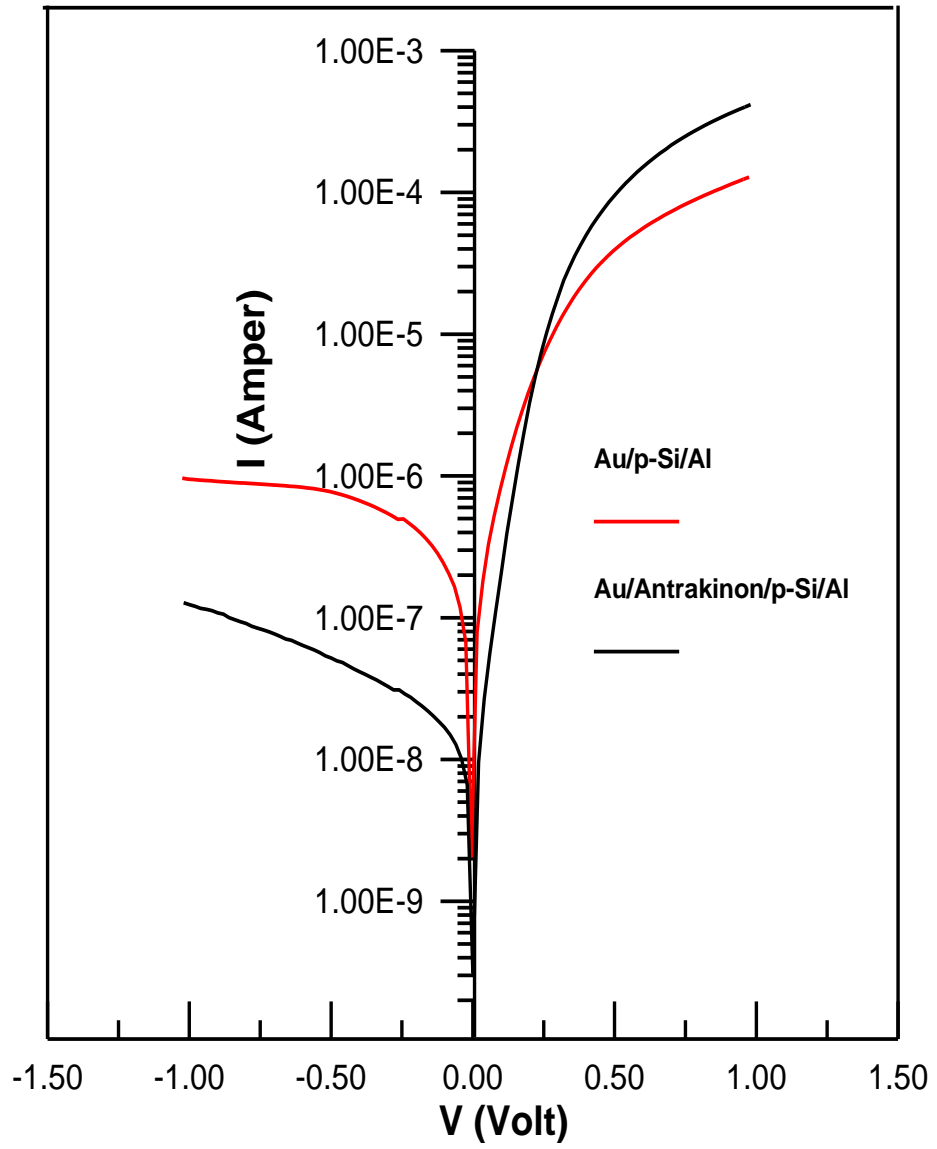
Burada,  $A$ , diyodun etkin alanı ( $A=0,00785 \text{ cm}^2$ )  $A^*$ , Richardson sabiti olup  $p$ -Si için  $32 A/K^2 \text{ cm}^2$ , dir.

$I$ - $V$  ölçümleri yardımıyla diyodun, lineer davranış sergilediği düz beslem tarafındaki değişiminden idealite faktörü, engel yüksekliği değerleri hesaplandı.

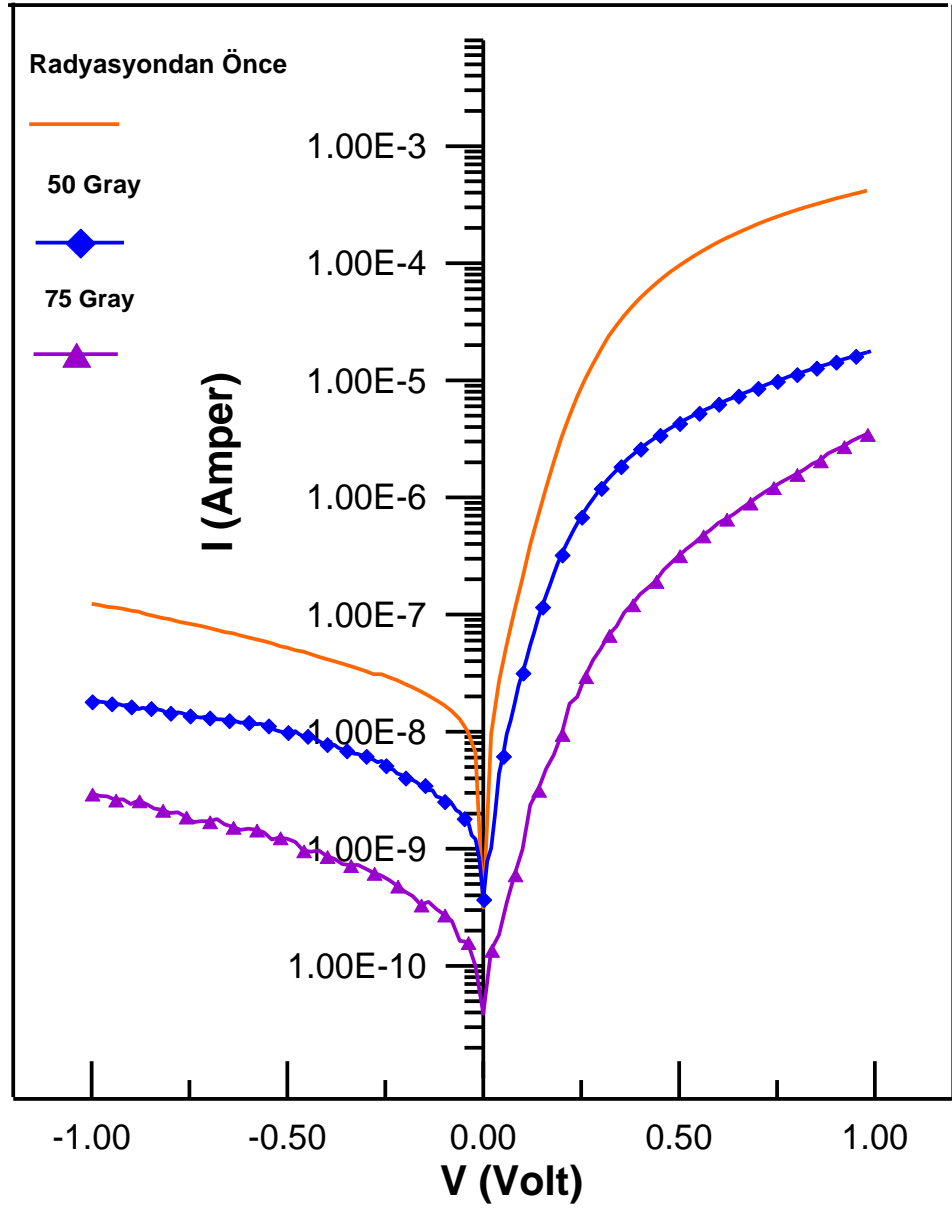
Radyasyona bağlı  $I$ - $V$  (Akım-Gerilim) ölçümleri şöyle alındı;

Au/Antrakininon/ $p$ -Si/Al ve referans Au/ $p$ -Si/Al diyotlarının akım-voltaj grafikleri Şekil 4.1'de, Au/Piridin/ $p$ -Si/Al ve referans Au/ $p$ -Si/Al diyotlarının akım-voltaj grafikleri Şekil 4.4'de verilmektedir. Daha sonra bu diyotlar belirli dozlarda radyasyona maruz bırakıldı. Radyasyondan önce ve sonra Schottky diyotların  $I$ - $V$  ölçümleri KEITHLEY 487 Picoammeter/Voltage Source cihazı ile ölçüldü. (2.40) ve (2.42) (Cheung fonksiyonları) eşitlikleri kullanılarak, diyodun engel yükseklikleri, idealite faktörleri ve seri direnç değerleri bu ifadeler yardımıyla da hesaplandı. (2.40) ifadesinde verilen  $dV/d(\ln I)$ 'nin  $I$ 'ya karşı çizilen grafiği bir doğru vermektedir. Bu doğrunun  $I=0$ 'da düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü, doğrunun eğiminden de seri direnç değerleri elde edildi.

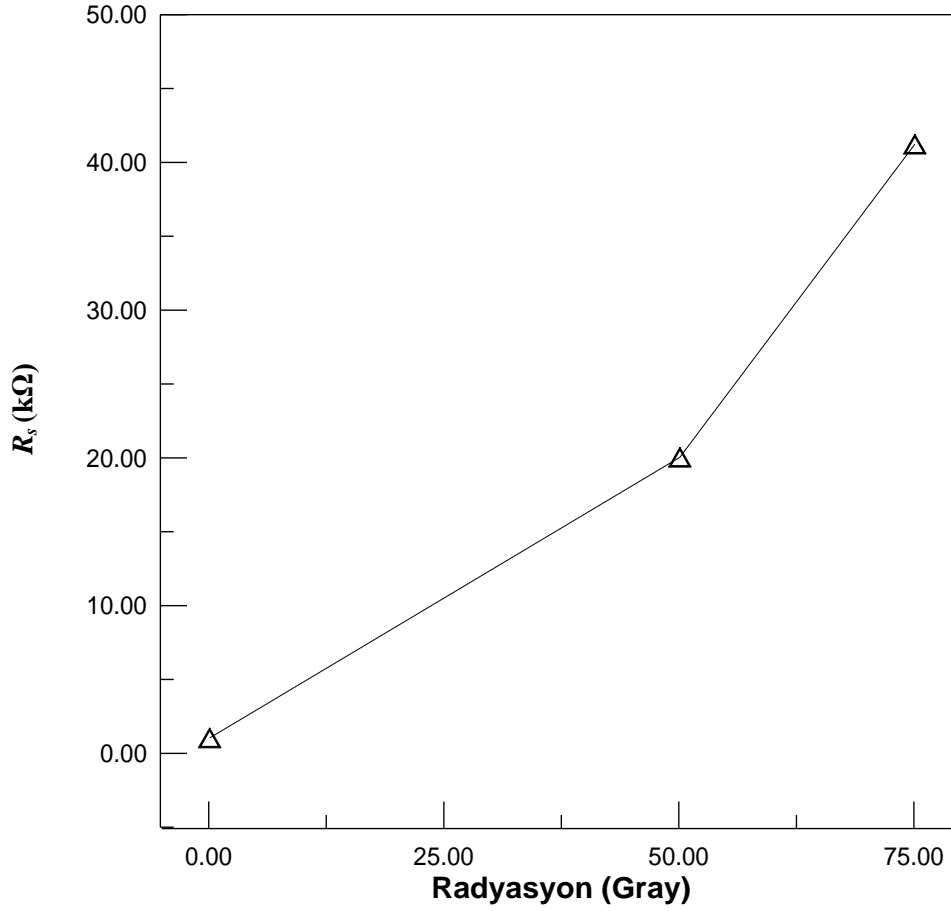
Au/ $p$ -Si/Al diyodunun Antrakininon kaplamadan önce idealite faktörü 1.22, engel yüksekliği 0,72 eV olarak hesaplandı. Işınlanmadan önce Au/Antrakininon/ $p$ -Si/Al Schottky diyodunun idealite faktörü 1.10, engel yüksekliği 0,75 eV ve seri direnç değeri ise 1,30 k $\Omega$  olarak bulundu. Şekil (4.1) ışınlanmadan önce Au/Antrakininon/ $p$ -Si/Al ve referans Au/ $p$ -Si/Al diyotlarının  $I$ - $V$  grafiğini, Şekil (4.2) ışınlanmalar sonucu elde edilen Au/Antrakininon/ $p$ -Si/Al diyodunun  $I$ - $V$  grafiğini ve Şekil (4.3) ışınlanmalar sonucu elde edilen seri direnç değişim grafiğini göstermektedir.



**Şekil 4.1.** Işınlanmadan önce  $Au/Antrakinon/p-Si/Al$  ve referans  $Au/p-Si/Al$  diyotlarının  $I-V$  grafiği



Şekil 4.2. Işınlanmalar sonucu elde edilen Au/Antrakinon/ $p$ -Si/Al diyodunun  $I$ - $V$  grafiği



**Şekil 4.3.** Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun radyasyona bağlı seri direnç değişim grafiği

**Çizelge 4.1.** Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun akımın gerilime bağlı değişiminden elde edilen deneysel verilerle bulunan idealite faktörü ( $n$ ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve  $dV/d(\ln I)$ 'nin ( $I$ )'ya karşı değişiminden elde edilen seri direnç değerleri

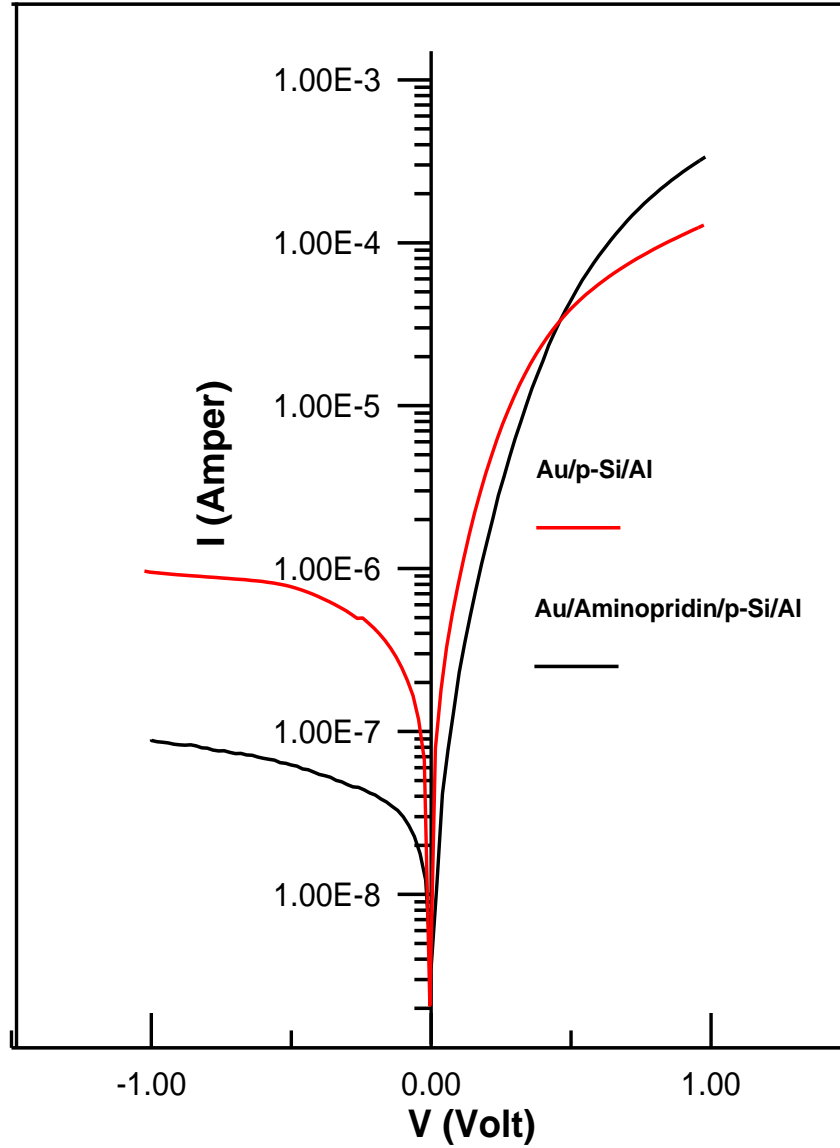
İşlem	$I$ - $V$		$dV/d(\ln I)$		$H(I)$ - $I$	
	$n$	$\Phi_b$ (eV)	$n$	$R_s$ (k $\Omega$ )	$\Phi_b$ (eV)	$R_s$ (k $\Omega$ )
Referans	1,10	0,75	2,78	1,10	0,39	1,30
50 Gray	1,23	0,79	5,79	20,1	0,65	20,8
75 Gray	1,33	0,87	5,6	41,3	0,77	42,5

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi 50 gray ışınlanmadan sonra ise idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değeri sırasıyla 1,23, 0,79 eV ve 20,8 k $\Omega$  olarak bulundu. 75



gray ışınlanmadan sonra ise idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değeri sırasıyla 1,33, 0,87 eV ve 42,5 k $\Omega$  olarak bulundu. Işınlamayla idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri artış göstermiştir. 75 gray ışınlanmadan sonra ters beslem akımında artış meydana gelmiştir. Radyasyon dozuyla birlikte seri direnç değerlerindeki artma mobilite ve serbest taşıyıcı yoğunluğundaki azalmayı ifade eder. Radyasyonla indüklenmiş kusur (tuzak) merkezlerinin yoğunluğu artar. Dolayısıyla, kristal örgüdeki serbest taşıyıcılar kusur (tuzak) merkezleri tarafından yakalanır ve bu da taşıyıcı yoğunluğunun azalmasıyla sonuçlanır (Tascioğlu 2012).

Au/*p*-Si/Al diyodunun Piridin kaplamadan önce idealite faktörü 1,68, engel yüksekliği 0,70 eV olarak hesaplandı. Işınlanmadan önce Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun idealite faktörü 1,53 engel yüksekliği 0,72 eV ve seri direnç değeri 0,96 k $\Omega$  olarak bulundu. Şekil (4.4) ışınlanmadan önce Au/Piridin/*p*-Si/Al ve referans Au/*p*-Si/Al diyotlarının *I-V* grafiğini Şekil (4.5) ışınlanmalar sonucu elde edilen Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun *I-V* grafiğini ve Şekil (4.6) ışınlanmalar sonucu elde edilen seri direnç değişim grafiğini göstermektedir. Bu diyotta da Au/Antrakinon/*p*-Si/Al diyodunda olduğu gibi radyasyon dozuyla birlikte seri direnç değerlerinde ve idealite faktörlerinde artış meydana gelmiştir. Seri direnç değerindeki bu artış taşıyıcı yoğunluğundaki azalmayı ifade eder. Bu artışın nedeni arayüzeyde oluşan kusurlar ve radyasyonun taşıyıcı konsantrasyonunu azaltması olarak yorumlanabilir.

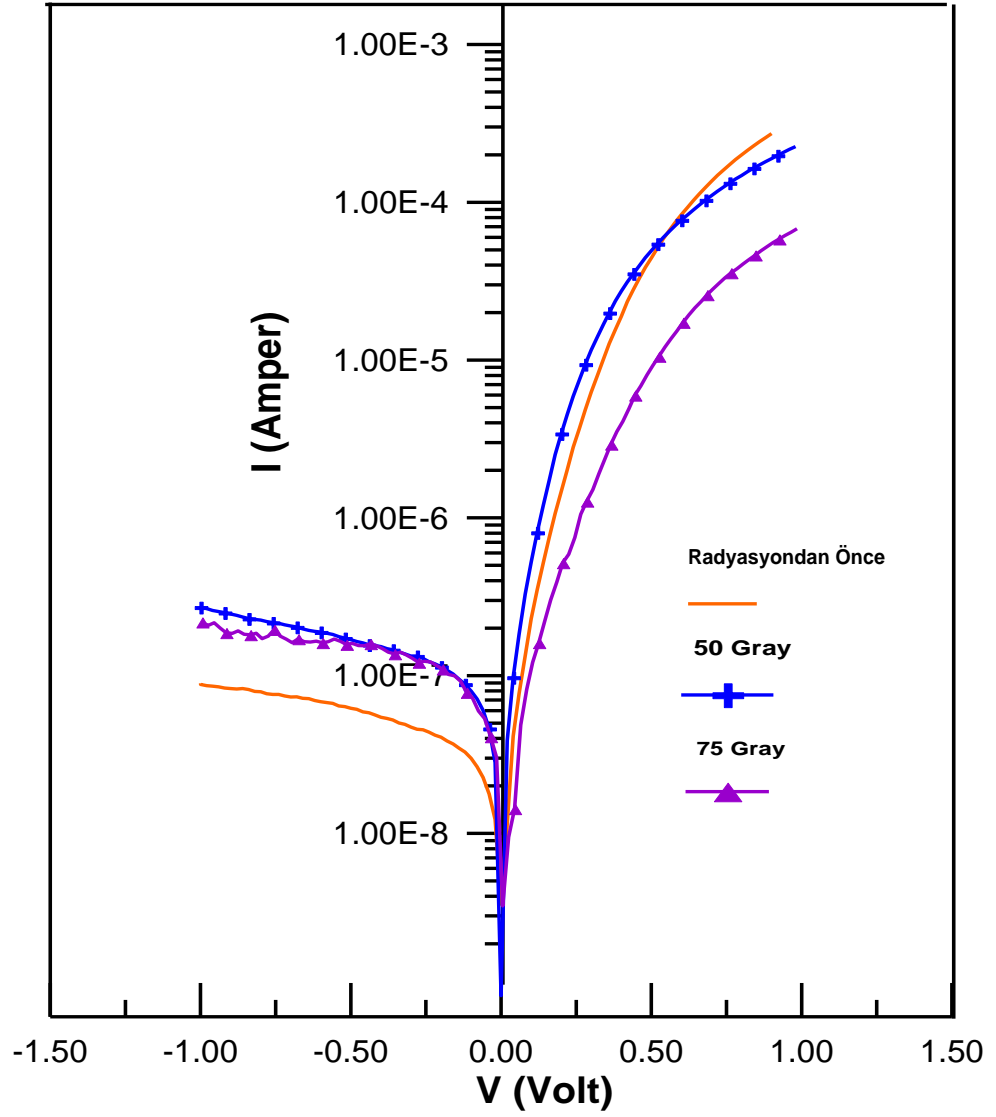


**Şekil 4.4.** Işınlanmadan önce  $\text{Au/Piridin/p-Si/Al}$  ve referans  $\text{Au/p-Si/Al}$  diyotlarının  $I$ - $V$  grafiği

50 gray ışınlamadan sonra idealite faktörü 1,46, engel yüksekliği 0,70 eV ve seri direnç değeri 1,77 k $\Omega$  olarak bulundu. 75 gray ışınlanmadan sonra idealite faktörü 1,70, engel yüksekliği 0,73 eV ve seri direnç değeri 4,97 k $\Omega$  olarak bulundu. (Çizelge 4.2).

$\text{Au/Piridin/p-Si/Al}$  diyodunda da  $\text{Au/Antrakininon/p-Si/Al}$  diyodunda olduğu gibi ışınlanmayla birlikte idealite faktörünün ve seri direnç değerinin arttığı, engel yüksekliğinin ise kısmen arttığı görüldü. Artan ışınlamaya bağlı olarak ters beslem

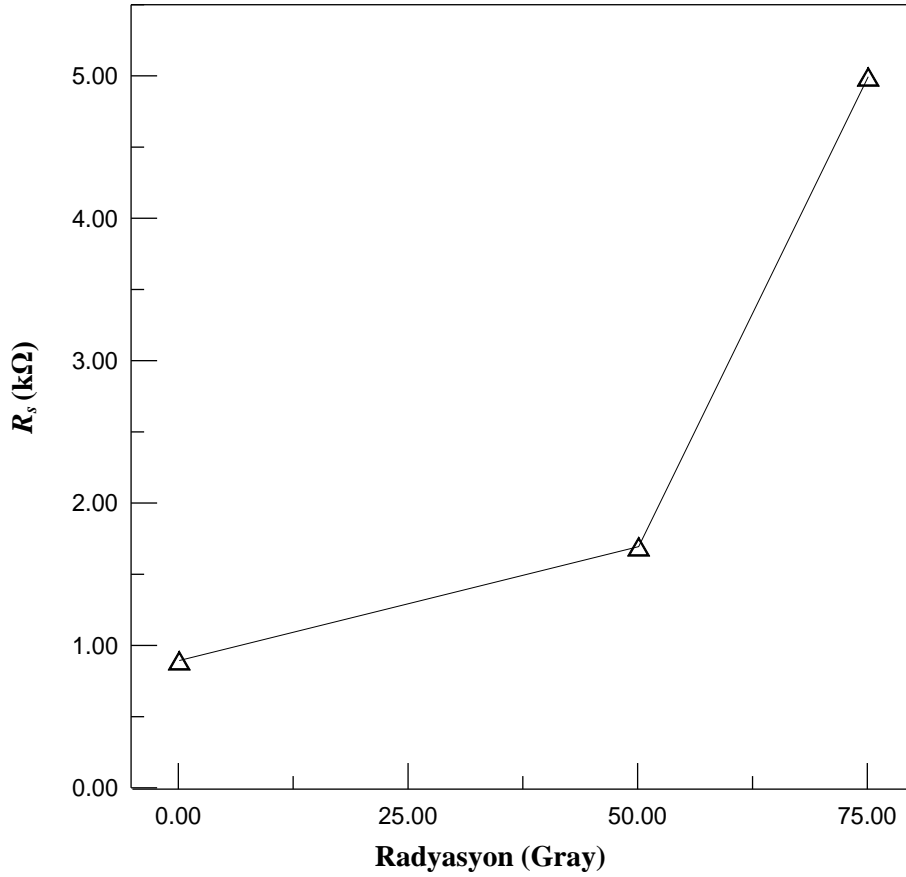
akımı ve düz beslem akımı azalmıştır. İdealite faktörü ve doyma noktasının artan radyasyon dozuyla beraber arttığı görülmüştür.



Şekil 4.5. Işınlanmalar sonucu elde edilen Au/Piridin/p-Si/Al diyodunun  $I$ - $V$  grafikleri

**Çizelge 4.2.** Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun akımın gerilime bağlı değişiminden elde edilen deneysel verilerle bulunan idealite faktörü ( $n$ ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve  $dV/d(\ln I)$ 'nin ( $I$ )'ya karşı değişiminden elde edilen seri direnç değerleri

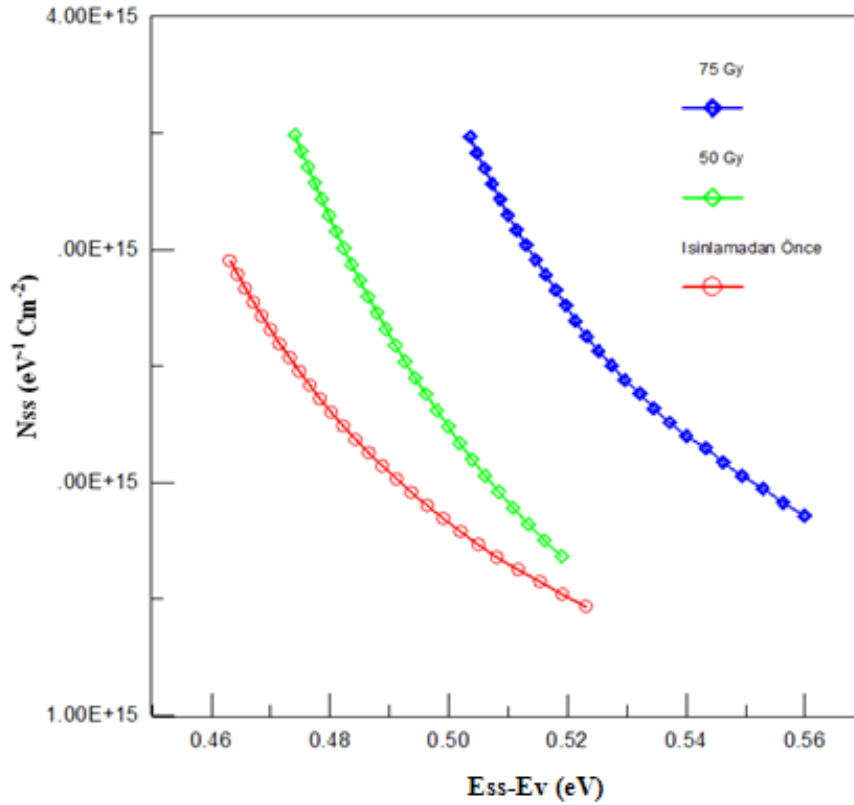
<i>İşlem</i>	<i>I-V</i>		$dV/d(\ln I)$		<i>H(I)-I</i>	
	$n$	$\Phi_b(eV)$	$n$	$R_s(k\Omega)$	$\Phi_b(eV)$	$R_s(k\Omega)$
Referans	1,53	0,72	3,90	0,93	0,64	0,96
50 Gray	1,46	0,70	4,44	1,71	0,61	1,77
75 Gray	1,70	0,73	3,70	5,02	0,68	4,97



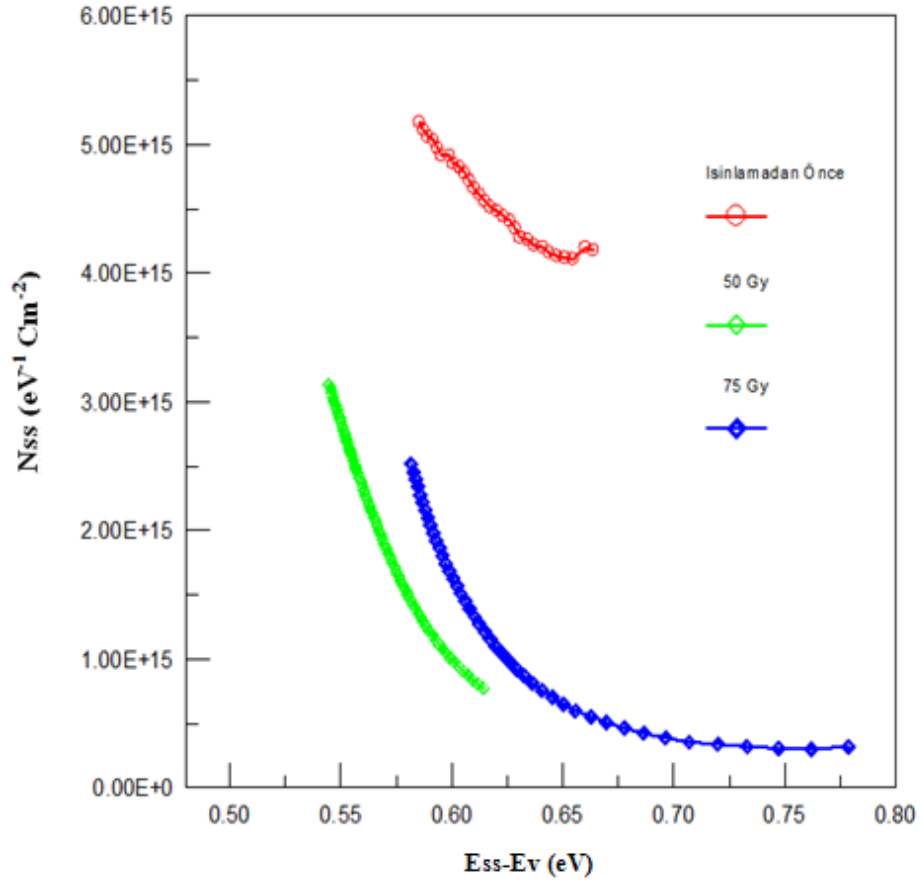
**Şekil 4.6.** Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun radyasyona bağlı seri direnç değişim grafiği

### 4.3. Arayüzey Hâl Yoğunluğu

Düz beslem akım-gerilim karakteristiklerinden hesaplanan engel yüksekliği ve idealite faktörü değeri yarıiletkenle dengede olan arayüzey hâllerinin enerji dağılımıyla kontrol edilir. Bu bölümde metalin olmadığı durumda bile, yarıiletkenin yüzeyinde yasak enerji aralığına karşı gelen ve belirli bir yoğunluğa sahip olan arayüzey hâl yoğunluğuna ( $N_{ss}$ ) radyasyonun etkisini araştırdık. Sonuçta piridin arayüzünün radyasyondan çok fazla etkilenmediği fakat antrakinin arayüzünün artan radyasyon dozuyla beraber değişiklikler gösterdiği görüldü. Bu da radyasyonlu ortamlarda piridin daha kararlı olduğunu gösterdi. Şekil 4.7 Au/Piridin/p-Si/Al diyodunun, Şekil 4.8 ise Au/Antrakinin/p-Si/Al diyodunun  $N_{ss}$ . Ess-eV grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.7. Au/Piridin/p-Si/Al diyodunun  $N_{ss}$ . Ess-eV grafiği



**Şekil 4.8.** Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun Nss. Ess-eV grafiği

Şekil 4.7 görüldüğü gibi Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodunun artan radyasyonla arayüzey hâl yoğunluğunun fazla değişmediği ancak Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun arayüzey hâl yoğunluğunun artan radyasyonla azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi de radyasyonun, diyodun akım gerilim karakteristiğinin ideallikten saptırması olarak yorumlandı.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

### 5.1. Giriş

Radyasyon ortamlarında kararlı Schottky kontakların kullanılması pratikte en çok arzu edilen durumdur. Farklı sıcaklık koşullarında ve radyasyon ortamlarında kullanılabilir istikrarlı elektronik bileşenlerin üretilmesi elektronik alanında çalışan araştırmacılar için ilgi konusudur.

Bu çalışmada, [100] doğrultusunda büyütülmüş, 400 µm kalınlığında, 1-10 Ωcm öz direncine sahip *p*-Si yarıiletken kristali kullanıldı. Au/Antrakininon/*p*-Si/Al ve Au/Piridin/*p*-Si/Al diyotlarının temel karakteristiklerinden *I-V* (Akım-Gerilim) karakteristikleri ve bu karakteristikler üzerine radyasyonun etkisi araştırıldı.

### 5.2. Radyasyona Bağlı *I-V* Ölçümlerinin Tartışılması

Diyotların *I-V* ölçümleri “KEITHLEY 487 Picoammeter/Voltage Source” cihazı ile (+1) V-(-1) V aralığında alındı. Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 ve 75 gray ışınlanmadan sonra idealite faktörü sırasıyla 1,10, 1,23 ve 1,33 olarak bulundu. Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 ve 75 gray ışınlanmadan sonra idealite faktörü sırasıyla 1,53, 1,46 ve 1,70 olarak bulundu.

Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodunun 75 gray ışınlamayla birlikte ters beslem akımının artmasının sebebi; radyasyon sonucu oluşan örgü kusurları nedeniyle bulk deplasyon bölgesinde taşıyıcıların oluşması olarak yorumlandı.

Ters beslem akımındaki azalmanın sebebi ise; ışınlamayla birlikte oluşan derin seviyelerin rekombinasyon merkezi olarak davranmalarıdır (Güllü *et al.* 2008). Artan dozdaki radyasyonla birlikte her iki diyot için idealite faktörünün artması, diyotların

akım taşıma mekanizmalarının termiyonik emisyon teorisinden sapmasıyla açıklanır. Işınlamayla birlikte arayüzeyde oluşan kusurlar, tuzak ve rekombinasyon merkezleri olarak davranır.

Arayüzeyde oluşan bu homojensizlik idealite faktörünün artmasına neden olur. İdealite faktöründeki bu artış; imaj kuvveti etkisi, rekombinasyon, jenerasyon ve tünelleme gibi nedenlere atfedilir (Krishnan *et al.* 2008). İdelite faktörünün artması akımın termiyonik emisyon teorisine değil de tünelleme, alan emisyon gibi başka mekanizmalarla gerçekleştiğini ifade etmektedir (Baranwal *et al.* 2009). Farklı dozlarda radyasyondan önce ve sonra Schottky diyotların sadece ters beslem akımlarının değiştiği görülebilir (Gombia *et al.* 2003).

Au/Antrakinon/*p*-Si/Al diyodu için engel yüksekliği ışınlanmadan önce 0,75 eV, 50 gray ışınlanmadan sonra 0,79 eV, 75 gray ışınlanmadan sonra 0,87 eV olarak bulundu. Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodu için engel yüksekliği ışınlanmadan önce, 50 gray ve 75 gray ışınlanmadan sonra sırasıyla; 0,72 eV, 0,70 eV ve 0,73 eV olarak bulundu. Engel yüksekliğinin her iki diyot için artma eğiliminde olduğu gözlemlendi. İdealite faktörü ve seri direnç değerleri artan ışınlama değeri ile artmıştır (Aydoğan *et al.* 2011).

Veeramani *et al.* (2008) Au/CdTe ve Au/CdZnTe Schottky diyotlar üzerine yoğun iyon ışınlamasının etkisini incelemişlerdir. Işınlamayla diyotların idealite faktörünün arttığını ve engel yüksekliğinin azaldığını açıklamışlardır.

İdealite faktöründeki değişim akımın termiyonik emisyon teorisine değil de diğer akım taşıma mekanizmalarıyla gerçekleştiğini göstermektedir (Pattabi *et al.* 2007; Gür *et al.* 2008).

Artan ışınlamayla ters beslem sızıntı akımı artmaktadır ve ışınlanmadan sonra *I-V* karakteristiğindeki bu değişim tünelleme, taşıyıcıların telafisi ve oluşum-rekombinasyon



süreçleriyle açıklanabilir. Metal yarıiletken arayüzeydeki tuzak yoğunluğu arayüzeydeki kusur ve boşlukların artmasıyla artmaktadır (Akkurt *et al.* 2010).

Artan tuzak yoğunluğu ters yönde tuzakların oluşturduğu akım iletimine katkıda bulunabilir. Bundan dolayı ters beslem sızıntı akımının arttığı düşünülmektedir (Jayavel *et al.* 2002; Ko *et al.* 2009). Schottky engel yüksekliğindeki azalma saturasyon akımındaki bir artışa neden olmaktadır (Sze *et al.* 1981; Eftekhari *et al.* 1993).

Düşük dozlu ışınlamalarda ters beslem sızıntı akımı artar ve engel yüksekliğinde bir azalma görülür (Kazukauskas *et al.* 2007). Daha yüksek dozlu ışınlamalarda ise doğrultucu davranış omik gibi davranabilir ve bu da akım akış mekanizmasının tünellemeyle gerçekleştiğini gösterir (Sumathi *et al.* 2001).

$dV/d\ln(I)$ 'nın  $I$ 'ya karşı çizilen grafiğinden elde edilen seri direnç değerleri; Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 gray ve 75 gray ışınlanmadan sonra sırasıyla 1,1 k $\Omega$ , 20,1 k $\Omega$ , ve 41,3 k $\Omega$  olarak, Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 gray ve 75 gray ışınlanmadan sonra sırasıyla 0,93 k $\Omega$ , 1,71 k $\Omega$  ve 5,02 k $\Omega$  olarak bulundu.  $H(I)$ 'nın  $I$ 'ya karşı değişiminden elde edilen seri direnç değerleri; Au/Antrakininon/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 gray ve 75 gray ışınlanmadan sonra sırasıyla 1,3 k $\Omega$ , 20,8 k $\Omega$  ve 42,5 k $\Omega$  olarak, Au/Piridin/*p*-Si/Al diyodu için ışınlanmadan önce, 50 gray ve 75 gray ışınlanmadan sonra sırasıyla; 0,96 k $\Omega$ , 1,77 k $\Omega$  ve 4,97 k $\Omega$  olarak bulundu.  $dV/d\ln(I)-I$  ve  $H(I)-I$  grafiklerinden elde edilen değerlerin birbirleriyle uyum içinde olduğu gözlemlendi (Karataş ve Türüt 2006). Artan ışınlamanın etkisiyle seri direnç değerinde artış olduğu gözlemlendi. Bu durum ışınlamanın taşıyıcı konsantrasyonunu azaltması ve seri dirençte artışa neden olması şeklinde yorumlandı.

Seri dirençteki artışta mobilite ve serbest taşıyıcı konsantrasyonunun azalması ya da yarıiletkenin katkı telafisi nedeniyle olduğu yorumlandı. İlk durum ışınlamayla oluşan kusur merkezleriyle açıklanmaktadır. Eğer yerdeğiştirme zararı sonucu malzemede

derin tuzaklar oluşursa serbest taşıyıcı konsantrasyonu azalmaktadır. Kristal örgüdeki serbest taşıyıcılar taşıyıcı yoğunluğunun azalmasıyla sonuçlanan bu kusur merkezleri tarafından yakalanmaktadır. Işınlamayla oluşan bu kusur merkezlerinin yoğunluğu taşıyıcı hareketini artırmaya yol ağan artan akımla artmaktadır (Güllü *et al.* 2008; ınar *et al.* 2010; Aydoğan *et al.* 2011).

**KAYNAKLAR**

- Akkılıç, K., Kılıçoğlu, T., Türüt, A., 2003. Linear Correlation Between Barrier Heights and Ideality Factors of Sn/n-Si Schottky Diodes With and Without the Interfacial Native Oxide Layer. *Physica. B*, 337, 388-393.
- Akkurt, I., Akyildirim, H., Özdemir, A. F., Aldemir, D. A., 2010. Neutron irradiation effects on I-V characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes. *Radiation Measurements* 45, 1381-1383.
- Aydoğan, S., Sağlam, M., Turut, A., 2005a. The effects of the temperature on the some parameters obtained from current-voltage and capacitance-voltage characteristics of polypyrrole/n-Si structure. *Polymer* 46 (2005) 563-568.
- Aydoğan, S., Sağlam, M., Turut, A., 2005b. On The Barrier Inhomogeneities Of Polyaniline/p-Si/Al Structure At Low Temperature. *App. Surf. Sci.*, 250 (1-4), 43-49.
- Aydoğan, S., Sağlam, M., Turut, A., 2006. The Temperature Dependence of Current-Voltage Characteristics of the Au/Polypyrrole/p-Si/Al Heterojunctions. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 18 (9), 2665.
- Aydoğan, S., 2003. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Deniz, AR., Turut, A., 2010. Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Orcein. *Microelectronic Engineering*, 87 (2010) 2525-2530.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Türüt, A., 2011. The effects of 12 MeV electron irradiation on the electrical characteristics of the Au/Aniline blue/p-Si/Al device. *Microelectronics Reliability* 51, 2216-2222.
- Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Turut, A., Onganer, Y., 2009. Series resistance determination of Au/Polypyrrole/p-Si/Al structure by current -voltage measurements at low temperatures, *Materials Science and Engineering C* 29 1486- 1490.
- Aydoğan, Ş., Türüt, A., 2011. Influence of 12 MeV electron irradiation on the electrical and photovoltaic properities of Schottky type solar cell based on Carmine. *Radiation Physics and Chemistry* 80, 869-875.
- Bose, S., Gupta, M., Gupta, R. S., 2001. I-V characteristics of optically biased short channel GaAs MESFET. *Microelectronics Journal*. 32, 241-247.
- Brudnyi, V. N., Grinyaev, S. N., Kolin, N. G., 2004. A model for Fermi-level pinning in semiconductors: radiation defects, interface boundaries. *Physica B*. 348, 213-225.
- Cheung, S. K., ve Cheung, N. W., 1986. Extraction of Schottky Diode Parameters From I-V Characteristics. *Appl. Phys. Lett*, 49, 85-87.
- Coşkun, C., 2006. The effect of high-energy electron irradiation on ZnO-based ohmic and Schottky contacts. *Semiconductor Science and Technology* 21, 1656-1660
- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Aydoğan, Ş., Yesildag, A., Ekinci, D. 2013b. The Barrier height enhancement of the Au/n-Si/Al Schottky barrier diode by electrochemically formed an organic Anthracene layer on n-Si, *Superlattices and Microstructures*, 56 (2013) 45-54

- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Şahin Y., Metin, Ö., Meral, K. And Aydoğan, Ş., 2013a. The electrical characteristics of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Si junctions, *Journal of Alloys and Compounds*, 552 (2013) 437–442.
- Çınar, K., 2008. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Erzurum.
- Çınar, K., Coşkun, C., Gür, E., Aydoğan, Ş., 2009. Radiation effects on ohmic and Schottky contacts based on 4H and 6H-SiC. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 267, 87-90
- Delamar, M., Hitmi, R., Pinson, J., Saveant, J.M., 1992. Covalent Modification of Carbon Surfaces By Grafting of Functionalized Aryl Radicals Produced From Electrochemical Reduction of Diazonium Salts, *J. Am. Chem. Soc.*, 114, 5883-5884.
- Donoval, D., Barus, M. and Zdimal, M., 1991. Analysis of I-V measurements on PtSi-Si Schottky structures in a wide temperature range, *Solid-St. Electr.* 34, 12, 1365-1373.
- Dökme, İ., Durmuş, P., Altındal, Ş., 2008. Effects of  $\gamma$  -ray irradiation on the C–V and G/ $\omega$ –V characteristics of Al/SiO<sub>2</sub>/p-Si (MIS) structures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 266, 791-796
- Duman S, K. Ejderha, Ö. Yiğit, A. Türüt, 2012. Determination of contact parameters of Ni/n-GaP Schottky contacts *Microelectronics Reliability*, 52, 6, 1005-1011 and Nara, S., 1983. Electrical Properties of Polyacetylene/Polysiloxane Interface, *J. Appl. Phys.* 54, 3255.
- Dunker, M. F. W.Starkey, E. B., Jenkins, G. L., 1936. The Preparation of Some Organic Mercurials from Diazonium Borofluorides, *J. Am. Chem. Soc.*, 58, 2308–2309.
- Güllü, Ö., Aydoğan, Ş., Şerifoğlu, K., Türüt, A., 2008. Electron irradiation effects on the organic-on-inorganic silicon Schottky structure. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 593, 544-549.
- Güllü, Ö., Demir F., Cimilli, F. E., Biber, M., 2008.  $\gamma$ -Irradiation-induced changes at the electrical characteristics of Sn/p–Si Schottky contacts. *Vacuum*, 82, 789-793.
- Ha, J. H., Kang, S. M., Park, S.H., Kim, H. S., Cho, Y. H., Lee, J. H., Lee, N. H., Kim, J. B., Kim, Y. K., 2007. Annealing effect of the 6H-SiC semiconductor detector for alpha particles. *Radiation Measurements*, 43, 1140-1143.
- Heine, V., 1965. Theory of surface states. *Phys. Rev.*, 138A: 1689.
- Jayavel, P., Kumar, J., Santhakumar, K., Magudapathy, P., Nair, K. G. M., 2000. Investigations on the effect of alpha particle irradiation-induced defects near Pd/n-GaAs interface. *Vacuum* 57, 51-59.
- Jayavel, P., Santhakumar, K., Kumar, J., 2002. Studies on proton irradiation induced defects on Ni/n-GaAs Schottky barrier diodes. *Physica B*, 315, 88-95.
- Karadeniz, S., 2007. <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray irradiation effects on dielectric characteristics of tin oxide films of different thicknesses on n-type Si(111) substrates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 260, 571-578.
- Karataş, Ş., Türüt, A., 2006. Electrical properties of Sn/p-Si (MS) Schottky barrier diodes to be exposed to <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray source. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 566, 584-589.
- Karataş, Ş., Türüt, A., Altındal, Ş., 2005. Effects of <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray irradiation on the

- electrical characteristics of Au/n-GaAs (MS) structures. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 555, 260-265.
- Karataş, Ş., Türüt, A., Altındal, Ş., 2009. Irradiation effects on the C–V and G/ω–V characteristics of Sn/p-Si (MS) structures. Radiation Physics and Chemistry 78, 130–134.
- Krishnan, S., Sanjeev, G., Pattabi, M., 2008. Electron irradiation effects on the Schottky diode characteristics of p-Si. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 266, 621-624.
- Neamen, D. A., 1992. Semiconductors Physics and Devices, R. R. Donnelley & Sons Company, Sydney. Prochazkova, O., Grym, J., Zavadil, J., Zdansky, K., 2005. Preparation of p-type InP layers for detection of radiation. Journal of Crystal Growth, 275, 959-963. Rhoderick, E. H., 1982. Metal-Semiconductor contacts. Proc. Inst. Electr. Eng., 129, 1 Rhoderick, E. H., and Williams, R. H., 1988. Metal-Semiconductor contacts. 2nd ed. Clarendon, Oxford.
- Pattabi, M., Krishnan, S., Ganesh, Mathew, X., 2007. Effect of temperature and electron irradiation on the I-V characteristics of Au/CdTe Schottky diodes. Solar energy 81, 111-116.
- Roccaforte, F., Libertino, S., Giannazzo, F., Bongiorno, C., La Via, F., Raineri, V., 2005. Ion irradiation of inhomogeneous Schottky barriers on silicon carbide. Journal of Applied Physics, 97, 123502-123509.
- Sağlam, M., Ayyıldız, E., Gümüş, A., Efeoğlu, H., Tüzemen, S., 1996. Series Resistance Calculation for The Metal-Insulator-Semiconductor Schottky Barrier Diodes. Appl. Phys. A, 62, 269-273.
- Schottky, W., 1938. The development of silicon crystal rectifiers for microwave radar receivers, Z. Phys., 113, 367-414.
- Selçuk, A. B., Ocak, S. B., 2007.  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  -ray irradiation effects on the capacitance and conductance characteristics of tin oxide films on Si. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 577, 719-723.
- Sharma, B. L. ve Gupta, S. C., 1980. Metal-semiconductor Schottky barrier junctions-1: Fabrication. Solid State Technol., 23 (5), 97.
- Sharma, B. L. ve Gupta, S. C., 1980. Metal-semiconductor Schottky barrier junctions-2: Fabrication. Solid State Technol., 23 (6), 90.
- Sumathi, R. R., :Udhayasankar, M., Kumar, J., Magudapathy, P., Nair, K. G. M., 2001. Effect of proton irradiation on the characteristics of GaAs Schottky barrier diodes. Physica B, 308-310,1209-1212.
- Sze, M., 1969. Physics of Semiconductor Devices. John Wiley and Sons, New York.
- Tataroğlu, A., Altındal, Ş., 2007. The effects of frequency and  $\gamma$ -irradiation on the dielectric properties of MIS type Schottky diodes. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 254, 113-117.
- Tascioğlu, İ. 2012 Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara
- Tascioğlu, İ., Tataroğlu, A., Altındal, Ş., 2010. The role of Co-60  $\gamma$  -ray irradiation on the interface states and series resistance in MIS structures. Radiation Physics and Chemistry 79 (2010) 457–461
- Tataroğlu, A., Altındal, Ş., 2006. Electrical characteristics of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray irradiated MIS Schottky diodes. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 252,257-262.

- Tataroğlu, A., Altındal, Ő., 2006. Analysis of interface states and series resistance at MIS structure irradiated under Co-60  $\gamma$ -rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 580 (2007) 1588–1593
- Türüt, A., Sağlam, M., 1992. Determination of The Density of Si-Metal Interface States and Excess Capacitance Caused by Them. *Physica B*, 179 (4), 285-294.
- Uğurel, E., Aydoğan, Ő., Şerifoğlu, K., Türüt, A., 2008. Effect of 6 MeV electron irradiation on electrical characteristics of the Au/n-Si/Al Schottky diode. *Microelectronic Engineering*, 85, 2299–2303.
- Vaitkus, J., Kazukauskas, V., Didziulis, R., Storasta, J., Bates, R., Da Via, C., O’Shca, V., Raine, C., Smith, K. M., 1998. Defects and radiation damage in semi-insulating GaAs radiation detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 410, 61-67.
- Ziel, A., 1968. *Solid State Physical Electronics*, Prentice-Hall International Inc., Minnesota, 108-144.

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Erzurum’da doğdu. İlköğrenimini ve ortaöğrenimini Erzurum’da yaptı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünü bitirdi. 2011 yılının Ocak ayında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği dalında yüksek lisansa başladı. Halen Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi AD’da Radyoterapi Fizikçisi olarak görev yapmaktadır.

### Makale ve Bildiriler

- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Şahin Y., Metin, Ö., Meral, K. And Aydoğan, Ş., 2013. The electrical characteristics of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Si junctions, Journal of Alloys and Compounds, 552 (2013) 437–442.
- Au/Antrakininon/*p*-Si/Al Schottky Diyodun X Işını Radyasyonuna Bağlı Akım-Voltaj(I-V) Karakteristiğinin İncelenmesi’ Poster Sunumu 29. Uluslararası Fizik Kongresi, 2012-Bodrum
- “Au/Piridin/*p*-Si/Al ve Au/Antrakininon/*p*-Si/Al Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontakların X-Işını Radyasyonuna Bağlı Karakterizasyonu“ Poster Sunumu 29. Uluslararası Fizik Kongresi, 2012-Bodrum
- “Göz Kapağı ve Göz Komşuluğu Tümörlerinin Radyoterapisinde Kornea ve Lensin Korunması” Poster Sunumu, Ulusal Radyasyon Onkolojisi Kongresi 20 12-Antalya
- "Kardiyak Multi Dedektör Bilgisayarlı Tomografide Kritik Organların ve Görüntülenen Alanların Termoluminesans Dozimetri ile Radyasyon Dozunun Belirlenmesi " Sözlü Sunum, XIII. Ulusal Medikal Fizik Kongresi 2011-İzmir
- “Parafin ve PMMA Malzemelerinin Farklı Enerji Dağılımlarındaki Lineer X-Işını Azaltma Katsayılarının Belirlenmesi” Poster Sunumu, 23.Ulusal Biyofizik Kongresi 2011
- “Kardiyak Multi Dedektör Bilgisayarlı Tomografide Kritik Organların ve Görüntülenen Alanların Termoluminesans Dozimetri ile Radyasyon Dozunun Belirlenmesi " Poster Sunumu, 23.Ulusal Biyofizik Kongresi 2011
- 'Au/ Anthraquinone /*n*-Si/Al Schottky Diyodun Sıcaklığa Bağlı Akım-Voltaj(I-V) Karakteristiğinin İncelenmesi’ Poster Sunumu, 28. Uluslararası Fizik Kongresi 2011-Bodrum