



**ELEKTRON DEMET İLE İŞINLANMIŞ ALQ3
ARAYÜZEY TABAKALI METAL/YARIİLETKEN
DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE İŞINLAMANIN
AYGIT PERFORMANSINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

MURAT DURMUŞ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRON DEMET İLE İŞINLANMIŞ ALQ3 ARAYÜZEY TABAKALI
METAL/YARIİLETKEN DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE İŞINLAMANIN
AYGIT PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

MURAT DURMUŞ
0000-0003-3043-2931

Dr. Öğr. Üyesi Umut AYDEMİR
(Danışman)
0000-0001-5396-4610

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2019

TEZ ONAYI

Murat Durmuş tarafından hazırlanan “Elektron Demet ile Işınlanmış Alq3 Arayüzey Tabakalı Metal/Yarıiletken Diyotların Hazırlanması ve Işınlamanın Aygıt Performansına Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oyçokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Umut Aydemir

Başkan: Prof. Dr. Güneş Yılmaz
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Umut Aydemir
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Zor
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

14.02/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08 /10 /2019
Murat Durmuş

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRON DEMET İLE IŞINLANMIŞ ALQ3 ARAYÜZEY TABAKALI METAL/YARIİLETKEN DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE IŞINLAMAMANIN AYGIT PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Murat Durmuş

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Umut Aydemir

Bu tez çalışmasında, 30 kGy ve 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 organik arayüzey tabakalı ve ışınlanmamış Alq3 organik arayüzey tabakalı yarıiletken Schottky diyotların üretimi gerçekleştirilerek, üretimi gerçekleştirilen diyotların elektriksel özellikleri ve ışınlamanın aygıt performansına etkileri incelenmiştir.

Organik arayüzey tabakalı Schottky diyotlar düşük maliyetleri ve hızlı frekans cevapları nedeniyle yoğun olarak araştırılmakta ve kullanılmaktadır. Özellikle yüksek anahtarlama hızları bu diyotların önemli bir avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çalışmalarda organik arayüzey tabakalı Schottky diyotlara olan ilgi son zamanlarda giderek artmıştır. Bu tez kapsamında organik arayüzey tabakalı Si diyotlar Alq3 organik arayüzey tabakası ile modifiye edilerek aygıt performansı analiz edilmiştir. Ayrıca kullanılan arayüzey tabakası Elektron-Demet hızlandırıcı ile ışınlanarak aygıt özelliklerine etkisi incelenmiştir. E-demet ile ışınlanmış organik arayüzey tabakalı ve ışınlanmamış organik arayüzey tabakalı Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin deneysel yöntemlerle karşılaştırılması suretiyle aygıt performansının iyileştirilmesi ve performansı daha yüksek elektronik aygıtların üretimine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Düşük (30 kGy) ve yüksek (100 kGy) dozlarda E-demet ile ışınlanmış ve ışınlanmamış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD'ların akım-gerilim (I-V) karakteristikleri oda sıcaklığında ± 3 Volt aralığında gerçekleştirilmiştir. Diyotların parametreleri (Schottky engel yüksekliği ve seri direnci vb.) farklı metodlar kullanılarak hesaplanmıştır. Yüksek (100 kGy) dozda ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD aygıt performansının diğer Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD'larına göre daha iyi olduğu deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. AuAlq3/n-Si SD'unun I-V, C-V ve G/ ω -V karakteristiklerinin ışınlama ile belirgin bir şekilde etkilendiği ve uygun ışınlama dozu ile aygıt performansının artırılacağı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alq3 Ara Yüzey Tabakası, Au/Alq3/n-Si Schottky Diyot, FTIR, X-Işınları Kırınımı, Organik Elektronik, Elektron Demet Işınlama.

2019, xi + 77 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PREPERATION OF METAL/SEMICONDUCTOR DIODES WITH ELECTRON BEAM IRRADIATED ALQ3 INTERFACIAL LAYER AND INVESTIGATION OF IRRADIATION EFFECT ON DEVICE PERFORMANCE

Murat Durmuş

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Umut AYDEMİR

In this thesis, the Schottky diodes irradiated with 30 kGy, 100 kGy and non-irradiated Alq3 organic interfacial layer are fabricated. The electrical properties of produced diodes and the effect of irradiation on device performance are investigated.

Schottky diodes with organic interfacial layer are extensively researched and used due to their low cost and fast frequency response. Particularly high switching speeds are an important advantage of these diodes. Therefore, the interest in Schottky diodes with organic interface layer has increased gradually. In this thesis, Silicon diodes with organic interfacial layer were modified by using Alq3 interfacial layer and device performance was analyzed. In addition, the interfacial layer sandwiched between metal/semiconductor interface was irradiated with Electron-Beam Accelerator and its effect on device properties was investigated. The aim of the study is to compare electrical parameters of Shottky diodes by using non-irradiated and irradiated organic interfacial layers and to improve the device performance. Thus, it's aimed to obtain production of electronic devices with higher performance.

In this study, current-voltage (I-V) characteristics of unirradiated and irradiated Au / Alq3 / n-Si Schottky diodes with Alq3 interfacial layers irradiated with E-Beam doses of 30 kGy (low) and 100 kGy (high) were carried out between ± 3 Volts at room temperature. The parameters of the diodes (Schottky barrier height and series resistance etc.) were calculated by using different methods. It was determined by experimental methods that the performance of Au / Alq3 / n-Si Schottky diode device with 100 kGy of irradiated Alq3 interfacial layer was better than the performance of other Au / Alq3 / n-Si Schottky diode devices. It has been observed that the I-V, C-V and G/ω -V characteristics of Au / Alq3 / n-Si Schottky diode is highly influenced by irradiation and the device performance can be improved with the appropriate irradiation dose.

Keywords: Alq3 Interfacial Layer, Au/Alq3/n-Si Schottky Diode, FTIR, X-Ray Diffraction, Organic Electronics, Electron-Beam Irradiation.

2019, xi + 77 pages.

TEŐEKKÖR

Öncelikle bilgileri ve tecrübeleri ile bu tez çalışmasında bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen, deneyimlerini benimle paylaşan ve beni yönlendiren, değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Umut AYDEMİR'e, uzmanlık alanındaki bilgileri ve tecrübeleriyle laboratuvar çalışmalarında yardımda bulunan Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim AKYILDIZ'a, E-demet ışınlama işlemlerinin yapılmasına imkan sağladıkları için Durmazlar Holding'e, verdikleri motivasyon ve destekleri için çalışma arkadaşlarım Barış METİN, Muhammed ASLAN ve Semih SEZER'e, hayatımın her anında yanımda olan bana desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme ve çalışmalarım boyunca fedakarca yanımda olan eşim Saliha DURMUŞ ile oğlum Metehan DURMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Murat DURMUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Yarıiletkenler.....	4
2.1.1. Saf Yarıiletkenler.....	7
2.1.2. Katkılı Yarıiletkenler.....	7
2.1.3. Organik Yarıiletkenler.....	10
2.1.4 İnorganik Yarıiletkenler.....	10
2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar.....	10
2.2.1. Omik Kontak.....	12
2.2.2. Doğrultucu (Schottky) Kontak.....	13
2.3. Metal-Organik-İnorganik Yarıiletken Schottky Diyotların Yapısı.....	15
2.4. Silisyum Yarıiletkeninin Özellikleri.....	16
2.5. Alq3 Arayüzey Malzemesinin Özellikleri.....	19
2.6. Termoyonik Emisyon ile Akım İletim Mekanizması.....	21
2.7. Işınlamanın Diyot Parametreleri Üzerine Etkisi.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Au/Alq3/n-Si Diyotların Hazırlanma Aşamaları.....	27
3.1.1. N-tipi Silisyum alttaşı yüzeylerinin temizlenmesi.....	28
3.1.2. Omik Kontakın Oluşturulması.....	28
3.1.3. Alq3 Organik İnce Filmlerinin Hazırlanması.....	28
3.1.4. Au/Alq3/nSi Schottky Diyot Numunelerinin Üretilmesi.....	29
3.2. Kullanılan Deneysel Yöntemler.....	30
3.2.1. Ultrasonik Temizleme.....	30
3.2.2. Termal buharlaştırma.....	31
3.3. Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	34
3.3.1. X-Işını Difraktometresi (XRD).....	34
3.3.2. FTIR Spektrometresi.....	36
3.4. Elektron Demet Hızlandırıcı.....	37
3.5. Diyot Parametrelerinin Hesaplanması.....	39
3.5.1. I-V Karakteristikleri Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi.....	39
3.5.2. Cheung Fonksiyonu Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi.....	40
3.5.3. Norde Fonksiyonu Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi.....	42
3.5.4. Nss Ara Yüzey Durum Yoğunluklarının Hesap Edilmesi.....	42
3.6. C-V Karakteristikleri Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi.....	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
4.1. Alq3 arayüzey tabakasının yapısal özelliklerinin incelenmesi.....	46
4.1.1. Alq3 tozlarının XRD analizi.....	46
4.1.2. Alq3 ince filmlerinin FTIR analizi.....	47

4.2.1. Klasik yöntemle belirlenen Diyot Parametreleri.....	49
4.2.2. Norde Fonksiyonu ile Belirlenen Diyot Parametreleri.....	53
4.2.3. Cheung Fonksiyonları ile Belirlenen Diyot Parametreleri.....	54
4.2.4. Diyot Numunelerinin Hesaplanan N_{SS} Ara Yüzey Durum Yoğunlukları.....	56
4.3. C-V Ölçümleri ile Belirlenen Diyot Parametreleri	57
5. SONUÇ	63
KAYNAKLAR	68
EKLER.....	75
EK A	75
EK B.....	76
ÖZGEÇMİŞ	77



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Diyodun kontak alanı
A^*	Richardson sabiti
Alq3	Tris-(8-hydroxyquinoline) alüminyum
C	Santigrad
E_a	Akseptör (Alıcı) enerji seviyesi
E_c	İletkenlik bandı minimum enerji seviyesi (eV)
E_d	Donör (Verici) Enerji Seviyesi
E_F	Fermi enerjisi (eV)
E_{fm}	Metalin fermi seviyesi
E_{fs}	Yarıiletkenin fermi seviyesi
E_g	Yasak enerji aralığı (eV)
E_s	Yarıiletkenin dolu bandının vakum seviyesi altındaki derinliği
E_v	Valans bandı maksimum enerji seviyesi (eV)
eV	Elektron Volt
h_+	Boşluk
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu (eV)
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu (eV)
Φ_b	Engel yüksekliği (eV)
I	Diyot akımı (A)
I_0	Ters doyma akımı (A)
J	Akım yoğunluğu (A/cm^2)
k	Boltzman sabiti
K	Kelvin
m_e	Serbest elektronun kütlesi
m_e^*	Elektronun etkin kütlesi
n	İdealite faktörü
q	Elektron yükü
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Paralel Direnç
T	Mutlak sıcaklık (K)
V	Diyodun gerilimi
V_d	Difüzyon gerilimi
V_0	Deplasyon (tükenme) gerilimi
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
q	Elektron yükü
ω	Açısal Hız (Açısal Frekans)

Kısaltmalar	Açıklama
ATR	Ortalama Gerçek Aralık (Attenuated Total Reflectance)
C-V	Kapasite-Gerilim
DNA	Deoksiribonükleik Asit
DO	Doğrultma Oranı
ETL	Elektron taşıma tabakası (Electron Transfer Layer)
EML	Emisyon tabakası (Emission Layer)
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
G/ω-V	Kondüktans (İletkenlik)-Gerilim
HOMO	En yüksek enerjili dolu moleküler orbital (Highest Occupied Molecular Orbital)
I-V	Akım-Gerilim
LED	Işık yayan diyot
LUMO	En düşük enerjili boş moleküler orbital (Lowest Unoccupied Molecular Orbital)
MESFET	Schottky Engel Tabakalı Alan Etkili Transistör
MOSFET	Metal-Oksit-Yarıiletken Alan Etkili Transistör
MOY	Metal-Oksit-Yarıiletken
MPY	Metal-Polimer-Yarıiletken
MY	Metal-Yarıiletken
MYY	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
OLED	Organik Işık Yayan Diyot
OPVC	Organik Fotovoltaik Hücre
OTFT	Organik İnce Film Transistör
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SD	Schottky diyot
XRD	X-ışını kırınımı (X-ray Diffraction)

İndisler	Açıklama
a	Akseptör (Alıcı)
b	Engel (Bariyer)
c	İletkenlik
d	Donör (Verici)
g	Yasak band
m	Metal
s	Yarıiletken
v	Valans
°	Derece



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Yalıtkan, yarıiletken ve iletken malzemelerin bant yapısı.....	4
Şekil 2.2	Saf ve katkıli yarıiletkenlerde Fermi seviyesi.....	6
Şekil 2.3	N-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.....	8
Şekil 2.4	P-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı	9
Şekil 2.5	Metal-yarıiletken yapısı.....	1
Şekil 2.6	Metal n-tipi yarıiletken omik kontağı a) kontakdan önceki b) kontakdan sonraki enerji bant diyagramları.....	1 2
Şekil 2.7	Metal p-tipi yarıiletken omik kontağı a) kontakdan önceki b) kontakdan sonraki enerji bant diyagramları	1 3
Şekil 2.8	Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı :(a) kontakdan önceki (b) kontakdan sonraki enerji bant diyagramları.....	1 4
Şekil 2.9	Metal p-tipi yarıiletken Schottky kontağı :(a) kontakdan önceki, (b)kontakdan sonraki enerji bant diyagramları.....	1 5
Şekil 2.10	Bir Metal/Organik/Yarıiletken tipi Shottky Bariyer Diyot için yapının şematik diyagramı.....	1 6
Şekil 2.11	Silisyumun Kristal Örgü Yapısı.....	1 7
Şekil 2.12	Alq3 malzemesinin moleküler yapısı.....	2 0
Şekil 3.1	Diyot Numunelerinin Hazırlanma Aşamaları Şematik Gösterimi.....	2 7
Şekil 3.2	Kontak Maskelerinin Şematik Gösterimi.....	2 9
Şekil 3.3	Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si diyot numunelerinin fotoğrafı.....	3 0
Şekil 3.4	Ultrasonik Temizleme Cihazının Görünümü.....	3 1
Şekil 3.5	Buharlaştırma Sistemleri a) metal buharlaştırma b) organik buharlaştırma sistemi.....	3 2
Şekil 3.6	Termal buharlaştırma(rezistans ile) sisteminin şematik gösterilişi.....	3 3
Şekil 3.7	X ışınlarının Kırınımı.....	3 5

Şekil 3.8	XRD	Cihazının	Genel	3
Görünümü.....				6
Şekil 3.9	FTIR	Spektrometresinin		3
Görünümü.....				7
Şekil 3.10 Bir Elektron Demet Hızlandırıcısının Şematik Gösterimi ve Genel Görünümü.....				3
...				9
Şekil 4.1 Alq3 toz numunelerinin fotoğrafı (Sırasıyla Işınlanmamış, 30 kGy dozunda ışınlanmış ve 100 kGy dozunda ışınlanmış).....				4
Şekil 4.2 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 toz numunelerinin X-Işını Kırınımı Grafikleri.....				4
Şekil 4.3 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 ince film numunelerinin FTIR spektrumları.....				4
Şekil 4.4 Keithley 2400 akım-gerilim karakterizasyon cihazı.....				8
Şekil 4.5 Uygulanan doza göre ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin üç boyutlu çizilen ters ve düz beslem akım-gerilim grafikleri.....				4
Şekil 4.6 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin ters ve düz beslemde yarı logaritmik akım-gerilim grafikleri.....				9
.....				0
Şekil 4.7 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin ters ve düz beslemde direnç-gerilim grafikleri.....				5
Şekil 4.8 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin F(V)-V grafikleri.....				2
Şekil 4.9 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Cheung fonksiyonu grafikleri.....				5
Şekil 4.10 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Nss-(Ec-Ess) grafikleri.....				5
Şekil 4.11 HP 4192A LF Empedans Analizörünün Genel Görünümü.....				6
Şekil 4.12 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin C-V (Kapasite-Gerilim) Grafikleri.....				5
Şekil 4.13 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Kondüktans-Gerilim Grafikleri.....				8
				5
				9

Şekil 4.14 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin C^2-V (Kapasite-Gerilim) Grafikleri.....	60
Şekil 4.15 Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin C ve G/w 'den hesaplanan R_i-V (Direnç-Geilim) Grafikleri.....	61
.....	



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	II-VI grubu arasında kalan elementler.....	5
Çizelge 2.2	İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve omik kontakların oluşumu.....	11
Çizelge 2.3	Silisyumun oda sıcaklığındaki bazı özellikleri.....	18
Çizelge 2.4	Alq3 malzemesinin bazı özellikleri.....	20
Çizelge 4.1	I-V Karakteristiklerinden elde edilen diyot parametreleri.....	53
Çizelge 4.2	Norde Fonksiyonu kullanılarak elde edilen diyot parametreleri.....	54
Çizelge 4.3	Cheung Fonksiyonları kullanılarak elde edilen diyot parametreleri.....	56
Çizelge 4.4	C ² -V grafiğinden elde edilen diyot parametreleri.....	60
Çizelge 4.5	Farklı yöntemlerle elde edilen diyot parametreleri.....	62

1.GİRİŞ

Schottky diyotların temelini teşkil eden metal yarıiletken kontak yapılarıyla ilgili gerçek anlamdaki ilk çalışmayı 1930'larda Walter H. Schottky gerçekleştirmiştir. Birleşim yüzeyi üzerinde bulunan kontak gerilimi ile akım dağılımının homojenlik oluşturması bakımından yarıiletken yapının yüzeyine kısıtlı alanlarda metal buharlaştırmak suretiyle gerçekleştirilen kontak yapısı Schottky kontak olarak adlandırılmıştır. Metal yarıiletken kontaklar üzerinde ilk olarak bariyer elde edilmesini gerçekleştiren Walter H. Schottky'e atfen metal yarıiletken kontak yapıları Schottky diyotlar olarak tabir edilmektedir. Metal yarıiletken (MY) Schottky diyot yapılarında metal ile yarıiletken arayüzüne doğada bulunan elementler veya suni olarak elde edilen diğer malzemeler ince film tabakası halinde yerleştirilerek diyot parametrelerinde iyileştirmeler sağlanabilmektedir (Ziel 1968, Sze 1981, Karabat, Arsel 2015).

MY kontak yapılarının elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen arayüzey malzemesinin tipine uygun olarak değişiklik göstermektedir. Metal yarıiletken kontak yapılarının ara yüzey durumları bariyer yüksekliği, idealite faktörü vb. gibi diyotun sahip olduğu parametrelerde değişiklik meydana getireceğinden arayüzey malzemesinin özellikleri önem taşımaktadır (Sze 1981, Rhoderick 1988).

Son zamanlarda MY kontak yapılarının elektriksel karakteristiklerinde değişiklik meydana getirmesi bakımından ara yüzey malzemesi olarak organik malzemelerin kullanılması ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle optoelektronik aygıtlar (güneş pilleri vb.) üzerine yapılan güncel çalışmalarda, organometalik bileşikler ön plana çıkmıştır. Söz konusu uygulamalardan, boya duyarlılaştırılmış güneş pilleri (dyesensitized solar cells DSCs) geleneksel silisyum fotovoltaiik aygıtlara alternatif olmak suretiyle üzerinde odaklaşılan çalışma alanı olmuştur. Birçok güneş pili ile Schottky diyotları, organik ftalosiyanın kompleks malzemeleri kullanılarak üretilmiştir (Sze 1981, Rhoderick 1988, Yakuphanoglu 2010, Yıldırım, Durumlu 2017).

Metal yarıiletken yapılarının elektriksel ve optik özellikleri inorganik yarıiletken ile metal arasına bir organik ince film tabakası yerleştirilerek değiştirilebilir. Schottky diyot yapılarını elektriksel karakteristikleri kullanılarak bulunan engel yüksekliği (Φ_b) ve

idealite faktörü (n) vb. gibi diyot parametrelerinin elde edilmesinde arayüzey durumlarının yoğunluğu önemli bir yer işgal eder. Bu alanda yapılan çalışmalar, inorganik bir yarıiletken üzerine organik ince bir film yerleştirildiğinde bariyer yüksekliğinin, düşürülmesi veya yükseltilmesi suretiyle değiştirilebileceğini göstermektedir (Çetinkaya ve ark. 2013, Yıldırım, Durumlu 2017).

Organik arayüzey tabakası metal ve yarıiletken arasında fiziksel bir engel meydana getirerek metal ile yarıiletken yüzeylerinin direk olarak temas etmelerinin önüne geçerek yarıiletken yapının yüzeyinde bulunan ara yüzey katmanlarının tekrar düzenlenmesinde ve yük geçişlerinin kontrol edilmesinde yardımcı rol oynar. Böylelikle, nanometreler mertebesinde kalınlığa sahip organik ara yüzey tabakasının kullanılmasıyla kalitesi yüksek, düşük sızıntı akımı, idealite faktörü, seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğuna sahip ve şönt direnci yüksek SD aygıt geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Aydemir 2019).

Organik malzemelerin radyasyona maruz bırakıldıklarında verdikleri tepkinin hassasiyeti ve ışınlama işleminin aygıt performansı üzerindeki etkileri bir diğer önemli araştırma konusu olmuştur. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda, genellikle polimer arayüzey tabakalı aygıtlar üretildikten sonra radyasyona maruz bırakılmış ve ışınlanan aygıtın elektriksel özellikleri incelenmiştir (Aydemir 2019).

Bu tez çalışmasında, ışınlanmış organik ara yüzey tabakalı ve ışınlanmamış arayüzey tabakalı yarıiletken schottky diyot yapılarının elektriksel özellikleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle organik arayüzey malzemesi olarak Alq₃ kullanılarak yarıiletken schottky diyot yapıları geliştirilmiştir. Geliştirilen bu diyot yapılarında sırası ile ışınlanmış ve ışınlanmamış arayüzey tabakası kullanılarak elde edilen diyot parametreleri farklı yöntemlerle hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüksek (100 kGy) dozda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyot parametrelerinin, ışınlanmamış ve düşük (30 kGy) dozda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyot parametrelerine göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde yarıiletkenler, yarıiletken çeşitleri, metal-yarıiletken kontaklar, termiyonik emisyon ile akım iletim mekanizması ve ışınlamanın diyot parametreleri üzerine etkileri hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümünde Alq3 organik ara yüzey tabakalı n-Si schottky yarıiletken diyotların geliştirilmesinde kullanılan deneysel teknikler ve kullanılan analiz yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümünde yapılan deneylerden elde edilen sonuçların tartışması yapılmıştır. Beşinci bölümünde ise elde edilen veriler ve lüeratur ile karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

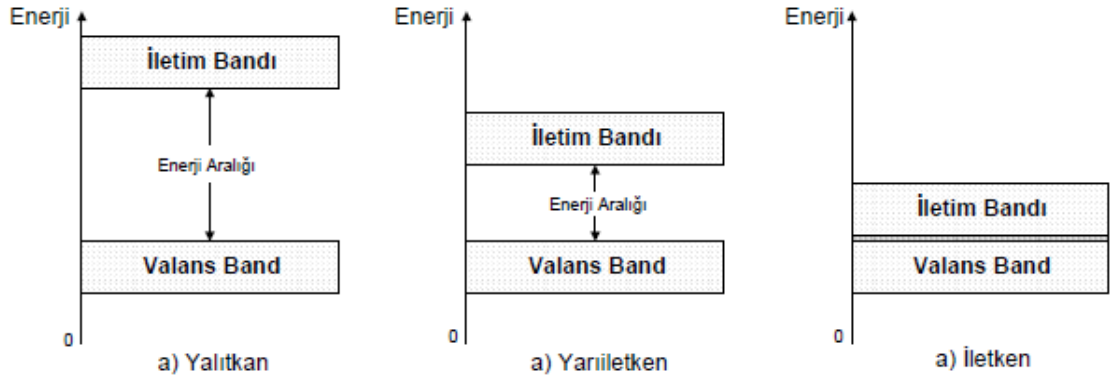


2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yarıiletkenler

Elektriksel iletkenlikleri, elektron hareketleri ya da enerji band yapıları baz alındığında malzemeleri iletkenler, yalıtkanlar ve yarıiletkenler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırmak mümkündür. Bu gruplardan elektriği iletme özellikleri bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alan yarıiletkenler elektronik aygıt üretiminin temel taşı oluşturlar.

İletken malzemelerde enerji bandları kısmen elektronlarla dolu; yarıiletkenler malzemelerde bant aralığı bağıl olarak dar, bağlanma bandı dolu ve iletkenlik bandı boş; yalıtkan malzemelerde ise bağlanma bandı dolu, iletkenlik bandı boş fakat bant aralığı geniştir (Cömert 2015). Yalıtkan, yarıiletken ve iletken malzemelere ait enerji bant yapıları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken malzemelerin bant yapısı (Cömert, 2015)

Elektriksel iletkenliği bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alan yarıiletkenler, son yörüngesindeki elektron sayısı dört olan ve normal halde yalıtkan malzemelerdir. Ancak ısı, ışık veya gerilim uygulandığında iletken duruma geçer. Uygulanan dış etki kalktığında ise eski yalıtkan durumuna geri döner. Tabiatta doğal halde bulunan yarıiletkenler sadece Si ve Ge'dur. Elektronik aygıt üretiminde kullanılan diğer yarıiletkenler periyodik cetvelde II-VI grubu arasında kalan elementlerin bileşimiyle ve yapay büyütme teknikleri ile elde edilebilir (Pişkin 2014).

Periyodik cetvelde II-VI grubu arasında kalan elementler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. II-VI grubu arasında kalan elementler (Pişkin, 2014)

	III	IV	V	VI
	B	C	N	O
II	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In	Sn	Sb	Te
Hg	Tl	Pb	Bi	Po

GaAs, InP ve GaP bileşikleri III-V grubu bileşik yarıiletkenlere, HgTe ve CdTe bileşikleri II-VI grubu bileşik yarıiletkenlere ve InGaAs ile AlGaN üçlü alaşım yarıiletkenlere örnek olarak verilebilir (Pişkin 2014).

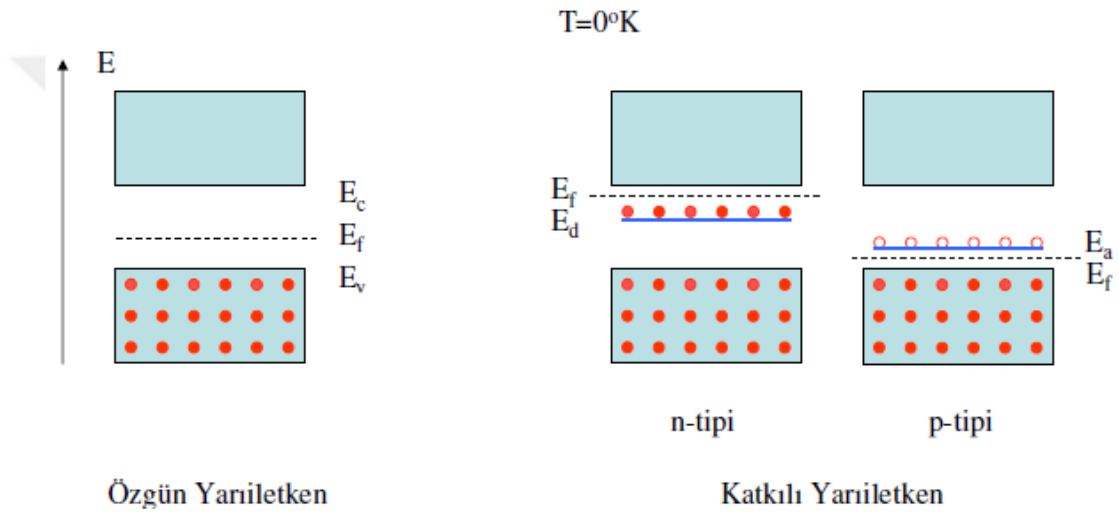
Yarıiletkenler prensip olarak elektriği iletmeyen yalıtkan malzemelerdir. Tüm malzemelerin belirli enerji aralıklarda valans bandı vardır. Yalıtkan maddelerin sahip olduğu tüm elektronlar valans bandı içerisinde ve iletme geçmezler. Ancak elektronlara dışarıdan ısı, ışık, elektromanyetik dalga ya da manyetik alan gibi bir dış etki uygulandığında bu elektronlar belirli bir enerji değerinin üzerine çıkarak iletim bandına geçerler ve böylece iletken olurlar. Bu iletkenlik durumu geçici olup, uygulanan dış etki kalkınca elektronlar ilk halindeki valans bandına geri dönerler. İletim bandına geçen elektronun enerjisi ilk halindeki enerjisine göre daha fazla olacağından bir hareket meydana getirir (Streetmann 1995, Yu ve ark.2004).

Yarıiletkenler malzemelerde, serbest ve yasak bant aralığı olarak adlandırılan enerji bant bölgeleri mevcuttur. Yasak bant aralığı yarıiletken malzemelerin birçok özelliklerini belirlemek için birer göstergedir. Serbest enerji bandı bölgeleri yasak bandın bölgesinin altında ve üstünde bulunmaktadır. Yasak enerji bandının alt kısmında yer alan ve bağlı elektronların meydana getirdiği enerji band bölgesi valans bandı, yasak enerji bandının üstünde kalan serbest elektronların meydana getirdiği enerji bölgesi ise iletkenlik bandı olarak isimlendirilir (Herman, Sitter 1996).

Yarıiletken malzemeler imal edilirken katkı malzemeleri ilave edilerek n-tipi yarıiletken ve p-tipi yarıiletken üretilebilir. Katkı ilave etmenin sebebi, negatif elektrik yükü ile pozitif elektrik yükleri arasındaki çekim kuvvetiyle birlikte elektrik alan meydana getirmek ve meydana gelen elektrik alan etkisiyle elektronların hareketini ve elektrik

iletimini basitleştirmek ve hızlandırmaktır. Yarıiletken malzemeleri ihtiva ettikleri atomlara göre saf (özgün) veya katkılı olarak iki kategoride incelemek mümkündür.

0° K (273° C) sıcaklıkta valans bandının sahip olabileceği en yüksek enerji Fermi Enerji Seviyesi olarak adlandırılır. 0° K sıcaklıkta Fermi enerji seviyesinin üzerinde enerjisi bulunan elektron olmadığından malzemenin iletkenliği yoktur yani malzeme yalıtkandır. Şekil 2.2’de saf (özgün) yarıiletken ile katkılı yarıiletken Fermi enerji seviye durumları verilmiştir. N-tipi yarıiletkende fermi enerji seviyesi iletim bandına daha yakın durumda, p-tipi iletkende ise valans bandına daha yakın durumdadır (Pişkin 2014).



Şekil 2.2. Saf (özgün) ve katkılı yarıiletkenlerde Fermi seviyesi (Sarı, 2008)

Yarıiletken malzeme teknolojisi hızlı işlemcili ve dokunmatik ekran bilgisayarlar, LED ekranlı televizyonlar, gece görüş sistemleri, akıllı cep telefonları, termal kameralar ve askeri projeler gibi çok çeşitli optoelektronik üretim alanında uygulanmaktadır. Si yarıiletken üzerine III-V grubu yarıiletkenlerin büyütülmesi ile diyot, dedektör, güneş pili gibi yapılar üretilmektedir (Tüzemen 2007).

Yukarıda da ifade edildiği üzere katkı durumlarına göre yarıiletkenleri saf (özgün) yarı iletkenler ve katkılı yarı iletkenler olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

2.1.1. Saf Yarıiletkenler

Mutlak sıfır sıcaklığında içinde katkı atomlarının bulunmadığı yarıiletkenlere saf ya da özgül yarıiletkenler denir. Saf (özgül) yarıiletkenler içerisinde hem elektronlar hem de oyuklar bulunur. Bu durumda saf yarıiletkenlerde elektron yoğunluğu oyuk yoğunluğuna eşittir ($n=p$). Elektronların ısı etkisiyle valans bandından iletkenlik bandına geçmesi, iletkenlik bandında bir serbest elektron meydana getirirken, geride kalan valans bandında da serbest oyuk oluşmasına neden olur (Maxfield, Waddel 2003, Sincar 2016).

2.1.2. Katkılı Yarıiletkenler

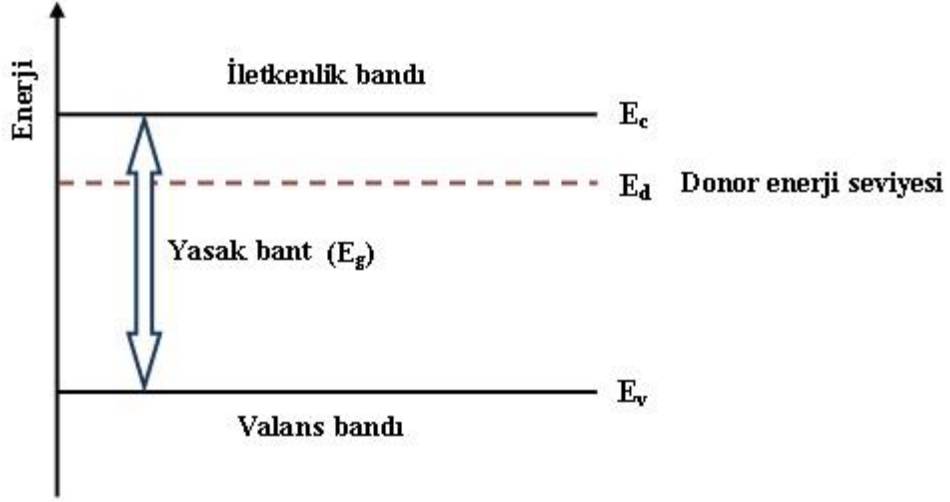
Katkılı yarıiletkenler kristal yapısı içinde safsızlık atomlarının bulunduğu yarıiletkenlerdir. Bazen bu durum istem dışı meydana gelir bazen ise serbest taşıyıcı oluşturmak için özellikle oluşturulur. Serbest taşıyıcıların oluşturulması için yalnızca katkının bulunması yeterli değildir. Bu katkı atomlarının donör (verici) olarak isimlendirilen elektronları iletkenlik bandına aktarmaları da gerekmektedir. Eğer valans bandında oyuk bırakılıyorsa, bu ise akseptör (alıcı) adını alır (Piprek 2003).

Katkılama işlemiyle birlikte iki farklı tipte yarıiletken oluşur. Bunlar n-tipi yarıiletkenler ve p-tipi yarıiletkenlerdir. N-tipi ve p-tipi iletkenlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

N-Tipi Yarıiletkenler

N-tipi yarıiletkenleri oluşturulurken yarıiletkenler donör (verici) atomları ile katkılanır. N-tipi yarıiletken yapısında, yapıya dahil olan ve elektron vermek suretiyle pozitif yüke ulaşan katkılama atomları donör (verici) iyonları olarak adlandırılır. Donör (verici) seviyesi E_d , iletkenlik bandının alt seviyesindedir. Fermi enerjisi ise iletkenlik bant kenarı ile donör seviyesinin arasında yer alır. N-tipi yarı iletken yapısında çoğunlukta olan akım taşıyıcıları elektronlar, azınlık akım taşıyıcıları ise oyuklardır. N-tipi yarıiletken haline dönüşen yapının serbest hale geçmiş elektronları fazla olduğundan bunlara çoğunluk taşıyıcılar denir (Cömert 2015).

N-tipi yarıiletkene ait enerji bant yapısını ifade eden diyagram aşağıdaki Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. n-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı (Cömert, 2015)

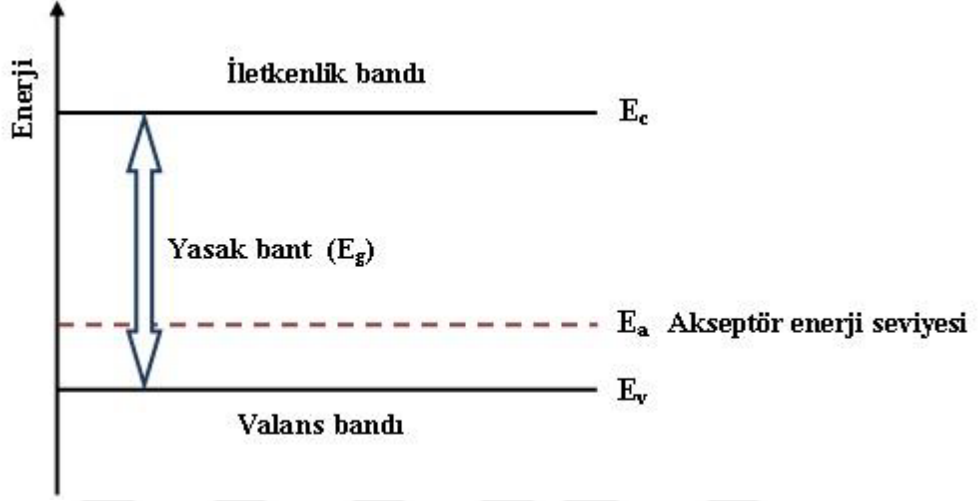
N-tipi yarıiletkenlerin iletkenlik özelliği donör (verici) katkısıyla karakterize edilmektedir. Silisyum ve germanyum elementleri periyodik cetvelin IV-A grubunda yer alan yarıiletken elementlerdir ve valans bandında dört elektronları bulunmaktadır. Periyodik cetvelin V-A grubunda bulunan ve beş valans elektronu olan elementlerden herhangi biri (N, P, As, Sb, Bi gibi) silisyum ya da germanyum yarıiletkenlerine katkı yapıldığında komşu atomlarla kovalent bağ yapılması esnasında bağ yapamayan bir elektron atoma zayıf şekilde bağlanır. Bu atomlar yasak enerji aralığında iletim bandının alt seviyesinde bir enerji seviyesi oluşturular. Oluşan bu enerji düzeyindeki elektronlar çok küçük bir enerji ile uyarıldıkları zaman iletim bandına hareket eder. Bu durumda, iletim bandında serbest elektronlar oluşurken valans bandında da serbest oyuklar oluşmaz. Bu sebeptir ki iletim bandının elektron yoğunluğu valans bandının oyuk yoğunluğundan daha fazladır ($n > p$) (Saxena, Steckl 1998).

P-Tipi Yarıiletkenler

P-tipi yarıiletkende, yarıiletkene katkılanan ve elektron alan katkılama atomları akseptör (alıcı) iyonları olarak isimlendirilir. Valans bandında hareket eden bir boşluğu meydana getirmek için, valans elektronlarını tamamlanmamış bağı uyararak gerekir. Bu sayede akseptör safsızlığı iyonize hale geçer. Bu tipte olan yarıiletkenlerde akseptör seviyesi E_a , valans bandının yukarisındadır. Fermi enerjisi ise iletkenlik bant kenarı ile akseptör seviyesinin arasındadır. P-tipi yarıiletken yapısında n-tipi yarıiletkenin yapısının tersine

çoğunluk akım taşıyıcıları oyuklar, azınlık akım taşıyıcıları ise elektronlardır (Yoğurtçu 2015).

P-tipi yarıiletkene ait enerji bant yapısını ifade eden diyagram aşağıdaki Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. P-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı (Cömert, 2015)

Periyodik cetvelin IV-A grubu elementlerinden silisyum ve germanyum elementlerine periyodik cetvelin III-A grubu elementlerinden biri (B, Al, Ga, In, Tl) katkı olarak konulursa komşu atomlar ile kovalent bağ meydana gelirken Silisyum veya Germanyum elementinin bir elektronu bağ yapmadan kalacaktır. Bu bağ yapmayan elektron atoma bağlı bir oyuk olarak sayılır. Bu oyuklar valans bandının hemen üst kısmında bir enerji düzeyi meydana getirirler. Valans bandında yer alan uyarılmış elektronlar bu enerji düzeyindeki oyuklulara doldurular. Bu halde valans bandında serbest oyuklar oluşurken iletim bandında serbest elektron oluşmaz. Diğer bir deyişle, valans bandında bulunan oyuk yoğunluğu iletim bandında bulunan elektron yoğunluğundan fazla duruma ulaşır. ($p > n$). Böylece p-tipi yarıiletkeninde çoğunluk yük taşıyıcıları oyuklar, azınlık yük taşıyıcıları ise elektronlar olur (DeLeo, Fowler 1991, Güzel 2006).

2.1.3. Organik Yarıiletkenler

Organik yarıiletkenler küçük molekülü veya polimerik malzemelerdir. Bu çeşit malzemeler amorf ya da kristal yapıdadırlar. Elektronik oluşumları farklı enerjili tuzaklanmış elektronik durumların dağılımından oluşur. Elektrik iletimi ise birbirine komşu atomik yerler arasındaki sıçrama ile meydana gelir. Bu cins yarıiletkenler yapılarında karbon ve hidrojen atomları ihtiva ettiğinden organik yarı iletkenler olarak isimlendirilir. Organik yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliği sıcaklıkla birlikte üstel bir artış ortaya çıkarır. Bu yarıiletkenlerin iletkenlik dereceleri küçük olmasına rağmen yalıtkanların iletkenliğinden çok yarıiletkenlerinkine daha yakın ve iletkenlik mekanizmaları yarıiletkenlerinkine benzerlik gösterir (Koca ve ark.2004, Aksu Canbay 2005). Antrasen (anthracene) ($C_6H_4:(CH)_2:C_6H_2$) en çok bilinen organik yarıiletkene örnektir (Smith 1978).

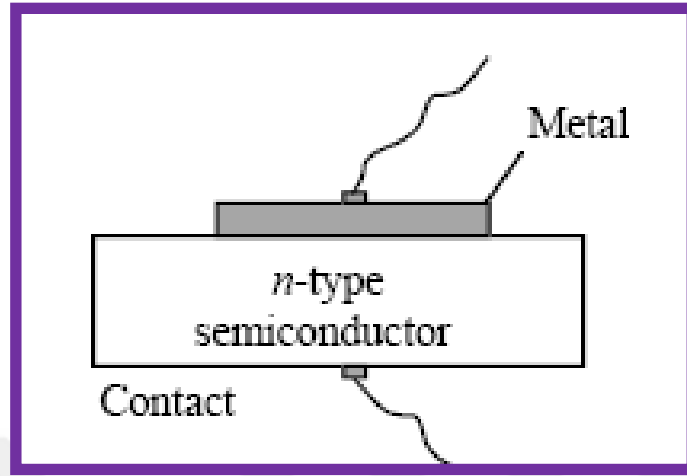
2.1.4 İnorganik Yarıiletkenler

İnorganik yarıiletken malzemelere, yarıiletken aygıt teknolojisinde adlarından çokça söz edilen Si, Ge ve Galyum Arsenik (GaAs) örnek olarak verilebilir. İnorganik yarıiletken türü aynı zamanda katkılı, katkısız ve bileşik yarıiletkenler sınıfındaki bazı yarıiletkenleri de kapsar. Bu çeşit malzemelerin başlıcaları, bileşik yarıiletkenler, alaşım yarıiletkenler, oksit yarıiletkenler ve kompleks yarıiletkenler olarak gruplandırılabilir. Oksit yarıiletkenler olarak da isimlendirilen metal oksit yarıiletkenler, büyük yasak enerji aralığına sahiptir (Smith 1978, Aksu Canbay 2005).

2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar

Elektronik devre elemanlarının tümünde yer almaları nedeniyle metal yarıiletken kontaklar büyük önem arz etmektedir. Elektronlar metal ya da yarıiletkenin içerisinde iyonların Coulomb elektriksel etkileşmesine uğramaktadır. Bundan dolayı kristalin içerisinde elektronlara ait potansiyel enerji serbest elektronların potansiyel enerjisine oranla daha küçüktür. Elektronların kristalin içerisinden dışarı taşımak amacıyla, elektronlara belirli bir düzeyde enerji enjekte edilmelidir. Elektronu katı malzemenin içerisinden dışarı taşımak için gerekli en küçük enerjiye iş fonksiyonu denir. Bir metal ile yarıiletken arasında kontak uygulandığında, metalyarıiletken arayüzeyde bir engel oluşur. Söz konusu engel, kontağın kapasitans özelliği sebebiyle akım iletiminin kontrolünü

sağlar. Kontaklar, arayüzeyin karakteristik yapısı bakımından doğrultucu (Schottky) veya omik kontak olmak üzere ikiye ayrılır (Doğan 2006, Sincar 2016).



Şekil 2.5. Metal-yarıiletken yapısı (Karadeniz, 2012)

Metal-yarıiletken yapısı Şekil 2.5'de verilmiştir. Şekil 2.5'deki yapı bir metal ile yarıiletkenin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Metal ve yarıiletken arasında hiçbir potansiyelin olmadığı omik kontak yapısı, yarıiletkenin diğer yüzünde sağlanmıştır (Sincar 2016).

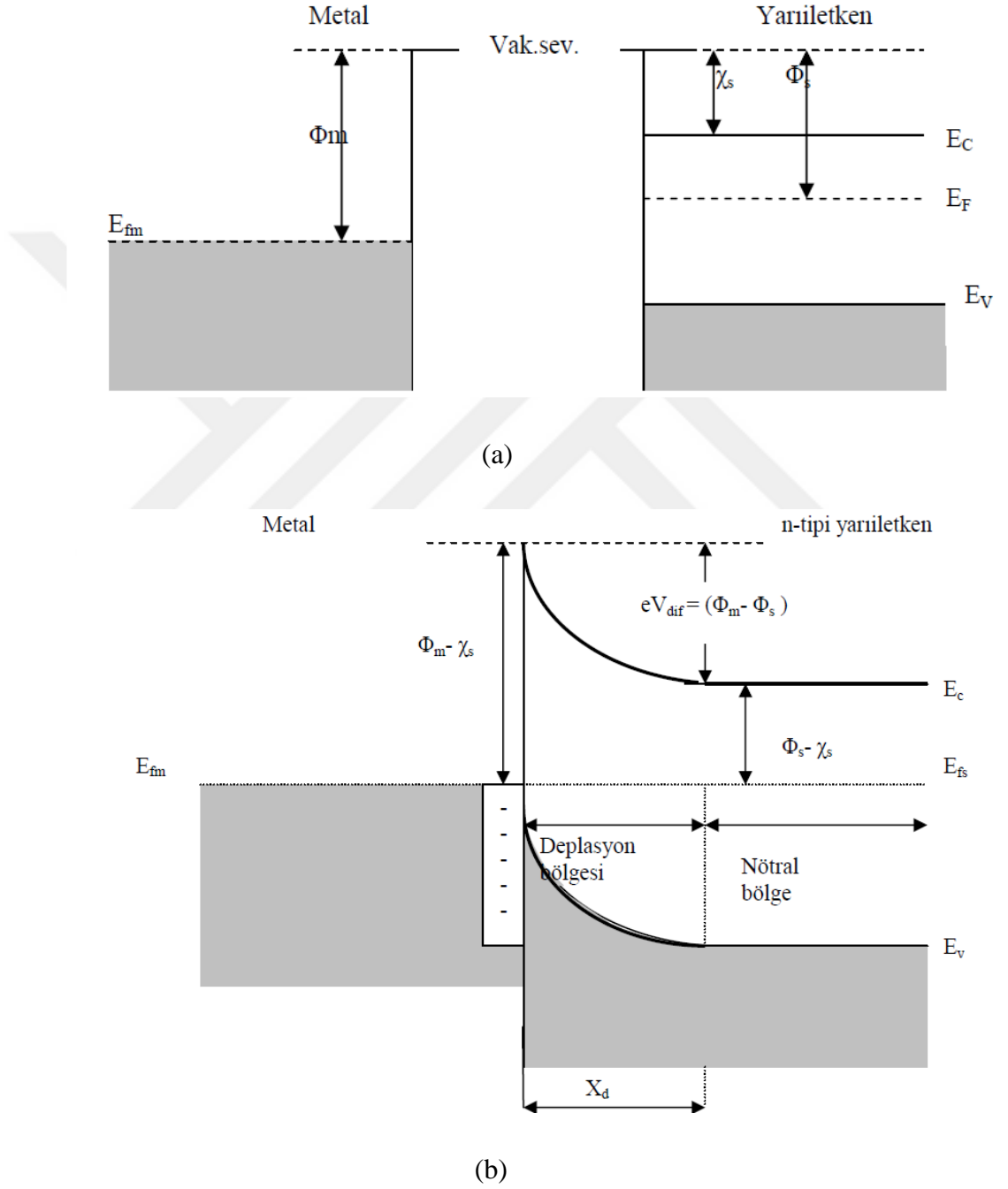
İş fonksiyonlarına göre kontak yapılarının doğrultucu ya da omik özellikte olmasına ilişkin tablo Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve omik kontakların oluşumu (Bilkan, 2013)

İş fonksiyonlarının durumu	Yarıiletken türü	Kontak türü
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu

2.2.1. Omik Kontak

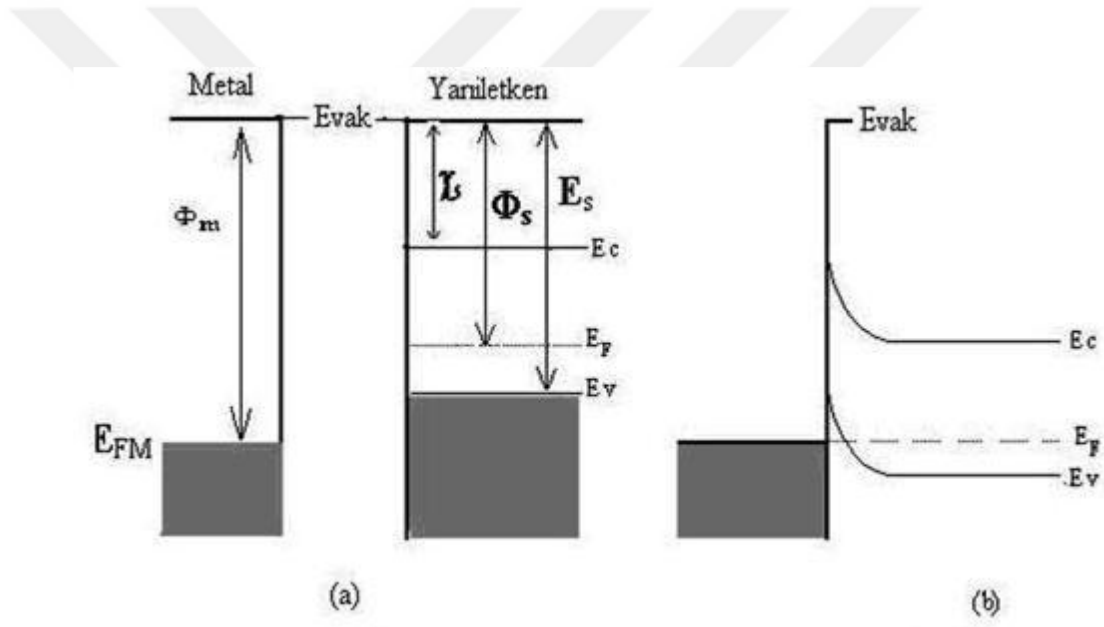
Metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçük olduğu hallerde ($\Phi_m < \Phi_s$) yarıiletkenin enerji bandı, kontak bölgesinde aşağıya doğru eğilim göstermektedir. Bu çeşit eğilimler omik kontakların temelini meydana getirmektedir (Kaya 2010).



Şekil 2.6. Metal n-tipi yarıiletken omik kontağı a) kontakdan önceki b) kontakdan sonraki enerji band diagramları (Turmuş, 2014)

Metal n-tipi yarıiletken omik kontağın kontak durumundan önce ve kontak durumundan sonraki enerji bant diyagramları Şekil 2.6'da verilmiştir.

Metal p-tipi yarıiletken kontakları dikkate alındığında, metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olduğu zaman ($\Phi_m > \Phi_s$), elektronların p-tipi yarıiletkenden metale doğru hareketleri neticesinde, yarıiletkenin yüzeyinde pozitif yüklerin konsantrasyonundaki artış nedeniyle dirençte bir azalma oluşacaktır. Bu durumda, metal/p-tipi yarıiletken yapı, omik kontak yani doğrultucu olmayan kontak özelliği sergiler (Kaya 2010). Metal p-tipi yarıiletken omik kontağın kontak durumundan önce ve kontak durumundan sonraki enerji bant diyagramları Şekil 2.7'de verilmiştir.



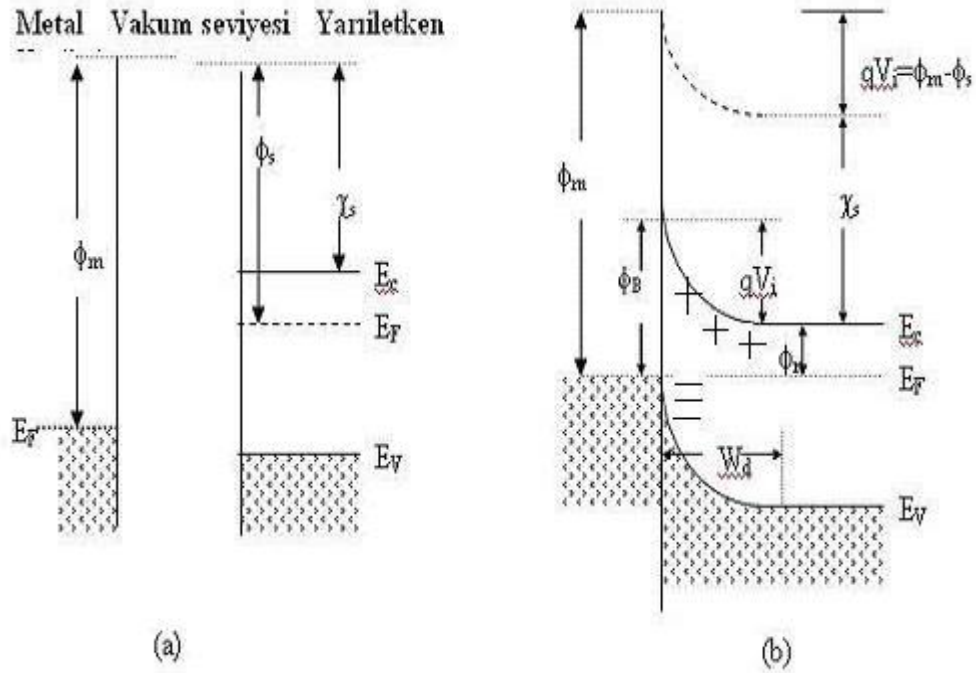
Şekil 2.7. Metal p-tipi yarıiletken omik kontağı:(a) kontakdan önceki,(b) kontakdan sonraki enerji bant diyagramları (Boy, 2013)

2.2.2. Doğrultucu (Schottky) Kontak

Yarıiletkenin yüzeyindeki elektron konsantrasyonu, yarıiletkenin iç kısmındaki elektron konsantrasyonundan daha azdır. Bundan dolayı yüzey bölgesinin direnci iç bölgeye göre daha büyüktür. N-tipi yarıiletkenin yüzeyindeki bu kısım engel ya da bariyer olarak tanımlanır. Enerji bantlarının yeteri derecede büyük eğilimlerinde, bariyer tabakası doğrultucu kontakların temelini inşa etmektedir. Metal-yarıiletken doğrultucu kontakları Schottky (doğrultucu) kontaklar olarak tanımlanır (Çatır Cimilli 2009).

İş fonksiyonu Φ_m olan metal ile iş fonksiyonu Φ_s olan n-tipi yarıiletken ($\Phi_m > \Phi_s$) kontak yapıldığında, metal ve yarıiletkenin enerji seviyeleri termal dengeye ulaşınca kadar yarıiletkenden metale doğru taşıyıcı aktarımı meydana gelir. Elektronların yarıiletkenden metale doğru geçişleriyle, yarıiletken sınırının yan tarafındaki kısımda, serbest elektronların yoğunluğu azalır. Termal dengedeki E_F değeri, yarıiletken boyunca sabit olacağından iletkenlik bandında, Şekil 2.8 b)'de gösterildiği şekilde kontak yapıldıktan sonra bir eğilme oluşur. Metal tarafına taşınan iletkenlik bandına ait elektronların ayrıldıkları yerlerde pozitif yükler oluşur. Pozitif yüke sahip iyon halindeki taşıyıcılar (vericiler) bir W_d kalınlığına ulaşana dek yayılmak suretiyle pozitif bir yük bölgesi meydana gelir (Bilkan 2013). Bu şekilde n-tipi yarıiletkende oluşan kontak yapısına doğrultucu (Schottky) kontak adı verilir.

Metal n-tipi yarıiletkene ait Schottky kontağın kontak durumundan önceki ve kontak durumundan sonraki enerji band diyagramları Şekil 2.8'de verilmiştir.

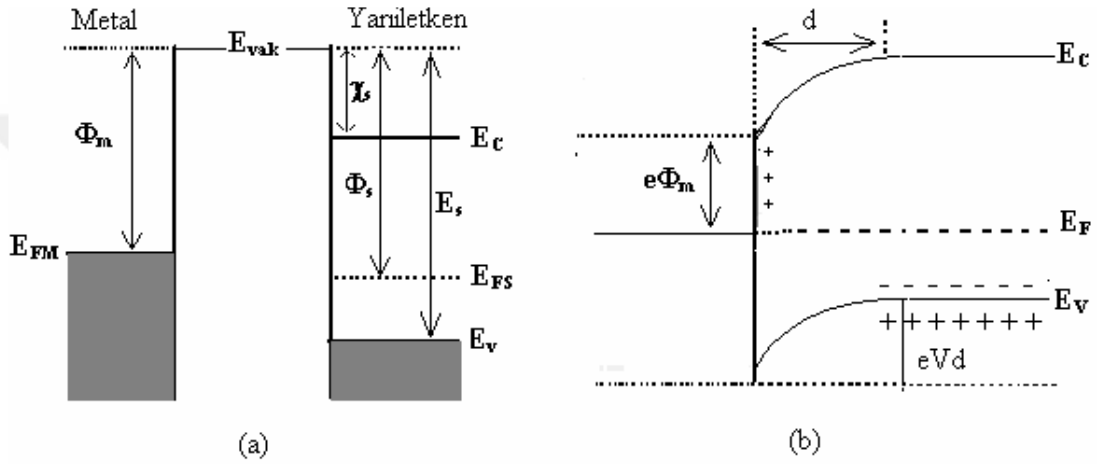


Şekil 2.8. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı : (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası enerji band diyagramları (Sze, 1981)

Metalin iş fonksiyonu p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçük olduğu halde ($\Phi_m < \Phi_s$), elektronların metalden yarıiletkene doğru hareket etmeleri neticesinde, p-tipi

yariletkenin kontak bölgesinde pozitif yüklü taşıyıcılarının konsantrasyonunda düşüş meydana gelmekte ve bunun sonucunda engelin direnci artmaktadır. Bu tür metal p-tipi yariletken kontaklar doğrultucu özelliği sergiler ve Schottky kontak olarak tanımlanır (Çatır Cimilli 2009).

Metal p-tipi yariletkene ait Schottky kontağın kontak durumundan önceki ve kontak durumundan sonraki enerji band diyagramları Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Metal p-tipi yariletken Schottky kontağı,(a) kontak öncesi,(b) kontak sonrası enerji band diyagramları (Sze, 1981)

2.3. Metal-Organik-İnorganik Yariletken Schottky Diyotların Yapısı

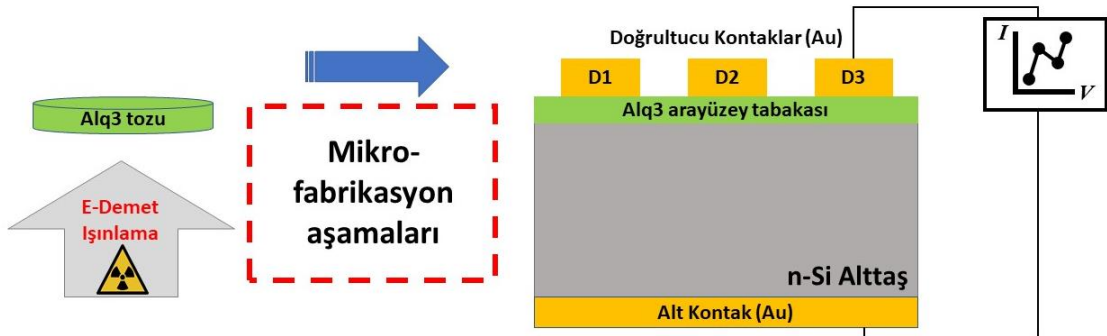
Metal yariletken kontaklarda bir başka deyişle Schottky bariyer diyotlarında metal (Al, Au, Pt vb.) ile yariletken (Si, Ge vb.) arasında metal ile yariletkeni birbirinden ayıran aynı zamanda metal ile yariletken arasındaki yük hareketlerini ayarlayan ince bir film katmanı şeklinde organik temelli malzemelerden biri yerleştirildiğinde metal yariletken yapısı Metal/Organik/İnorganik Yariletken yapı haline dönüşür (Bilkan 2016).

Bu tez çalışmasında metal (Au) ile yariletken (n-Si) arasında Alq3 organik malzemesi ince film olarak kaplanarak Metal-Organik-İnorganik Yariletken yapısı elde edilmiştir.

İnorganik ince filmlerin büyütülmesinde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerde hem yüksek maliyete hem de gelişmiş laboratuvar şartlarına ihtiyaç

duyulmaktadır. Bundan dolayı klasik metodlar kullanılarak büyütülmüş yalıtkan katmanlar yerine günümüzde üretim maliyetini önemli anlamda indiren, bolca imal edilebilen, organik ince film yapıları tercih edilmektedir. Diğer yandan mekanik yönden sağlam olması, metal ve yarıiletken gibi davranış göstermesi, inorganik malzemelere nazaran daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları oluştururması, yüksek elektrik iletkenliği bulunması, sızıntı akımını düşürmesi, yüksek sıcaklıkta dayanıklı ve kararlı olması, organik ince film yapılarını metal-yarıiletken kontak üretimi konusunda sıklıkla tercih edilen malzemeler durumuna sokmuştur. Söz konusu yarıiletken yapılar gelişmiş elektronik sanayinde, elektronik endüstrisinde, MOSFET (Metal-Oksit-Yarıiletken alan etkili transistörler), MESFET (Schotkky engel tabakalı alan etkili transistörler), hızlı anahtarlama (switching) devreleri, mikrodalga karıştırıcı dedektörleri, varaktörler (kapasiteleri uygulanan potansiyele göre değişen kondansatörler), fotovoltaik güneş pilleri, lazer boyları, organik ışık yayan diyotlar gibi çok çeşitli elektronik üretim alanlarında geniş kapsamlı olarak kullanılmaktadır (Bilkan 2013).

Bir metal ile inorganik bir yarıiletken arasına arayüzey tabakası olarak organik bir malzemenin (Alq_3) ince film olarak yerleştirilmesi ile elde edilen metal-organik-yarıiletken kontak (Schottky Bariyer Diyot) yapısının şematik diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Bir Metal/Organik/Yarıiletken tipi Shottky Bariyer Diyot için yapının şematik diyagramı

2.4. Silisyum Yarıiletkeninin Özellikleri

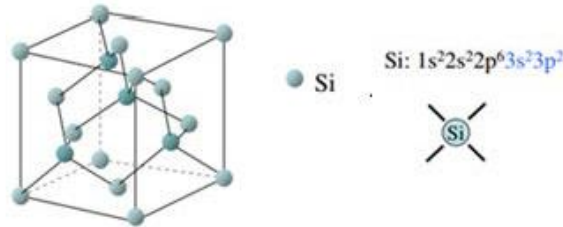
Silisyum ilk olarak Berzelius tarafından 1824 yılında keşfedilmiştir. Bunun ardından elektronik üretim endüstrisinin hammaddesi haline gelmiştir. "Silikon Vadisi" adı verilen

devasa endüstrinin ismi de bu silisyum bileşiği olan silikondan gelmektedir. Silisyum dünyada en çok bulunan elementlerdendir. Yarıiletken özelliğinin bulunması ve transistör, diyot yapımı ve çeşitli elektronik aygıt yapımında kullanılabilmesi entegre devrelerin ve bilgisayarların silikon teknolojisi üzerine oluşmasına imkân tanımıştır (Tüzemen 2007, Pişkin 2014).

Silisyum yeryüzünde bol miktarda bulunan, elmas yapısında ve çoğunlukla silikat, SiO_2 gibi bileşikler şeklinde bulunan bir yarıiletkendir. Silisyumun yasak enerji aralığı 1,12 eV ve elektron yakınlığı 4,05 eV 'dur. Dielektrik sabiti ise 11,9'dur (Tataroğlu 2004, Bilkan 2016).

Yalnızca teknolojiye ait ürünlerde kullanılmayıp çeşitli malzemeler için hammadde olmuştur. Silisyum kumda özellikle deniz kumunda çok miktarda bulunmaktadır. Silisyum yeryüzünde silikat asidi ve tuzları halinde bulunur. Yeryüzünün yaklaşık % 25,7'si bu elementten meydana gelir. Yeryüzünde oksijenden sonra bileşikleri halinde en fazla bulunan element türüdür. Silisyum oksit (SiO_2) yeryüzünde kum ve kuartz şeklinde bulunur (Brennan 1999, Tüzemen 2007).

Silisyum, elektron dizilişi ve kimyasal özellikleri yönüyle elmas yapıda bulunmaktadır. Elmas yapıda olmasına rağmen silisyumun yasak enerji aralığı (E_g) seviyesi elmasa göre çok daha düşüktür. Silisyumun önemli bir özelliği oda sıcaklığında az sayıda elektronlarının valans bandından iletkenlik bandına geçmesidir. Elektronların bu hareketi de silikonun oda sıcaklığında bile iletkenlik gösterdiğini kanıtlar (Pişkin 2014). Silisyumun kristal örgü yapısı Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Silisyumun Kristal Örgü Yapısı (Pişkin, 2014)

Silisyumun atom numarası (proton sayısı) 14'tür. "Si" simgesi ile gösterilmektedir. Oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadır. Periyodik cetvelin 5A grubunda ve III. periyotta yer alır. Şekil 2.4.1'de görüldüğü üzere nötr durumda elektron dizilişi ilk katmanda iki,

ikinci katmanda sekiz, üçüncü katmanda dört şeklindedir. Bu da valans bandında dört adet elektronun bulunduğunu gösterir. Silisyum nötr durumda iken kararlı yapısı yoktur. Örgü sabiti 5,43095 Å ve yoğunluğu 2,328 g/cm³'dür. Bağıl atom kütlesi (izotoplarının ortalama kütlesi) 28,0855'dir (Çetin 2010, Pişkin 2014).

Silisyum oda sıcaklığında diğer birtakım özelliklerinin gösterildiği tablo Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Silisyumun oda sıcaklığındaki bazı özellikleri (Kanbur, 2008)

Özellikler	Si
Atom yoğunluğu (Atom/cm ³)	5,0 x 10 ²²
Atom ağırlığı	28,09
Kırılma alanı (V/cm)	3x10 ⁵
Kristal yapısı	Elmas
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,328
Dielektrik sabiti	11,9
İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu N _c (cm ⁻³)	2,8 x 10 ¹⁹
Valans bandındaki durumların yoğunluğu N _v (cm ⁻³)	1,04 x 10 ¹⁹
Saf taşıyıcı yoğunluğu n _i (cm ⁻³)	1,45 x 10 ¹⁰
Saf öz direnci (Ω.cm)	2,3x10 ⁵
Örgü sabiti(Å)	5,43095
Elektronların etkin kütlesi, m [*] /m ₀	m _l [*] =0,98, m _t [*] =0,19
Deşiklerin etkin kütlesi, m [*] /m ₀	m _{lh} [*] =0,16, m _{hh} [*] =0,49
Elektron yakınlığı, χ (eV)	4,05
Yasak enerji aralığı (eV)	1,12
Mobilitesi elektron – hole (cm ⁻² /V.s)	1,450-500
Erime sıcaklığı (°C)	1414
Termal iletkenliği (W/cm.K)	1,56
Kaynama noktası (°C)	2900
Molar hacmi (ml/ mol)	12,06
Mineral Sertliği	6,5

2.5. Alq3 Arayüzey Malzemesinin Özellikleri

Tris (8-hidroksikinolin) alüminyum (III) (Alq3) mükemmel bir ışık yayan malzeme olarak bilinmektedir, bu özellikler ilk önce 1987 yılında Tang ve VanSlyke tarafından organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler) için rapor edilmiştir.

Alq3, çoklu ligandlarla (merkez atomuna bağlı olan nötr moleküller veya anyonlarla) çevrili merkezi bir Al³⁺ + metal iyonundan oluşan bir metal şelat sınıfına aittir ve bu durumda üç çift dişli 8-hidroksikinolin anyonu içermektedir. (Tang ve ark.1987).

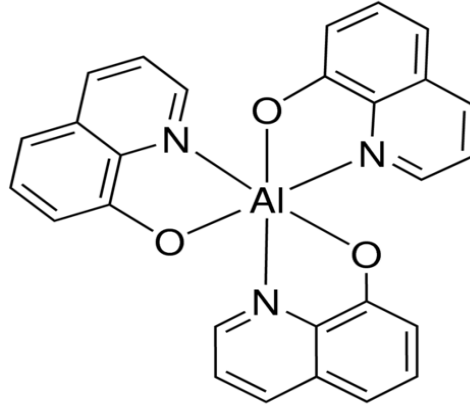
Alüminyum, Bakır, Çinko, Demir, Magnezyum Kalsiyum ve Mangan vb. pozitif yüke sahip katyon elementlerinin, negatif yüke ve en az iki elektron verici atoma sahip ligand ile oluşturdukları (asgari iki halka ihtiva eden) organik kompleks yapılar şelat olarak tanımlanır.

Alq3'ün şelat net yükü sıfırdır ve katyon koordinasyon bölgelerinin tümü doludur. Sonuç olarak, Alq3 350 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda ayrışma olmadan süblime edilebilecek oldukça kararlı bir malzemedir (Zhao ve ark. 2004).

OLED'ler, organik ince film transistörleri (OTFT'ler) ve organik fotovoltaik hücreler (OPVC'ler) gibi optoelektronik cihazlar ince bir film oluşturmak için Alq3 kullanılarak geliştirilmiştir (Koo ve ark.2010, Song ve ark.2010).

Alq3 arayüzey malzemesinin moleküler yapısı Şekil 2.11'de verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, malzemenin molekül yapısı ortada bulunan bir Al elementin çevresinde bağ oluşturan C,O,H ve N elementlerinden meydana gelmektedir. Alq3 malzemesi hem elektron taşıma (ETL) hem de emisyon (EML) tabakası özelliğine sahip olması nedeniyle organik elektronik aygıt üretiminde çoğunlukla tercih edilmektedir. Hem ETL hem de EML özelliği gösteren moleküler yapılarda elektron (e⁻) miktarı fazla boşluk (h⁺) miktarı daha düşüktür (Shinar 2004, Canlı 2018).

Alq3 organometalik malzemesinin moleküler yapısı Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Alq3 malzemesinin moleküler yapısı (Anonim a,2019)

Alq3 malzemesinin moleküler yapısı, yüksek elektrolüminans (EL) özelliğine sahip olması nedeniyle öncelikli olarak organik ışık yayıcı cihazlarda (OLED), elektronların taşınmasında ve ışık yayıcı olarak yaygın olarak kullanılır (Tang ve ark.1987,Canlı 2018).

Alq3 organik elementinin α , β , δ ve γ olmak üzere dört farklı fazı bulunur ve bu fazların meydana gelmesi sıcaklık ile bağımlıdır (Colle ve ark. 2003, Canlı 2018).

Alq3 organik elementinin bazı özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir:

Çizelge 2.4. Alq3 malzemesinin bazı özellikleri (Anonim b,2019)

Alq3 Malzemesinin Bazı Özellikleri	
Malzemenin Adı	Tris(8-hydroxyquinoline)alüminyum
Semboller	Alq3
	8-Hydroxyquinoline alüminyum tuz
	Alüminyum 8-hydroxyquinolate
	Alüminyum oxinate
	Tris(8-hydroxyquinolinato)alüminyum
Molekül formülü	$C_{27}H_{18}AlN_3O_3$
Molekül ağırlığı	459.43 g/mol
Soğurma	λ_{max} 259 nm
Işıma	λ_{ex} 390 nm ; λ_{max} 519 nm
HOMO / LUMO	HOMO 5.8 eV LUMO 3.1 eV
İlişkili Kategoriler	Elektron Taşıma ve Boşluk Engelleme Malzemeleri, Floresan için Ana Malzemeler, Ana Malzemeler, Işık Vericiler ve Katkılar, Malzeme Bilimi, OLED ve PLED Malzemeleri, Organik ve Basılı Elektronik, Süblime Malzemeler.

2.6. Termoionik Emisyon ile Akım İletim Mekanizması

Yarıiletken yüzeyindeki elektron taşıyıcılarının sahip oldukları termal enerji sebebiyle serbest hale geçmesi olayı Termoionik Emisyon olarak tanımlanır. Metal-yarıiletken kontak yapılarında termoionik emisyon akım iletim mekanizması, elektron taşıyıcılarının sahip olduğu termal enerji sebebiyle potansiyel bariyerini geçerek metalden yarıiletkene doğru veya yarıiletkenden metale doğru geçiş durumudur. Yarıiletken yapıda bu geçiş durumunun akım iletimine faydası çok önemli boyuttadır (Bilkan 2013).

Metal-yarıiletken kontak yapısına dışarıdan bir potansiyel uygulandığı zaman metalin ve yarıiletkenin Fermi enerji seviyeleri termal olarak dengede kaldığı şekilde aynı seviyede bulunmazlar. Söz konusu metal yarıiletken kontak yapılarının metal tarafında elektronlar için bariyer yüksekliği uygulanan potansiyele bağımlı değildir. Fakat yarıiletken tarafında elektronlar için bariyer yüksekliğinde uygulanan pozitif potansiyel ile birlikte düşüş meydana gelirken, negatif potansiyel ile birlikte artış meydana gelmektedir. Bununla birlikte pozitif kutuplama durumunda yarıiletkenden metale doğru olan akım yükselirken negatif kutuplama durumunda söz konusu akım düşer (Bilkan 2013).

Schottky diyot yapılarında akım iletimi çoğunluk taşıyıcıları ile gerçekleştirilir. Çoğunluk taşıyıcıları metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda oyuklar, metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise elektronlardır (Sze 1981).

İlk olarak Bethe tarafından ortaya konulan metal yarıiletken kontak yapılarında akım iletiminin çoğunluk taşıyıcıları ile yapıldığını varsayarak geliştirdiği Termoionik Emisyon Teorisi aşağıda verilen maddeler ile özetlenebilir:

- 1-Gerilim bariyerinin yüksekliği, kT/q enerjisine oranla çok büyüktür.
 - 2-Termal denge sağlanmış olup, toplam akımın termal dengeye etkisi yoktur.
 - 3-Bariyer bölgesinde taşıyıcı elektronlar arasında çarpışma meydana gelmemektedir.
- Diğer bir deyişle taşıyıcılara ait ortalama serbest yollar bariyer bölgesinin kalınlığına kıyasla daha fazladır.
- 4-İmaj (görüntü) kuvvetlerinin etkisi ihmal edildiğinde, bariyerin şekli önem taşımayıp akım iletimi sadece bariyer yüksekliğine bağlı durumdadır (Sze 1981, Kanbur 2008).

Metal-yarıiletken kontak yapılarında akım iletim mekanizmaları hakkında ilk yorumları Bethe yapmış, ardından Sze ve Crowell detaylandırılmış şekilde yorumlar ortaya koymuşlardır. Söz konusu diyot akımı ile ilgili formül Eşitlik (2.1)'de verilmiştir:

$$I = I_0 [\exp (qV / nkT) - 1] \quad (2.1)$$

Burada, q: elektronun yükü, V:diyot üzerine düşen gerilim, k:Boltzmann sabiti, T: Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık, n:idealite faktörü ve I_0 :ters doyma akımıdır.

I_0 ters doyma akımı Eşitlik (2.2)'de verilen,

$$I_0 = AA^* T^2 \exp (- q\Phi_B / kT) \quad (2.2)$$

formülü ile ifade edilir.

Burada, A:diyotun alanı, Φ_B :Schottky bariyer yüksekliği, A^* ise Richardson sabitidir ve Eşitlik (2.3) ile ifade edilir:

$$A^* = (4 \pi q m^* n k^2) / h^3 \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)'de, q: elektronun yükü, m^* : dielektrik içerisindeki etkin elektron kütlesi, k: Boltzmann sabiti, n: idealite faktörü ve h: Planck sabitidir.

2.7. Işınlamanın Diyot Parametreleri Üzerine Etkisi

Shottky diyotlar ya da metal yarıiletken kontakların imalat sürecinde diyot parametrelerinin iyileştirilerek diyot veriminin ve aygıt performansının artırılması bu konuda yapılan araştırma ve çalışmaların ana hedeflerindedir.

Metal-yarıiletken kontakların elektriksel karakteristikleri, metal-yarıiletken arasında kullanılan ara yüzey malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Metal-yarıiletken kontakların ara yüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü gibi diyota ait birçok

parametreyi değiştireceğinden kullanılan ara yüzey malzemesi doğrudan malzemenin özelliklerini, performansını ve verimini etkiler (Sze 1981, Rhoderick 1978).

Literatürde yapılan çalışmalar, inorganik bir yarıiletken üzerine organik ince bir film tabakası halinde bir arayüzey eklendiğinde Schottky diyot yapısının engel yüksekliğinin azaltılabileceği veya tam tersi yükseltebileceği yani böylelikle engel yüksekliğinin değiştirilebileceğini göstermektedir.

Metal yarıiletken kontak yapılarında metal ve yarıiletken arasında kullanılan organik arayüzey tabakası yarıiletkenin yüzeyinde bir kısım değişiklikler meydana getirerek yük geçişlerinin kontrol edilmesini sağlar. Nano boyutlarda çok ince kaplanmış organik arayüzey tabakaların kullanımı sayesinde optimum parametrelere sahip yüksek performanslı ve kaliteli aygıtlar geliştirilebilecektir (Aydemir 2019).

Yapılan deneysel çalışmalarda metal-yarıiletken arayüzey farklı işlemlere (katkılama, tavlama, ışınlama vb.) maruz bırakıldığında, engel yüksekliği ve idealite faktörünün değiştiği görülmüştür (Chandra ve ark. 1986, Türüt ve ark. 1992).

Son zamanlarda, organik tabanlı arayüzey malzemelerinin ışınlamaya maruz bırakıldıklarında verdikleri hassas tepki ve ışınlamanın aygıtın performansına ve diyot parametrelerine etkisi farklı bir çalışma konusu haline gelmiştir. Literatürde yapılan araştırmalardan, yapılan çalışmalarda genellikle polimer arayüzey tabakalı aygıtların kullanılmış olduğu, aygıtların üretildikten sonra ışınlanmaya maruz bırakıldıkları ve ışınlanan aygıtların elektriksel özellikleri incelendiği görülmektedir (Aydemir 2019).

Altındal ve ark. (2012) ^{60}Co (γ -ışını) kullanarak gama ışınlamanın Au / Polivinil Alkol (Ni, Zn katkılı) / n-Si Schottky bariyer diyotlarının (SBD'ler) oda sıcaklığında elektriksel ve dielektrik özelliklerine etkisini incelemiştir. Gerçek kapasitans ve iletkenlik değerleri, ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m) değerlerinde seri direnç (R_s) etkisinin düzeltilerek elimine edilmesiyle elde edilmiştir. Tükenme ve birikme bölgelerindeki dielektrik özelliklerdeki değişimler, özellikle arayüzey durumlarındaki yüklerin yeniden

yapılandırılması, yeniden sıralanması ve yüzey kutuplaşmasından kaynaklanırken, birikim bölgesinde ise seri direnç etkisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Uslu ve ark. (2012) Polivinil alkol (PVA) / (Co-Ni) nanofiber filmi, elektro eğirme (electrospinning) tekniğini kullanarak silikon alttaş üzerinde imal etmişlerdir. Üretilen PVA / (Co-Ni) nanofiber filmin yapısal analizi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İlk önce, Au / PVA (Co, Zn katkılı) / n-Si SD'nin akım-gerilim (I – V) özellikleri oda sıcaklığında (300 K°) ölçülmüştür. Sıcaklık, aydınlatma ve radyasyonun Au / PVA (Co, Zn katkılı) / n-Si SD üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması için, ölçümler 200 W aydınlatma yoğunluğu altında, 380 K°'da ve son olarak da radyasyon dozu altında yapılmıştır. Sırasıyla 22 kGy dozunda bariyer yüksekliği (Φ_B), idealite faktörü (n) ve seri direnç (Rs) gibi diyot karakteristikleri oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklık, aydınlatma ve radyasyon koşullarında hesaplanmıştır. Bu özelliklerin, aydınlatma ve radyasyonun yanı sıra sıcaklıktan da etkilendiği gözlenmiştir.

Al-Ta'ii ve ark. (2018) alfa radyasyonunun DNA (Deoksiribonükleik asit) çözeltisi kullanarak imal edilen bir Al / DNA / Al aygıtının elektriksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Taşıyıcı naklinin Al-DNA arayüzündeki elektriksel arayüz özellikleri tarafından yönetildiği görülmüştür. Akım (I) - Gerilim (V) eğrileri, arayüz sınırlı Schottky akım denklemleri geleneksel ve Cheung ve Cheung'in modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. İdealite faktörü, bariyer yüksekliği ve seri direnç gibi Schottky parametreleri de belirlenmiştir. Schottky kontağının radyasyondan önce ve sonra çıkarılan bariyer yüksekliği, ışınlanmamış 12 mGy, 24 mGy ve 36 mGy dozlar için sırasıyla 0.7845 eV, 0.7877 eV, 0.7948 eV ve 0.7874 eV olarak hesaplanmıştır. Yapının seri direncinin, ışınlamadaki artışla azaldığı, bunun da DNA çözeltisindeki yük taşıyıcılarda serbest radikal kök etkilerinin artmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Aydoğan ve ark. (2016) Au / antrakinin / p-Si ve Au / piridin / p-Si eklem aygıtlarının X ışınları kullanılarak yapılan ışınlama ile değişen bazı elektriksel özelliklerini incelemiştir. Her iki aygıt için deneysel idealite faktörleri, ışınlama dozunu 25 Gy'den 150 Gy'ye yükseltmiştir. Bu değerler, Au / antrakinin / p-Si için 1.10 ila 1.52 ve Au / piridin / p-Si için 1.46 ila 1.77 arasında değişmiştir. Ayrıca, Au / antrakinin / p-Si'nin bariyer yüksekliği, ışınlama dozunun 0.75 eV'den 0.91 eV'ye yükseltilmesiyle artarken, Au / piridin / p-Si için sabit bir değer göstermiştir. Ek olarak, her iki cihazın seri direnci de

röntgen dozu ile artmıştır. X-ışını ışınımı ile seri dirençteki artış, aktif katkı maddesi yoğunluklarındaki azalmaya bağlanmıştır. İyonlaşma hasarının eklem özelliklerinin çoğunda etkili olduğu görülmüştür. Au / antrakinin / p-Si aygıtının sızıntı akımı, ışınım elektron-delik çiftlerinin ve hidrokinon yapısının oluşumuna neden olduğu için x-ışını radyasyonu ile azalmıştır ve bu nedenle bazıları ara yüzey durumları tarafından tutulmuştur. Au / piridin / p-Si / Al cihazının I-V eğrilerinin bozulması, aygıtların yüzey veya arayüzey dağılımlarının değişmesine bağlıdır. Ters ve düz beslem akımları, kütle ömründeki düşüş nedeniyle x-ışını ışınlanmasından sonra nispeten artmıştır. Ek olarak, antrakinin ve piridin filmlerin ATR-FTIR spektrumları, piridin, x-ışını ışınlanması altında antrakinondan daha kararlı olduğunu göstermiştir.

Aydemir (2019) ışınlanmamış ve farklı dozlarda E-Demet hızlandırıcıda ışınlanmış PTCDA tozlarını n-Si alttaş üzerine kaplayarak Au/PTCDA/n-Si SD'ların üretimini gerçekleştirmiştir.

Yapılan çalışmada, PTCDA tozları 30 kGy, 60 kGy ve 100 kGy farklı elektron demet dozlarında ışınlanmıştır ve 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD aygıt performansının ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'a göre daha iyi olduğu deneysel yöntemlerle tespit edilmiştir. Schottky bariyer yükseklikleri karşılaştırıldığında 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakası içeren Au/PTCDA/n-Si SD 0,62 eV ile en yüksek engel yüksekliğine sahip olduğu belirlenmiştir. 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD $\pm 2,5$ Volt arasında 2097 kat doğrultma oranıyla en yüksek doğrultma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Yine en yüksek seri direnç değerinin 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD a ait olduğu belirlenmiştir.

Netice olarak, ışınlamaya maruz bırakılan PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'un I-V karakteristiklerinin ışınlama ile oldukça etkilendiği saptanmıştır. Au/PTCDA/n-Si SD için en uygun ışınlama dozunun 30 kGy olduğu ve diyot parametrelerinde (Φ_{Bo} , DO, Rsh) iyileşmeye neden olarak aygıt performansının artırıldığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında ise düşük (30 kGy) ve yüksek (100 kGy) dozlarda E-demet ile ışınlamaya maruz bırakılan Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD'lar ve ışınlanmamış

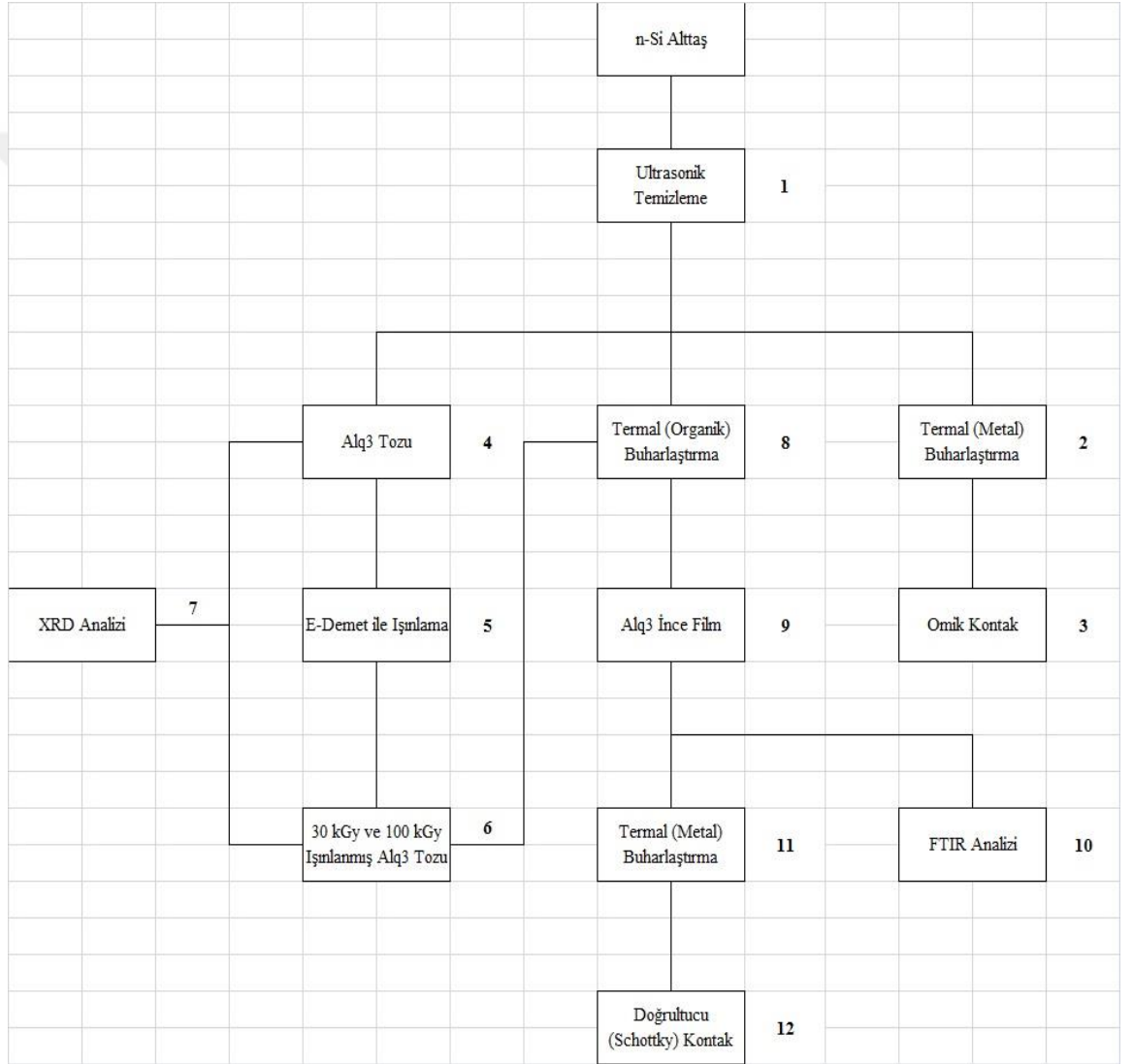
Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen diyot yapılarının I-V ve C-V ölçümleri yapılarak, ölçüm sonuçlarından idealite faktörü, bariyer yüksekliği şönt direnç ve seri direnç gibi Schottky parametreleri farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Işınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD'lar ve ışınlanmamış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si SD'un diyot parametreleri karşılaştırılarak aygıt performansları değerlendirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Au/Alq₃/n-Si Diyotların Hazırlanma Aşamaları

Tez çalışmasında öncelikle, Alq₃ organik ince filmleri n-tipi Silisyum (Si) üzerine temiz odada buharlaştırma yöntemiyle kaplanmıştır. Altaş malzeme olan n-tipi Silisyum kaplanmadan önce aşağıda verilen hazırlıklar yapılmıştır. Diyot numunelerini hazırlama aşamaları Şekil 3.1’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Diyot Numunelerinin Hazırlanma Aşamaları Şematik Gösterimi

3.1.1. N-tipi Silisyum alttaş yüzeylerinin temizlenmesi

(100) yönelimine sahip, bir yüzeyi parlatılmış, 1-10 Ω .cm özdirence sahip, Fosfor (P) katkılı, 380 μ m kalınlığında 3” çapında tek kristal n-tipi Silisyum alttaş, elmas uçlu kalem yardımıyla 15x15mm boyutlarda parçalar halinde kesildi. Kesilen Si parçalar önce metil alkol ile kimyasal olarak temizlendi; sonra seyreltik (%5) hidroklorik asit ile ultrasonik banyoda 10 dakika 100 °C’de temizlendi ve saf su ile durulandıktan sonra yüksek saflıkta kuru azot gazı ile kurutuldu.

3.1.2. Omik Kontağın Oluşturulması

Alttaşların mat yüzeyine omik kontak oluşturulmak için termal buharlaştırma yöntemi kullanılmıştır. %99,999 saflıktaki Altın malzeme küçük parçalara ayrılarak ortası çukur şeklinde olan tungsten pota kısmına konulmuştur. Alttaşların arka yüzeyi gölge maske ile numune tutucuya tutturularak 100 nm kalınlığında saf Au termal buharlaştırma sisteminde 2×10^{-5} Torr basınç altında ortalama 0,5 nm/s hızla kaplandı ve 5 dk. boyunca azot ortamında 450 °C de tavlandı.

Bu çalışma için, Bilkent-UNAM temiz oda içerisinde yer alan termal (metal) buharlaştırma cihazından yararlanılmıştır. Termal (metal) buharlaştırma cihazının görünümü Şekil 3.5-(a)'da verilmiştir.

3.1.3. Alq3 Organik İnce Filmlerinin Hazırlanması

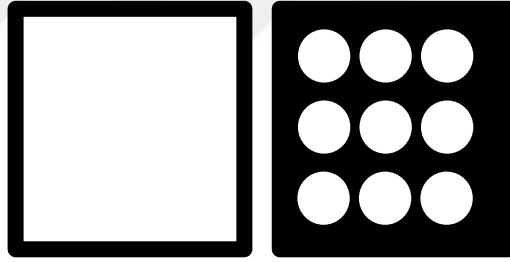
Arayüzey tabakası olarak buharlaştırılacak %99,995 saflıkta Alq3 tozları Elektron demet hızlandırıcı cihazında 30 kGy ve 100 kGy dozlarda ışınlanmıştır. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozda ışınlanmış tozların yapısal özellikleri X-ışını kırınımı yöntemiyle analiz edilmiştir. Temizlik işlemine tabi tutulan Si alttaşların parlak yüzeyinde doğal olarak oluşan SiO₂ (Silisyum dioksit) tabakasını temizlemek için %5 seyreltik hidroklorik asit ile yıkanıp durulanmıştır. Daha sonra n-Si alttaş malzemelerin parlatılmış yüzeyine Alq3 ince filmleri 300 °C’de 5×10^{-5} Torr basınç altında ve 48 amper yük altında ortalama 0.1 nm/s hızla Bilkent-UNAM temiz oda içerisinde yer alan PVD-Handy organik buharlaştırma cihazında yaklaşık 100 nm kalınlığında kaplanmıştır. PVD Handy (organik) buharlaştırma cihazının görünümü Şekil 3.5-(b)'de verilmiştir.

Bu şekilde ışınlanmamış, 30 kGy dozda ışınlanmış ve 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 tozlarından toplam üç adet ince film kaplı numune oluşturulmuştur. Alq3'den elde edilen ince filmler doğrultucu kontak alınmadan önce yapısal özellikleri incelenmek üzere FTIR spektrumları analiz edilmiştir.

3.1.4. Au/Alq3/nSi Schottky Diyot Numunelerinin Üretilmesi

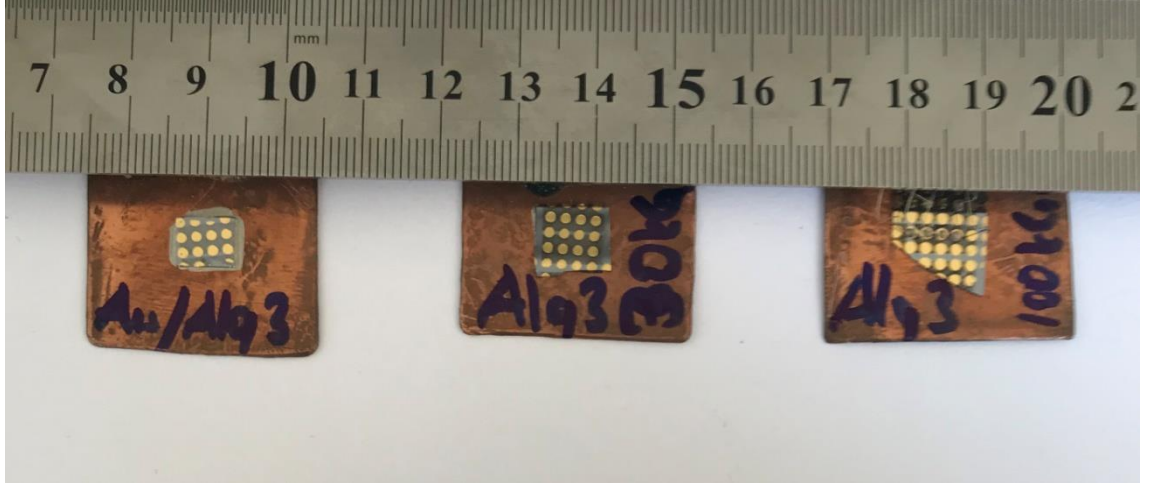
Bu çalışmada alttaş malzeme olarak n-tipi, Fosfor (P) katkılı, (100) doğrultusunda büyütülmüş, 380 µm kalınlığında, 1-10 Ω.cm öz dirence sahip Silisyum (Si) kullanılmıştır. Alq3 ince film kaplanmış n-Si numunelerin film kaplı olan yüzeylerine 1 mm çapında dairesel desenlerden oluşan maskeler yardımıyla termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak doğrultucu (schottky) kontaklar 100 nm kalınlığında saf Au kaplanarak oluşturulmuştur. Böylelikle organik (Alq3) arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si doğrultucu (Schottky) diyotlar elektriksel analizleri yapılmak üzere elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kontak maskelerine ait fotoğraf Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kontak Maskelerinin Şematik Gösterimi

Elektriksel analizleri yapılmak üzere elde edilen ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si diyot numunelerinin fotoğrafı Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si diyot numunelerinin fotoğrafı

3.2. Kullanılan Deneysel Yöntemler

3.2.1. Ultrasonik Temizleme

Ultrasonik temizleme işlemi, temizlenmesi istenilen malzemenin bir sıvı (genelde saf su kullanılır) içerisine konularak sıvının bulunduğu tanka ultrasonik ses dalgaları gönderilmesi ve malzemenin bu şekilde temizlenmesidir. Burada yüksek frekanslı ses dalgaları yüksek ve alçak basınç değişimlerini oluşturmak için gereklidir.

Bu yüksek frekanslı ses dalgaları milyonlarca mikroskobik hava kabarcıkları meydana getirir. Meydana gelen bu hava kabarcıkları büyük basınç değişimlerine karşı önce genişler, daha sonra da içe doğru büzülüp içe patlayarak reaksiyon gösterirler. Bu içe patlama esnasında çok büyük bir enerji oluşur. Patlamanın meydana geldiği anda sıcaklık binlerce °C ye, basınç ise yüzlerce atmosfere kadar çıkar böylelikle şok dalgaları meydana gelir. Ultrasonik temizleme, söz konusu şok dalgalarının sıvı içindeki temizlenmesi istenen malzemenin yüzeyine büyük bir hızla çarparak fırçalama etkisi yaratmasıyla meydana gelir.

Bu çalışmada kullanılan ultrasonik temizleme (yıkama) cihazının görünümü Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Ultrasonik Temizleme Cihazının Görünümü

3.2.2. Termal buharlaştırma

Bu tez çalışmasında, ince film kaplama teknikleri içerisinde yaygın olarak kullanılan ve ince film kaplamada etkin bir yöntem olan termal buharlaştırma tekniği kullanılmıştır. Bunun için Bilkent-UNAM temiz oda içerisinde yer alan termal buharlaştırma cihazından yararlanılmıştır. Omik kontakların oluşturulması için kullanılan metal buharlaştırma cihazı (VAKSİS PVD Handy T2 sm) ile schottky kontakların oluşturulması için kullanılan organik buharlaştırma cihazı (VAKSİS PVD Handy) görünümü Şekil 3.5 'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.5. Buharlaştırma Sistemleri a) metal buharlaştırma b) organik buharlaştırma sistemi (Anonim c,2019)

Termal buharlaştırma yöntemi, vakum altında rezistanslı bir ısıtma elemanı kullanılarak, yarıiletken malzemenin yüzey kısmına ince metal veya organik film tabakalarını yerleştirilmesinde sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir. Altaş malzemenin üzerine kaplama malzemesi, Molibden (Mo), Tantal (Ta), Tungsten (W) benzeri ısı karşısında mukavemetli, yüksek erime noktasına sahip metal malzemelerden üretilmiş pota yapılarının içerisinde ya da doğrudan kızgın rezistanslı ısıtıcı vasıtasıyla buharlaştırılması suretiyle kaplanır. Berilyum, bor-nitrit, zirkonyum, alüminyum, berilyum, kuartz ve grafitten üretilen pota yapıları doğrudan ısıtma tekniğinde uygulanmaktadır (Ocak 2010).

Vakum altında buharlaştırma yönteminde kaplama malzemesinin toz halindeki parçaları belli sıcaklıkta buharlaştırılır. Buharlaştırılan malzeme öncesinden ısıtılan cam yüzey üstüne 10^{-5} ya da 10^{-7} Torr gibi düşük basınçla çökme işlemi gerçekleştirilir. İnce filmler yüksek vakumlu ortamda oluşturulduklarından, ortam içerisinde bulunan farklı atomlar ile etkileşme gösterme imkânı neredeyse yoktur. Bu nedenle kalitesi yüksek ince filmler oluşturulur (Kumar ve ark.2004).

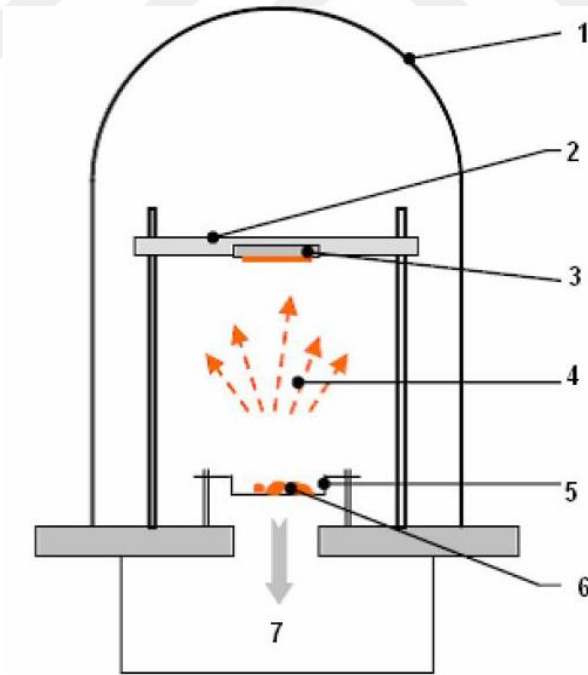
Vakum ortamında, bir rezistans vasıtasıyla buharlaştırılan kaplama malzemesi, kaplanacak yarıiletken malzeme yüzeyinde atomsal ya da iyonik şekilde ince bir film katmanı şeklinde biriktirmek suretiyle kaplama gerçekleştirilir.

Oksit tabakasının oluşmasına ayrıca sıcaklık karşısında yüksek dirence sahip yansıtıcı bir pota yapısı içine buharlaştırılacak kaplama malzemesi konulur, ardından pota yapısının çevresini saran rezistanslar ile ısıtma yapılır. Bu teknik ile genellikle Al (Alüminyum), Mg (Magnezyum), Ag (Gümüş), Cu (Bakır), Pb (Kurşun) gibi erime sıcaklıkları düşük metallerin buharlaştırılması için kullanılır (Türküz ve ark. 1997).

Termal buharlaştırma yöntemiyle organik malzemeler de ısıtılarak buharlaştırma yapılabilir. Organik malzemelerin uygun sıcaklıklarda ısıtılması suretiyle buharlaşma meydana gelir ve yarıiletken malzemenin yüzeyinde ince film tabakaları şeklinde yoğunlaşma elde edilir.

Termal buharlaştırma yönteminde, buharlaşma basıncı, buharlaşan kaplama malzemesinin bulunduğu yer ile altlık tablası arasında bulunan mesafe ve buharlaşma hızı film kalınlığının değişmesine sebep olur.

Termal Buharlaştırma Sisteminin şematik yapısı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Termal buharlaştırma(rezistans ile) sisteminin şematik gösterilişi
1.Vakum odası 2. Altlık tablası 3. Numune tutucu 4. Metal buharı 5. Isıtıcı filaman 6.
Buharlaştırılacak metal (Ocak 2010).

Termal buharlaştırma yönteminin diğer yöntemlere nazaran maliyeti düşüktür fakat birtakım olumsuzlukları bulunmaktadır. Geometriye bağlı nedenlerden dolayı çapı büyük imalatların yapılması zorlaşmaktadır. Erime sıcaklığı düşük olan malzemelerin (1500 °C'den daha küçük) buharlaştırılmasında tercih edilir.

Çok sık rastlanmasa da, bazen pota yapısı da yüksek sıcaklık nedeniyle buharlaşabilir, bu durumda kaplama yapısında bozukluklar meydana gelir. Termal buharlaştırma işleminde kullanılmak üzere mevcutta bulunan farklı kaynak buharlaştırıcı sistemlerinin kaplama karakteristikleri, olumlu yönleri ile kısıtlamalarını değerlendirmişlerdir. Termal buharlaştırma yönteminde buharlaşma seviyeleri, belirli sıcaklık derecesinde ve vakumlu bir ortamda tutulan kaplama malzemesinin buhar basıncı tarafından denetlendiğinden başta kullanılan malzemenin içeriğiyle bire bir uyumlu karışım ile alaşımları buharlaştırmak güçtür. Bunun yanında flash buharlaştırma yöntemi ile bu sorun aşılabilir. Flash buharlaştırma yönteminde alaşımın ya da metal malzemenin çok küçük boyuttaki tozları denetimli bir seviyede sıcaklığa sahip pota yapısının içerisine yerleştirilerek buharlaştırma işlemi gerçekleştirilir, alaşım içerisindeki oranın benzeri bu şekilde biriktirilir.

3.3. Kullanılan Analiz Yöntemleri

3.3.1. X-Işını Difraktometresi (XRD)

Alman fizik bilimci Röntgen'in 1895'te bulmuş olduğu x-ışınları, atomların iç kısımlarında bulunan yörüngelerine ait elektron iletimleri sayesinde tabi olarak veya suni bir şekilde kapalı bir tüpün içinde katot ucundan gelen elektronların hızlandırılarak anot ucundaki metali bombardıman etmesi suretiyle meydana gelir. Yüksek enerjiye sahip elektronlar hedefte bulunan metalin içindeki yüksek ivme sayesinde hızlarını kaybetmek durumunda olduklarından söz konusu enerjilerini foton çıkararak sönmümlerler. Söz konusu durum ard arda yaşanır ve bu fotonlar sebebiyle x-ışınları meydana gelir. Elde edilen x-ışınlarının karakteristik özellik taşıyanları ayrılır. Bu karakteristik özellik taşıyan x-ışınlarından faydalanarak geliştirilen XRD (X-Işını Difaktometresi) yöntemi sayesinde alaşım halindeki malzemelerin analizleri gerçekleştirilir (Cömert 2015).

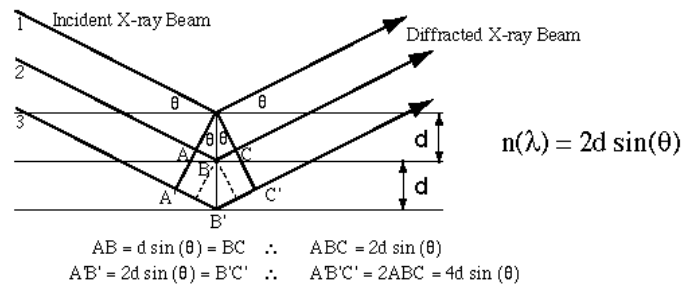
Malzemenin kristal yapısının araştırılarak mineral yapısındaki bileşimlerin tespit edilmesinde X-ışınlarının yansımasından faydalanılır. X-ışını kırınımı yönteminin temeli,

oldukça kısa dalga boylu elektromanyetik dalgaların etkisiyle oluşan X-ışınlarının demet halinde analizi yapılacak malzemenin üzerine salınıp, malzemenin iç yapısındaki kristallerin atomlarına çarpıtılmak suretiyle yansıtılması esasına dayanır. X-ışını kırınımı (XRD), ince film yapılarının ve tabakalı yapıların yapısal karakterizasyonunun (kristalin kalitesi, kompozisyon oranı, yüzey kalınlığı, yüzey üzerindeki gerilmeler) gerçekleştirilmesi için çoğunlukla tercih edilen yöntemlerden biridir (Cömert 2015).

Kırınım (yansıma) deneylerinin tümü Eşitlik (3.1)'de verilen Bragg yasası ile açıklanır:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad n=1,2,3,\dots \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'de, d: kristal düzlemleri arasındaki uzaklığı, θ : gelme (yansıma) açısı ve n: kırınımın seviyesi ve λ : uygulanan X-ışınına ait dalga boyunu ifade eder.



Şekil 3.7. X ışınlarının Kırınımı (Anonim d,2019)

Öncelikle yüksek kalitedeki bir kristale çarpmak suretiyle kırınımına maruz kalan X-ışını demeti daha sonra yönünü örnek kristale çevirir. Her iki kristalin de Bragg açıları eşit olduğu durumda, fazlaca dar görünümlü bir kırınım deseni meydana gelir. Örnek kristalin geniş bir aralıkta yapısal dizilişinin elde edildiği dönme grafiklerini oluşturmak için örnek kristale küçük bir açı (ω) verilerek döndürme gerçekleştirilir. Ardından kırınan demetin şiddetine ait kayıt alınır. Kalitesi yüksek kristal yapıların çok küçük arc-saniyeler genişliğinde pikleri vardır. Söz konusu yöntem daha çok kalın alttaş malzemeler kullanılarak hazırlanmış ince tabaka filmlerde fayda sağlar (Kittel 1996).

Bu çalışmada, X-ışını kırınımı yöntemi PAN Analytical XRD cihazı kullanılarak uygulanmıştır.

XRD (X-ışını Difraktometresi) cihazının görünümü Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. XRD Cihazının Genel Görünümü (Anonim e,2019)

3.3.2. FTIR Spektrometresi

FTIR (Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometresi) ile katı, sıvı ve çözelti şeklindeki organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca biyokimyasal olarak; karbonhidrat, fosfolipit, aminoasit ve proteinlerin yapı analizlerinde belirleyicidir. FTIR özellikle polimer testi, ilaç ve adli analiz için kullanılırken, malzeme bilimleri, kimya ve seramik sektöründe de tekniğin uygulanması neredeyse sınırsızdır ve çok çeşitli organik ve inorganik numunelerin niteliksel ve niceliksel analizlerini sunar (Anonim f 2019).

Bu çalışmada, Nicolet Thermo Scientific İS50 FTIR cihazından yararlanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan FTIR Spektrometre cihazının görünümü Şekil 3.9'da verilmiştir.

Bir adet ışınlanmamış Alq3 organik ince film kaplı Si numune, bir adet 30 kGy dozda ışınlanmış Alq3 organik ince film kaplı Si numune ve 1 adet 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 organik ince film kaplı Si numune olmak üzere toplam 3 adet numune FTIR cihazına sıra ile konularak, ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları 4. bölüm bulgular kısmında değerlendirilmiştir.



Şekil 3.9. FTIR Spektrometresinin Görünümü (Anonim g,2019)

3.4. Elektron Demet Hızlandırıcı

Elektron ve proton benzeri yüklü parçacıkları elektrik alan tesiri ile yüksek hızlara ulaştıran ve manyetik alan etkisi ile demet şeklinde bir araya toplayan cihazlar hızlandırıcı olarak tanımlanır. Hızlandırıcılar yüksek enerji seviyelerinde maddeyi oluşturan birimlerin ve ana etkileşmelerin araştırılmasında başvurulan donanımlardır (Türk Çakır 2013).

Elektron demet hızlandırıcıları, elektron yüklü temel parçacık demetlerini belirlenen kalite ölçüsünde ve ayarlanan enerji seviyelerine hızlandırmak üzere tasarlanmış cihazlardır (Anonim h 2019).

Genel anlamda, parçacık (elektron, proton, pozitron, antiproton, müon v.b.) hızlandırıcıları doğrusal ya da dairesel olarak iki grupta incelenir. Dairesel tip parçacık hızlandırıcılarının mikrotron, betatron, siklotron ve sinkrotron şeklinde farklı türleri vardır. Hızlandırılmış parçacık demetleri çarpışan demet veya sabit hedef deneylerinin

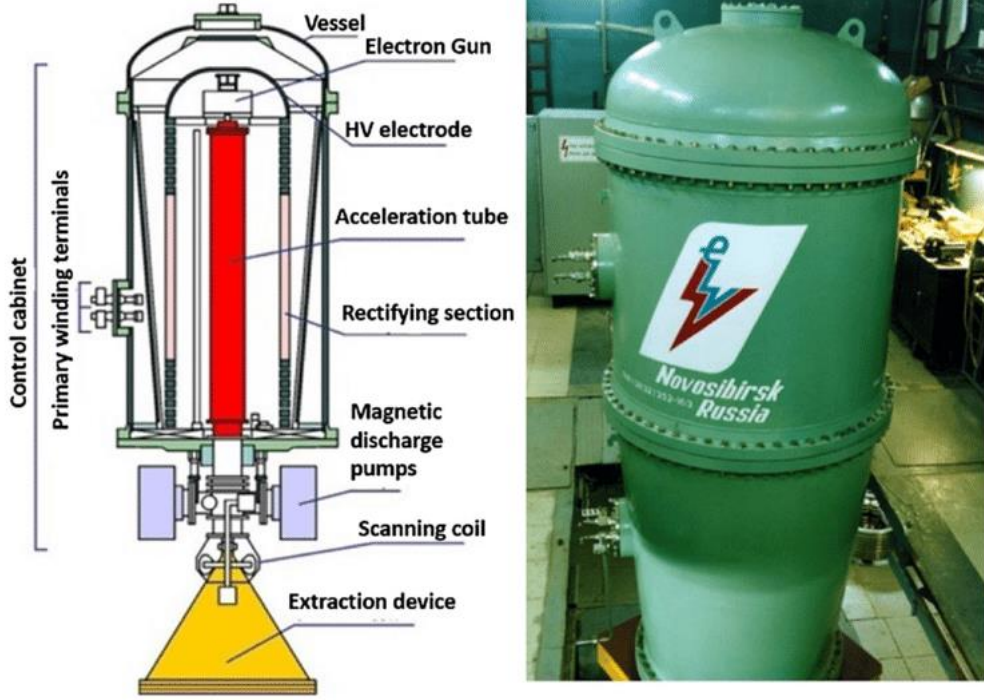
yapılmasında tercih edilmektedir. Söz konusu demetlerin çarpışmaları neticesinde parçacık dedektörleri yardımıyla alınan değerler deneysel neticelerin alınması için analiz yapılmaktadır. İlâveten yüklü parçacık demetlerinin özel olarak tasarlanmış birden fazla kutbu bulunan mıknatıslardan geçişleri sayesinde sinkrotron ışınması ve serbest elektron lazeri şeklinde tabir edilen ışınmalar oluşturularak oldukça geniş bir alanda çalışmalarda ve teknolojide uygulanmaktadır (Anonim h 2019).

Hızlandırıcılar, öncelikle temel kuantum fiziği, nükleer fizik çalışmaları olmak üzere, malzeme ve yüzey fiziği, x-ışınları, nötron terapisi, proton terapisi, iyon implantasyonu, petrol ile gaz yataklarının aranması, çevresel atıkların tehlikeli etkilerinin bertaraf edilmesi, gıdaların sterilize edilmesi, izotop üretimi, nükleer atıkların arındırılması, baca gazlarının temizlenmesi, güç mühendisliği, nanoteknoloji, kristalografi, gen bilimi ve savunma sanayi gibi daha birçok alanda kullanım sahasına sahiptir (Anonim h 2019).

Bu çalışmada, arayüzey tabakası olarak kullanılan Alq3 (toz) organik malzemesinin ışınlamanın etkisiyle yüzey özelliklerinde meydana gelen etkileşim ve değişimlerin diyot parametrelerine etkisinin incelenebilmesi için, numuneler Elektron Demet Hızlandırıcıda 30 kGy ve 100 kGy dozlarına ışınlamaya maruz bırakılmıştır.

Yapılan ışınlama işlemlerinde, Durmazlar Holding bünyesinde bulunan Elektron Demet Hızlandırıcısı kullanılmıştır.

Bir Elektron Demet Hızlandırıcısının şematik gösterimi ve genel görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Bir Elektron Demet Hızlandırıcısının Şematik Gösterimi ve Genel Görünümü (Avilov ve ark. 2015)

3.5. Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

3.5.1. I-V Karakteristikleri Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi

Bölüm 2.6'da açıklanan Termoiyonik emisyon teorisi kullanılarak hesaplanan (J) akım yoğunluğu Eşitlik (3.2)'de verilen şekilde ifade edilir:

$$J = [A^* T^2 (\exp -q\Phi_B / kT)] [\exp(qV / kT) - 1] \quad (3.2)$$

Akım yoğunluğu (J) diyodun etkin alanı (A) ile çarpılarak diyot üzerinden akan akım değeri Eşitlik (3.3)'de verilen formül ($I= A \times J$) ile hesaplanır:

$$I = [A A^* T^2 (\exp -q\Phi_B / kT)] [\exp(qV / kT) - 1] \quad (3.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte $qV \gg kT$ olduğu durumda formüldeki 1 dikkate alınmayabilir. Uygulanan gerilimin tamamının arınma bölgesine düşmediği düşünülürse, ideal diyot durumundan farklılıklar oluşacaktır. Söz konusu farklılıklar idealite faktörü (n) dikkate alındığında akım değeri Eşitlik (3.4)'de verilen formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$I = [A A^* T^2 (\exp -q\Phi_B / kT)] [\exp(qV / nkT) - 1] \quad (3.4)$$

Diyot üzerine düşen V gerilimi, seri direncin etkisiyle IR_s kadar bir gerilim düşümü meydana getireceğinden V- IR_s şeklinde yazılarak Eşitlik (3.5)'deki ifade elde edilir:

$$I = [A A^* T^2 (\exp -q\Phi_B / kT)] [\exp(q(V-IR_s) / nkT) - 1] \quad (3.5)$$

I₀ doyma akım değeri Eşitlik (2.2) kullanılarak yazılır ve eşitlikte Φ_B 'nin çekilerek bulunması için eşitliğin her iki tarafının tabi logaritması alınır, Eşitlik (3.6)'da verilen formül bulunur:

$$\Phi_B = (kT/q) \ln(A A^* T^2 / I_0) \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'da verilen formülde A: diyodun etkin alanı, T: Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık, k: Boltzman sabiti ve A* ise Richardson sabitidir.

İlaveten V > 3kT/q olduğu durumlarda formüldeki 1 dikkate alınmayabilir ve seri direnç (R_s) de dikkate alınmazsa, n: idealite faktörü akım-gerilim eğrisinin düz beslem bölgesinin lineer tarafında eğim bulunarak hesap edilebilir. Bulunan bu eğim değeri Eşitlik (3.7)'de verilen eşitlikte yerine konularak idealite faktörü (n) belirlenir.

$$n = (q / kT) dV / d (\ln I) \quad (3.7)$$

Düz beslem ln I-V grafiğinin lineer bölgesinde grafiğin eğimi kullanılarak elde edilen (n) idealite faktörü, diyodun ideallik oranını belirten bir sabit değer olup, ideal bir diyodun idealite faktörü (n) 1'e eşittir.

3.5.2 Cheung Fonksiyonu Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi

Cheung tarafından 1986 yılında metal yarıiletken kontak yapısının düz beslem I-V karakteristikleri kullanılarak Schottky diyot parametrelerinin hesaplanabilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Eşitlik (2.1)'de V ifadesi yerine $V - IR_S$ ifadesi kullanılarak elde edilen denklemin logaritması alınarak buradan gerilim (V) ifadesi hesaplanmak istendiğinde Eşitlik (3.8) elde edilir:

$$V = IR_S + n\Phi_B + (n kT/q) \ln (I / A A^* T^2) \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.8)'in $\ln I$ 'ya göre diferansiyeli alınırsa Eşitlik (3.9)'da verilen formül bulunur:

$$dV / d(\ln I) = IR_S + (n kT/q) \quad (3.9)$$

Eşitlik (3.9) birinci Cheung fonksiyonu olarak adlandırılır. Yukarıda verilen bu denklemden $dV / d(\ln I) - I$ grafiği çizildiğinde çizilen grafik bir doğruyu gösterecektir. Söz konusu doğru grafiğinde doğrunun eğiminden ve düşey eksenle kesişilen noktadan yola çıkılarak seri direnç (R_S) ve idealite faktörü (n) belirlenir.

Cheung tarafından geliştirilen yöntemde engel yüksekliğinin (Φ_B) belirlenmesi için Eşitlik (3.10) ile verilen ikinci bir eşitlik daha bulunur:

$$H(I) = V - (n kT/q) \ln (I / A A^* T^2) \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'da eşitlik (3.8)'deki V ifadesi yerine konulursa Eşitlik (3.11)'deki denklem elde edilir:

$$H(I) = IR_S + n\Phi_B \quad (3.11)$$

Eşitlik (3.11) ile verilen ifade ikinci Cheung fonksiyonu olarak adlandırılır.

$H(I) - I$ grafiği çizilirse ortaya yine bir doğru çıkacaktır. Söz konusu doğru grafiğinde doğrunun eğiminden ve $H(I)$ eksenine kesişilen noktadan yola çıkılarak seri direnç (R_S) ile engel yüksekliği (Φ_B) hesaplanır.

3.5.3. Norde Fonksiyonu Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi

Schottky bariyer diyodunun seri direnç ve engel yüksekliği parametreleri Norde tarafından geliştirilen Eşitlik (3.12) ile verilen fonksiyon kullanılarak hesaplanabilir:

$$F(V) = (F/\gamma) - kT/q \ln(I/A A^* T^2) \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.12)'de verilen Norde fonksiyonunda; γ : idealite faktöründen büyük bir tam sayı çarpanını ve I akım-gerilim grafiğinden bulunan akımı ifade eder.

$F(V)$ - V grafiği kullanılarak engel yüksekliği Eşitlik (3.13)'de verilen denklemden faydalanarak hesap edilebilir:

$$\Phi_B = F(V_0) + (F/\gamma) - kT/q \quad (3.13)$$

Eşitlik (3.13)'de $F(V_0)$; $F(V)$ - V : Norde Fonksiyonu grafiğinde $F(V)$ 'nin minimum noktasındaki değeri, V_0 ise bu değer karşısına denk düşen gerilim (V) değeridir.

Schottky diyotun seri direnci Norde fonksiyonu kullanılarak Eşitlik (3.14)'de verilen formül ile bulunabilir:

$$R_s = kT(\gamma - n) / q I_0 \quad (3.14)$$

Eşitlik (3.14)'de, I_0 sembolü $F(V)$ - V Norde Fonksiyonu grafiğinde $F(V_0)$ değeri ile bulunan akım değerini ifade eder.

3.5.4. Nss Ara Yüzey Durum Yoğunluklarının Hesap Edilmesi

Metal yarıiletken kontak yapılarında yapıya uygulanan gerilim değerine göre idealite faktörü (n) Eşitlik (3.15)'de ifade edilen şekilde hesaplanır (Card ve ark.1971).

$$n(V) = 1 + \delta / \epsilon_i (\epsilon_s / W_d + q N_{ss}) \quad (3.15)$$

N_{SS} ara yüzey durum yoğunluğu Eşitlik (3.15)'den çekilerek yalnız bırakıldığında, ara yüzey durum yoğunluğu aşağıda verilen Eşitlik (3.16) ile bulunur:

$$N_{SS}(V) = 1/q [\epsilon_i / \delta (n(V)-1) - \epsilon_s / W_d] \quad (3.16)$$

Eşitlik (3.16)'da w deplasyon bölgesinin genişliği, δ arayüzey tabakasının kalınlığı, N_{SS} ara yüzey durum yoğunluğu, ϵ_i arayüzeyin dielektrik sabiti, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir.

N-tipi bir yarıiletkene ait ara yüzey durum yoğunluğu aşağıda verilen Eşitlik (3.17) ile bulunur:

$$E_c - E_{ss} = q (\Phi_{bp} - V) \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.17) 'de E_{ss} : yarıiletkenin yüzeyinde valans bandına ait tepe noktasına denk gelen enerji seviyesini, E_c : İletkenlik bandına ait minimum enerji seviyesini, Φ_{bp} : uygulanan gerilimle birlikte değişim gösteren etkin bariyer yüksekliği değerine karşılık gelir.

3.6. C-V Karakteristikleri Kullanılarak Diyot Parametrelerinin Hesap Edilmesi

Metal yarıiletken kontak yapılarında meydana gelen metal ile yarıiletken arasındaki birleşim bölgesi kondansatör levhaları arasındaki dielektrik tabakaya benzer şekilde, yarıiletkenin yüzeyinde bulunan uzay yükleri ile metalin yüzeyinde bulunan yükler nedeniyle kondansatör özelliği gösterir.

Metal yarıiletken kontaklara ait kapasite değerleri uygulanan gerilime göre değişiklik göstermektedir. Kontak yapılarının kapasite değerleri yapıya uygulanan gerilim ve gerilimin frekansına bağlı olarak bir değer alır. Bu özellikleri sayesinde metal yarıiletken kontak yapılarının bir kısım elektronik devrelerinde değeri değiştirilebilen kapasiteye sahip kondansatör şeklinde kullanımı mümkün olmaktadır.

Metal yarıiletken kontak yapısına ait kapasite (kondansatör sığası) Eşitlik (3.18)'de verilen denklem ile gösterilir. Burada, kontak kapasitesi Q yükünün kontak üzerine düşen gerilime bağlı olarak değişimi şeklinde de ifade edilebilir:

$$C = (dQ / dV) = [(\epsilon_s \epsilon_0 q N_D) / 2 (V_d+V)]^{1/2} \quad (3.18)$$

Eşitlik (3.19)'a diyodun etkin kontak alanı A ve kT/q ifadesi eklendiğinde kontak kapasitesi eşitliğinin yeni durumu Eşitlik (3.19)'de verilen hale dönüşür:

$$1/ C^2 = [2 (V_d -kq/T +V) / (\epsilon_s \epsilon_0 q N_D A^2)] \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19)'de kT/q ifadesi çok küçük bir değer aldığından ihmal edildiğinde Eşitlik (3.20) elde edilir:

$$1/ C^2 = [2 (V_d +V) / (\epsilon_s \epsilon_0 q N_D A^2)] \quad (3.20)$$

Kontak kapasitesini veren Eşitlik (3.20)'nin grafiği incelendiğinde C^{-2} -V grafiğinin lineer olduğu görülecektir. Söz konusu grafikte C^{-2} 'nin sıfıra eşit olduğu durumda V eksenine kesişilen nokta difüzyon gerilimine (V_d) karşılık gelir.

Kontak yapısının bariyer yüksekliği (Φ_B) Eşitlik (3.21)'de verilen şekilde ifade edilir:

$$\Phi_B = E_f + V_d \quad (3.21)$$

Eşitlik (3.21)'de E_f ifadesi, üzerine bir gerilim uygulanan Schottky bariyerinde, Fermi enerji seviyesi ile yarıiletkenine ait iletkenlik bandının en yüksek tepesi arasında oluşan fark değeridir. E_f 'nin değeri Eşitlik (3.22)'de verilen şekilde hesaplanır (Sze,1981).

$$E_f = (kT / q) \ln(N_C / N_D) \quad (3.22)$$

Burada N_C değeri (Si için oda sıcaklığında $2,82 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) Eşitlik (3.23) 'den bulunur:

$$N_C = 2 (\pi m_e^* kT / h^2)^{3/2} \quad (3.23)$$

Eşitlik (3.23)'de verilen N_C , Silisyum elementinin iletkenlik bandına ait etkin durumların yoğunluğudur, m_e^* değeri $0,19 m_0$ 'a eşittir ve m_0 ise boşluğa ait etkin kütedir (Sze,1981).

Taşıyıcı (donör) yoğunluğu N_D , C^{-2} - V grafiği kullanılarak eğimin bulunması yöntemiyle aşağıda verilen Eşitlik (3.24)'den hesaplanabilir:

$$N_D = (2 / q \epsilon_s \epsilon_0 A^2) dV/d (C^{-2}) \quad (3.24)$$

ya da $dV/d (C^{-2})$ ifadesi yerine $\tan\Theta$ konularak Eşitlik (3.25) yazılabilir:

$$N_D = 2 / q \epsilon_s \epsilon_0 A^2 \tan\Theta \quad (3.25)$$

Deplasyon bölgesinin genişliği W_d ise aşağıda verilen Eşitlik (3.26)'den faydalanılarak bulunabilir:

$$W_d = [2 \epsilon_0 \epsilon_s / q N_D (V_d + V)]^{1/2} \quad (3.26)$$

C - V ölçümleri kullanılarak seri direncin hesaplanmasında, C (kapasitans) kondansatör sığası ve G ($1/\omega C$) kondüktans olmak üzere Eşitlik (3.27)'de verilen denklemden yararlanılabilir:

$$R_s = G / [G^2 + (\omega C)^2] \quad (3.27)$$

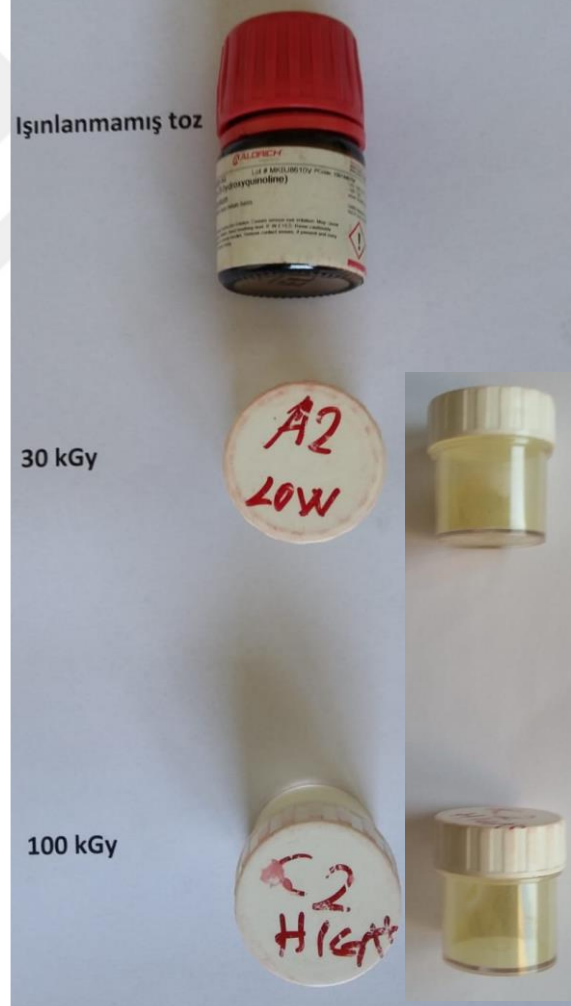
Eşitlik (3.27)'de ω ($2\pi f$) ifadesi açısal hızı ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

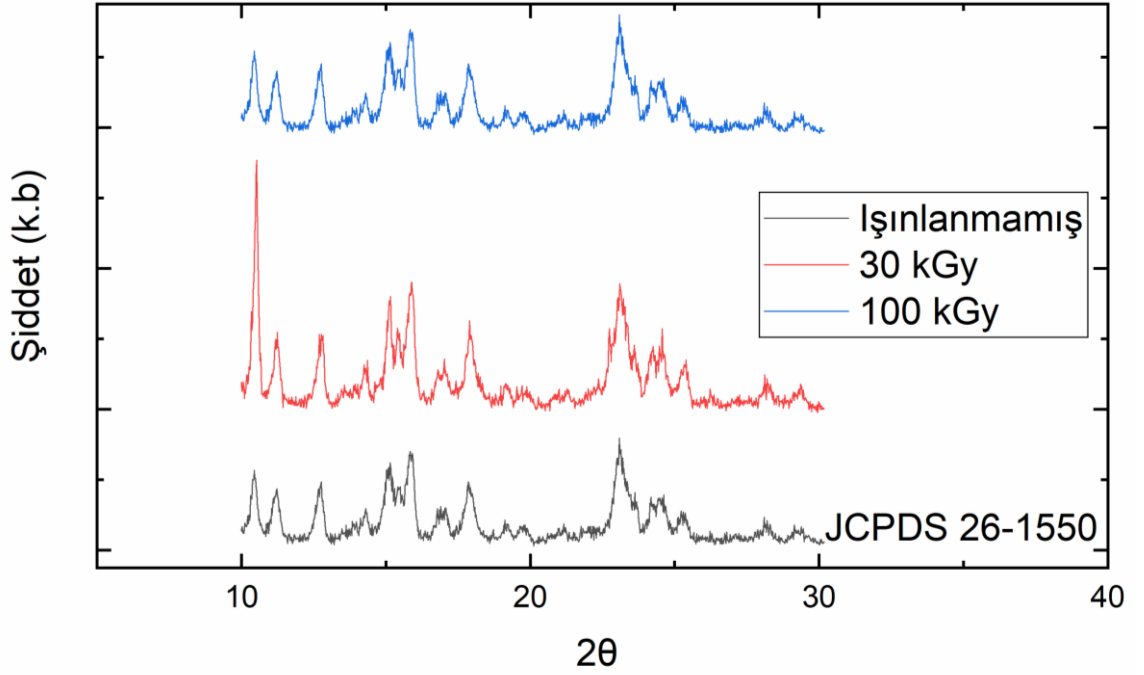
4.1. Alq3 arayüzey tabakasının yapısal özelliklerinin incelenmesi

4.1.1. Alq3 tozlarının XRD analizi

Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 toz (powder) numunelerine ait resimler Şekil 4.1’de görülmektedir. Farklı dozlarda (30 kGy ve 100 kGy) ışınlanmış ve ışınlanmamış diyot numunelerine ait X-Işını Kırınım grafikleri Şekil 4.2’de verilmiştir. E-Demet ışınlama sonrası Alq3 organik malzemesinin karakteristik piklerinde bozulma olmadığı görülmüş ve 30 kGy dozda ışınlanan Alq3 tozunun en iyi kristal yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Tüm Alq3 tozlarının ışınlamadan sonra yapısının bozulmadığı görülmüş olup sonuçların JCPDS 26-1550 kodlu kristal veritabanı ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Cole ve ark.2003).



Şekil 4.1. Alq3 toz numunelerinin fotoğrafı (Sırasıyla Işınlanmamış, 30 kGy dozunda ışınlanmış ve 100 kGy dozunda ışınlanmış)



Şekil 4.2. Işınlanmamış, 30 kGy dozunda ve 100 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 toz numunelerinin X-Işını Kırınım Grafikleri

4.1.2. Alq3 ince filmlerinin FTIR analizi

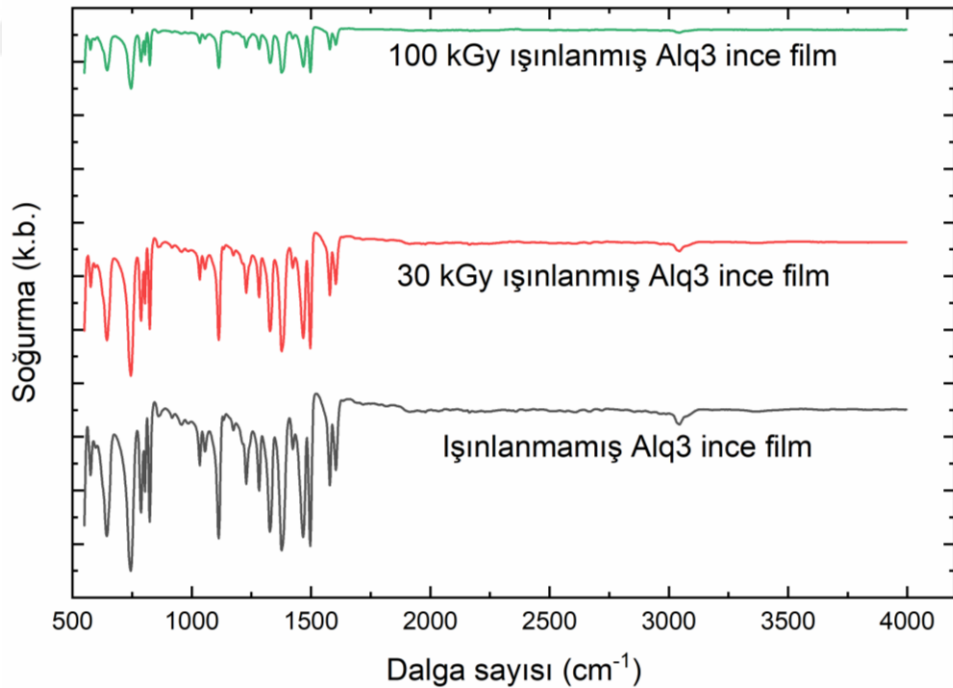
Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 tozların buharlaştırılmasıyla elde edilen ince filmlere ait FTIR spektrumları Şekil 4.3'de verilmiştir.

Şekil 4.3'de verilen ışınlanmamış (yani referans ya da diğer bir deyişle 0 kGy dozunda ışınlanmış) numuneye ait 500 cm^{-1} ile 4000 cm^{-1} aralığında FTIR spektrumu incelendiğinde, $549,68\text{ cm}^{-1}$, $576,68\text{ cm}^{-1}$ ve $644,18\text{ cm}^{-1}$ 'de Al-O germe titreşimleri, $1033,78\text{ cm}^{-1}$, $1112,86\text{ cm}^{-1}$, $1282,58\text{ cm}^{-1}$, $1326,94\text{ cm}^{-1}$ ve $1467,74\text{ cm}^{-1}$ 'de C-O germe titreşimleri, $742,44\text{ cm}^{-1}$, $1467,79\text{ cm}^{-1}$, $1496,67\text{ cm}^{-1}$ ve $1604,68\text{ cm}^{-1}$ 'de C-C germe titreşimleri, $1579,60\text{ cm}^{-1}$ 'de C-N germe titreşimleri, $1228,58\text{ cm}^{-1}$ ve $1377,09\text{ cm}^{-1}$ 'de N-C-H bükülme titreşimleri, $804,26\text{ cm}^{-1}$ ve $742,44\text{ cm}^{-1}$ 'de C-C-C bükülme titreşimleri ve $823,55\text{ cm}^{-1}$ ile $786,91\text{ cm}^{-1}$ 'de C atomunun piramidalizasyon modu sebebiyle meydana gelen tepeler (pikler) net olarak görülmektedir. Okunan bu değerler, literatürde saf Alq3 organik malzemesinin FTIR spektrumlarının ele alındığı çalışmalar ile karşılaştırıldığında, benzer şekilde karakteristik kirlilik tepeleri (pikleri) görülmemiştir

bu yüzden ışınlanmamış (saf) numuneden alınan değerler daha önce yapılan çalışmalar ile örtüşmektedir (Cui ve ark. 2013, Shahedi ve ark. 2016, Fatima ve ark. 2017).

Şekil 4.3'de verilen 30 kGy dozda ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunesine ait 500 cm⁻¹ ile 4000 cm⁻¹ aralığında FTIR spektrumu incelendiğinde, elde edilen tepe değerlerinin Şekil 4.3'de verilen ışınlanmamış numuneye ait FTIR spektrumunda elde edilen değerlerden ayırt edici derecede belirgin farklılık göstermediği, benzer şekilde olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.3'de verilen 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 ince filmlerine ait 500 cm⁻¹ ile 4000 cm⁻¹ aralığında FTIR spektrumu incelendiğinde, Şekil 4.3'de verilen ışınlanmamış numuneye ait FTIR spektrumunda elde edilen tepe değerleri ile yapılan karşılaştırma sonucunda 823,55 cm⁻¹ ile 1033,78 cm⁻¹ aralığında tepeler arasında gözle anlaşılır şekilde farklar oluştuğu, 1174,57 cm⁻¹'deki tepenin kayıp olduğu ve 1604-68 cm⁻¹ ile 3043.49 cm⁻¹ aralığında tepeler arasında belirgin farklılıklar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.3. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 ince film numunelerinin FTIR spektrumları

100 kGy dozunda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyot numunesinin FTIR spektrumunda meydana gelen farklılıkların ışınlamanın etkisiyle meydana geldiği söylenebilir. Diğer yandan 30 kGy dozunda ışınlanmış ara yüzey tabakalı diyot numunesinin spektrumunda çok önemli farklılıklar bulunmaması nedeniyle 100 kGy dozunda ışınlamada oluşan farklılık durumu dozun artırılmasına yani ışınlama dozunun şiddetine bağlanabilir.

FTIR spektrumunda elde edilen bu farklılıkların ışınlamanın etkisiyle arayüzey tabakasında meydana gelen değişimler nedeniyle oluştuğu, bunun da malzemenin optik özelliklerine yansıdığı tespit edilmiştir.

4.2 I-V Ölçümleri ile Belirlenen Diyot Parametreleri

4.2.1. Klasik yöntemle belirlenen Diyot Parametreleri

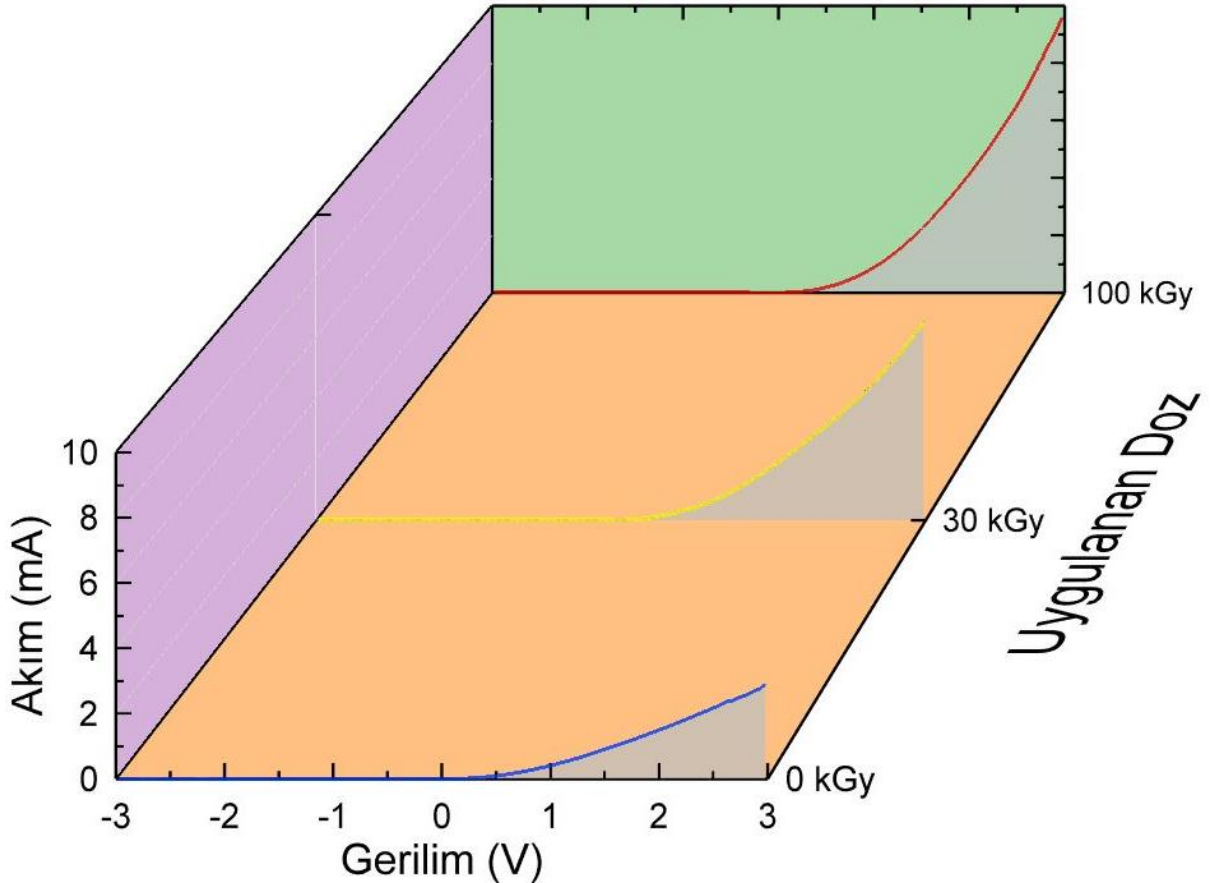
Bu çalışmada I-V ölçümleri Keithley 2400 (SourceMeter) akım-gerilim ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Keithley 2400 akım-gerilim ölçüm cihazının genel görünümü Şekil 4.4'de verilmiştir.



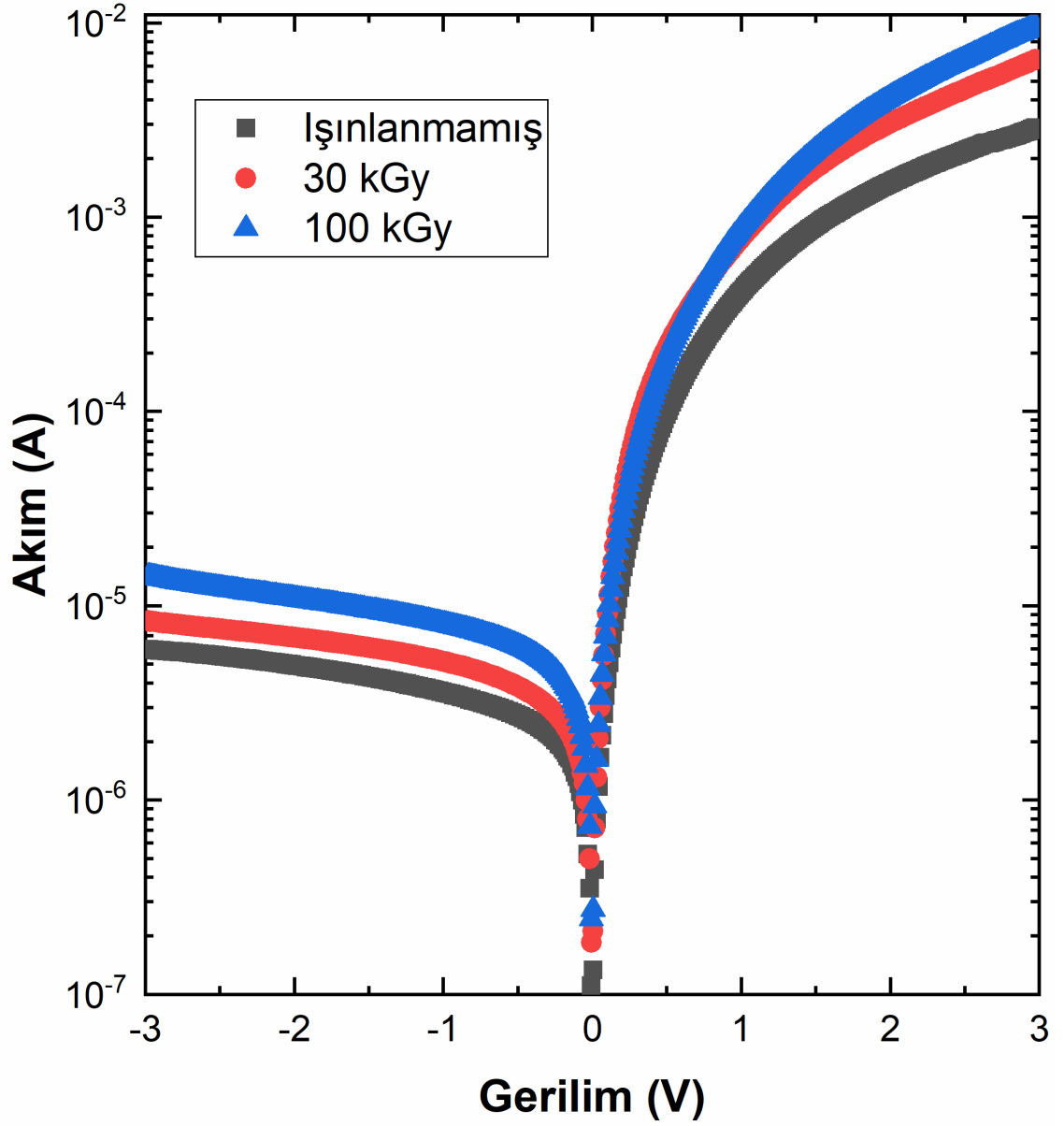
Şekil 4.4. Keithley 2400 akım-gerilim karakterizasyon cihazı (Anonim i,2019).

Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Al/Alq3/n-Si/Al Schottky diyotların -3 Volt ile +3 Volt arasında düz ve ters beslem akım-gerilim grafikleri Şekil 4.5’de uygulanan doza göre üç boyutlu olarak verilmiştir. Şekil 4.6’da ise hazırlanan Au/Alq3/n-Si diyotların yarı logaritmik akım-gerilim (LnI-V) grafiği verilmiştir. Şekil 4.5 ve 4.6’ya bakıldığında ışınlama dozu ile ters ve düz beslem I-V eğrilerinin ciddi olarak etkilendiği gözlenmiştir.

Şekil 4.6'da verilen LnI-V eğrilerinin düz beslem bölgesinin linear tarafında eğim bulunarak idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B), doyma akımı (I_0) elde edilebilir. Bu linear tarafa eşitlenerek bulunan eğim değeri 3.5.1'inci bölümde verilen Eşitlik (3.7)'de yerine konularak idealite faktörü (n) sırasıyla ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyotlar için 1,73, 1,50 ve 1,78 olarak belirlenmiştir. Doyma akımları, Şekil 4.6'dan düz beslem akım-gerilim karakteristiğinin linear kısmının $V=0$ için akım eksenini kestiği nokta bulunarak sırasıyla ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyotlar için $4,79 \times 10^{-7}$ A, $7,30 \times 10^{-7}$ A ve $1,02 \times 10^{-6}$ A olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Çizelge 4.1'de verilmektedir. 3.5.1'inci bölümde verilen Eşitlik (3.6) kullanılarak Φ_B değerleri yine sırasıyla ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyotlar için 0,63 eV, 0,62 eV ve 0,61 eV olarak belirlenmiştir.



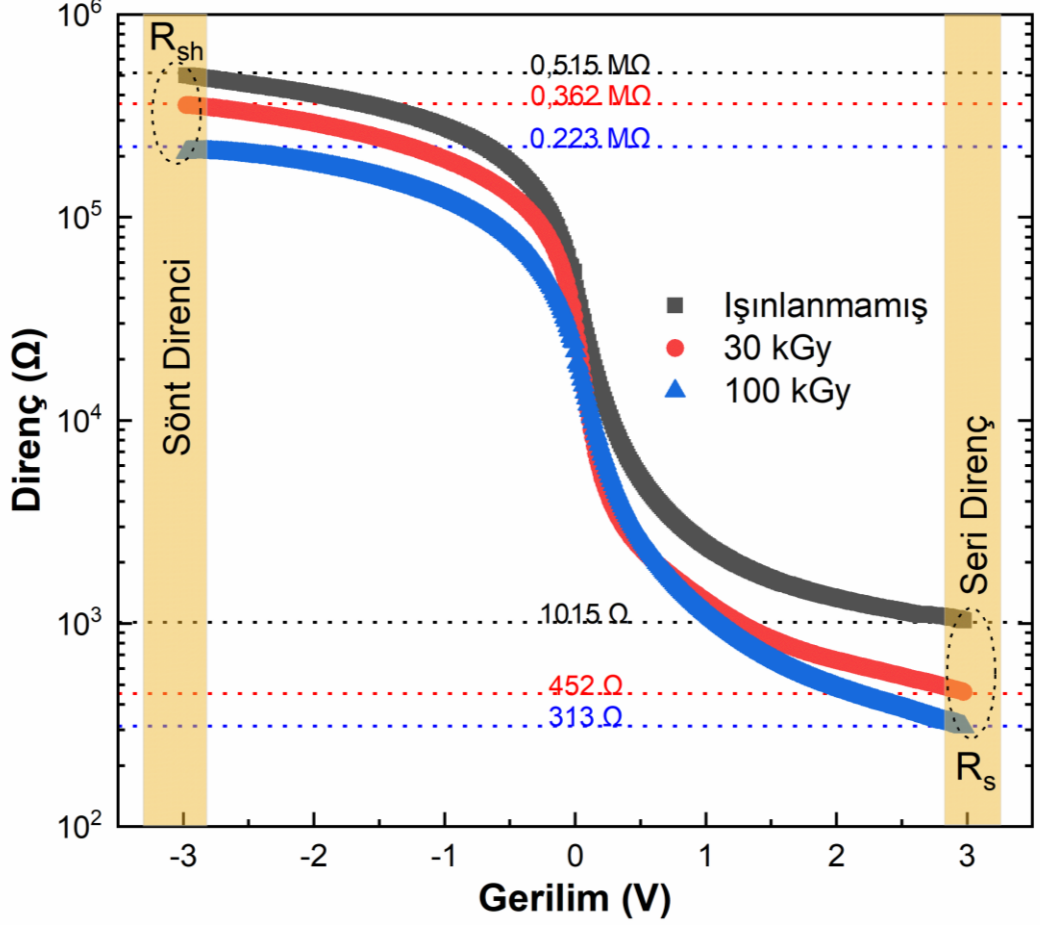
Şekil 4.5. Uygulanan doza göre ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin 3 boyutlu çizilen ters ve düz beslem akım-gerilim grafikleri



Şekil 4.6. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin ters ve düz beslem yarı logaritmik akım-gerilim grafikleri

Şekil 4.7’de Ohm kanununa göre hesaplanan diyot iç direnci (R_i) verilmiştir. Grafiğe göre -3 V’da şönt dirençleri artan ışınlama dozuna göre sırasıyla 0,515 M Ω , 0,362 M Ω ve 0,223 M Ω olarak bulunmuştur. Bu davranış literatürdeki ışınlanmış aygıtların sonuçları ile uyumludur. +3V’da hesaplanan seri dirençler ise literatürün aksine artan ışınlama dozu ile sırasıyla 1015 Ω , 452 Ω ve 313 Ω olarak elde edilmiştir. Bu durum ışınlanan Alq3

tozlarından elde edilen arayüzey tabakalarının diyotta ışınlanmamış olana göre daha düşük seri direnç göstermesine atfedilebilir.



Şekil 4.7. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin ters ve düz beslemde direnç-gerilim grafikleri

I-V karakteristikleri kullanılarak elde edilen doyma akımları, idealite faktörleri, engel yükseklik değerleri, seri ve şönt(paralel) direnç değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. I-V Karakteristiklerinden elde edilen diyot parametreleri

Diyot Parametreleri	0 kGy (Işınlanmamış)	30 kGy (Işınlanmış)	100 kGy (Işınlanmış)
n	1,73	1,50	1,78
I_o (A)	4,80E-07	7,30E-07	1,02E-06
Φ_B (eV)	0,636	0,625	0,616
R_s (Ω)	1015	452	313
R_{sh} (MΩ)	0,515	0,362	0,223

4.2.2. Norde Fonksiyonu ile Belirlenen Diyot Parametreleri

Bölüm 3.5.3'de verilen Norde Fonsiyonu eşitliklerinden, Eşitlik (3.13)'den faydalanılarak (Φ_B) engel yüksekliği ve Eşitlik (3.14)'den faydalanılarak (R_s) seri direnç değerleri bulunmuştur.

Buna göre; ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 ara yüzey tabakalı diyotların (Φ_B) engel yükseklikleri sırasıyla 0,69 eV, 0,68 eV ve 0,66 eV'dur. Bu sonuçlar LnI-V grafiğinden hesaplanan yöntemin sonuçlarından bir miktar yüksek olmakla birlikte artan ışınlama dozu ile engel yüksekliği azalmaktadır. Bu durum Norde fonksiyonlarının geniş voltaj aralığında (0-3 V arasında) bir değer vermesi ile açıklanabilir.

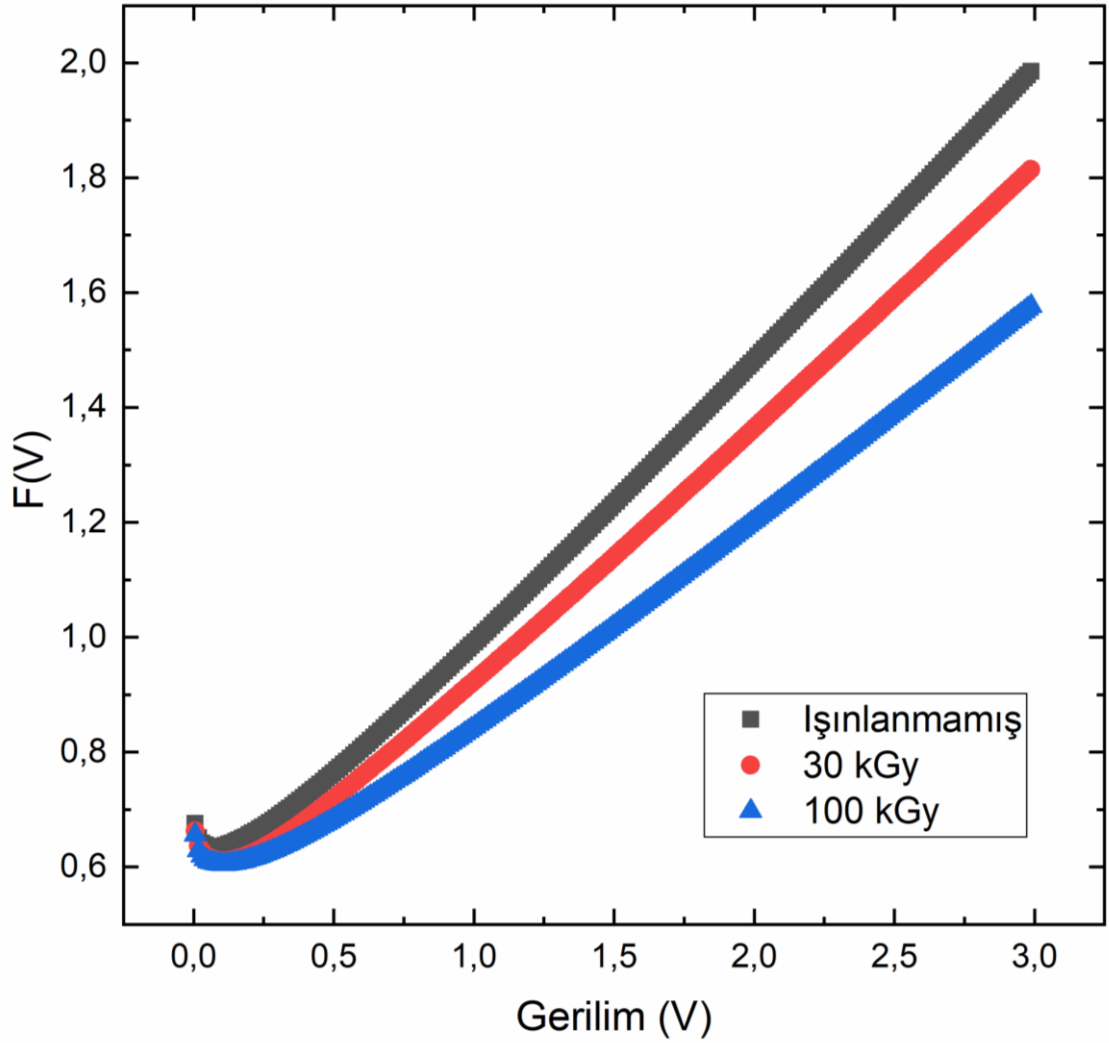
Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 ara yüzey tabakalı diyotların bulunan (R_s) seri dirençleri ise sırasıyla 945,75 Ω, 284,45 Ω ve 429,26 Ω 'dur. -3 Volt ile + 3 Volt arasında (ters ve düz beslemde) yapılan ölçümlerde uygulanan gerilimin şiddetine göre ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 ara yüzey tabakalı diyotların dirençlerinin değişimleri Şekil 4.7'de verilen grafiklerde görülmektedir.

Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Al/Alq3/n-Si/Al Schottky diyotların F(V)-V Norde Fonksiyonu grafikleri Şekil 4.8'de verilmiştir.

Norde fonksiyonu kullanılarak elde edilen seri dirençlerin ve engel yüksekliklerinin değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Norde Fonksiyonu kullanılarak elde edilen diyot parametreleri

Diyot Parametreleri	0 kGy (Işınlanmamış)	30 kGy (Işınlanmıştır)	100 kGy (Işınlanmıştır)
Φ_B (eV)	0,692	0,688	0,665
R_s (Ω)	945,753	284,451	429,262

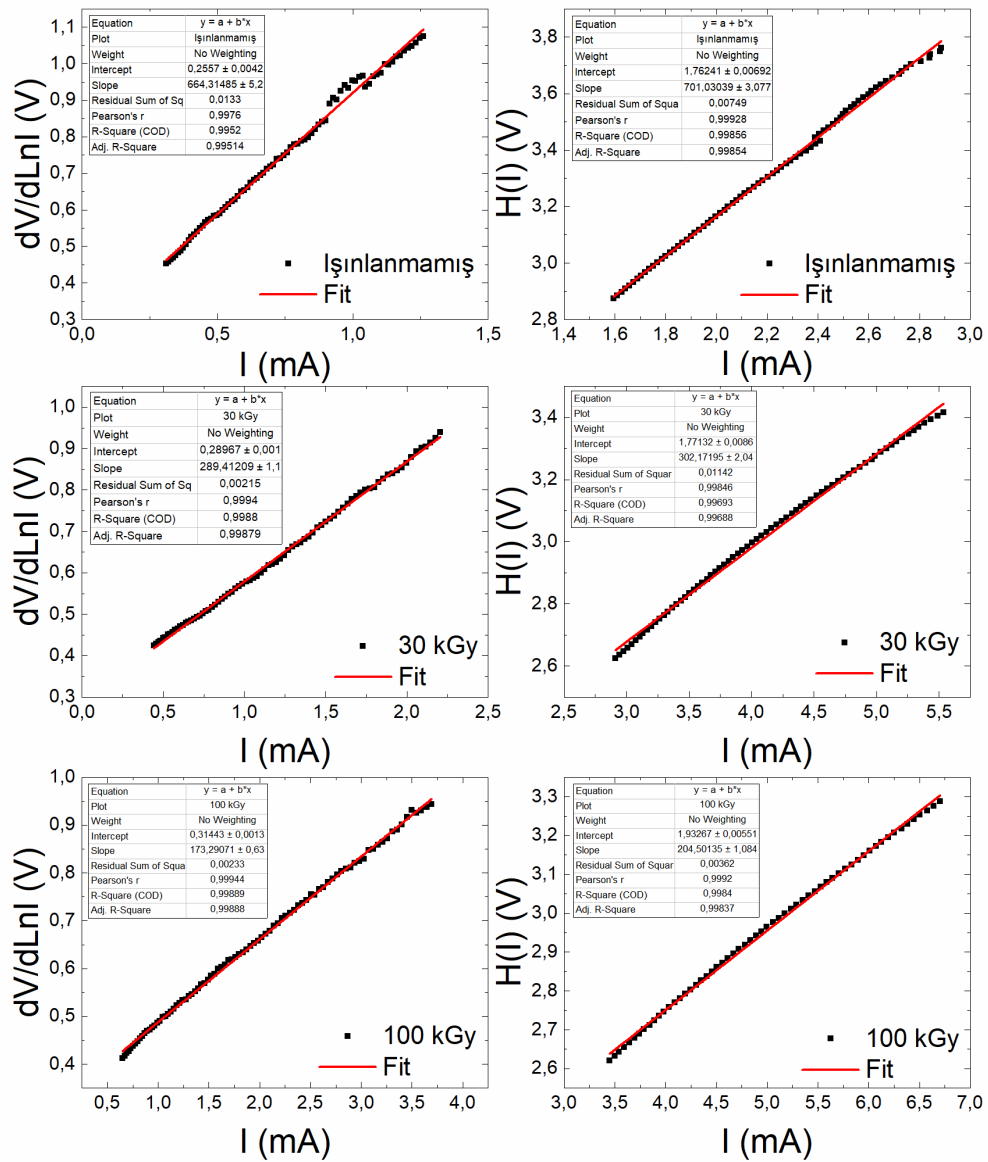


Şekil 4.8. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin F(V)-V grafikleri

4.2.3. Cheung Fonksiyonları ile Belirlenen Diyot Parametreleri

Şekil 4.9'da verilen ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot yapıları için Cheung fonksiyonları kullanılarak çizilen $dV / d\ln I$

ve $H(I)$ grafikleri birer lineer doğruyu göstermektedir. Bu doğrunun eğiminden seri direnç (R_s) hesaplanmıştır. Buna göre ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 ara yüzey tabakalı diyotların (R_s) seri dirençleri, birinci Cheung fonksiyonu ($dV/d\ln I$) kullanılarak sırasıyla 664,31 Ω , 289,41 Ω ve 173,29 Ω ve ikinci Cheung fonksiyonu ($H(I)$) kullanılarak sırasıyla 701,03 Ω , 302,17 Ω ve 204,5 Ω olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar yine önceki hesaplanan değerler ile uyumludur. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı Al/Alq3/n-Si/Al Schottky diyotların $dV/d\ln I$ ve $H(I)$ grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Cheung fonksiyonu grafikleri

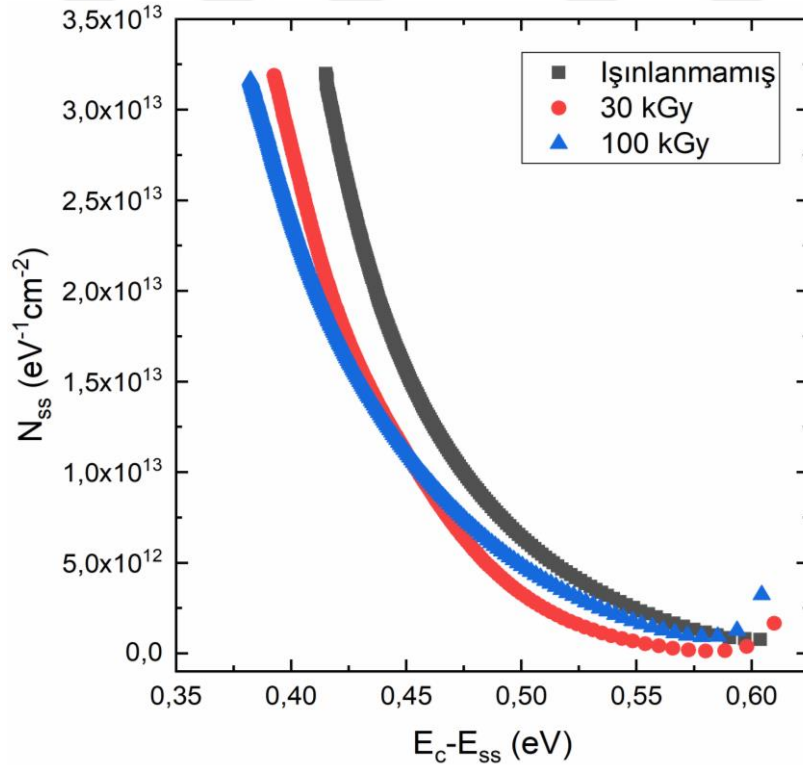
Cheung fonksiyonu kullanılarak elde edilen seri dirençlerin (R_s) değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Cheung Fonksiyonları kullanılarak elde edilen diyot parametreleri

R_s (Ω)	0 kGy (Işınlanmamış)	30 kGy (Işınlanmış)	100 kGy (Işınlanmış)
$dV/dLnI$	664,31	289,41	173,29
$H(I)$	701,03	302,17	204,5

4.2.4. Diyot Numunelerinin Hesaplanan N_{ss} Ara Yüzey Durum Yoğunlukları

Diyotların seri direncini etkileyen önemli parametrelerden birisi de arayüzey durumlarının yoğunluğudur. Bölüm 3.6'da denklemleri verilen N_{ss} ara yüzey durum yoğunluklarının, yasak enerji bandındaki dağılımını gösteren ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 ara yüzey tabakalı diyot numunelerine ait eğriler Şekil 4.10'da verilmiştir. Burada Alq3 arayüzey tabakası kullanılarak geleneksel metal/yarıiletken diyotlarla kıyaslandığında E_F seviyesine doğru azalarak N_{ss} yoğunluğunun $< 5 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebesine indirildiği gözlenmiştir.

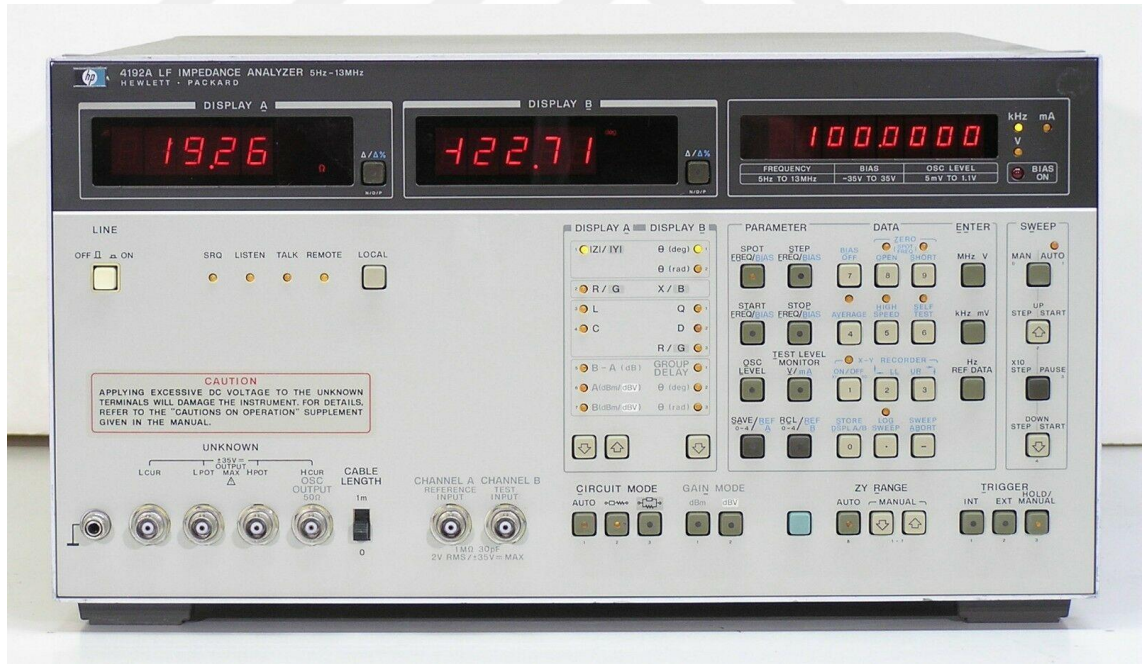


Şekil 4.10. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin N_{ss} - (E_C-E_{ss}) grafikleri

Şekil 4.10 incelendiğinde, ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyotların ara yüzey durum yoğunluklarının iletkenlik bandı enerji seviyelerine göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Arayüzey durumlarının yoğunluğu iletkenlik bandından Fermi enerji seviyesine doğru azalmaktadır. Işınlanmamış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunesine ait ara yüzey durum yoğunluğunun en büyük, 30 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunesine ait ara yüzey durum yoğunluğunun en küçük, 100 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunesine ait ara yüzey durum yoğunluğunun ise diğer numunelerin arasında bir değer aldığı tespit edilmiştir. Işınlama ile numunelerin seri dirençlerinde oluşan değişimler göz önüne alındığında bu durumun elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3. C-V Ölçümleri ile Belirlenen Diyot Parametreleri

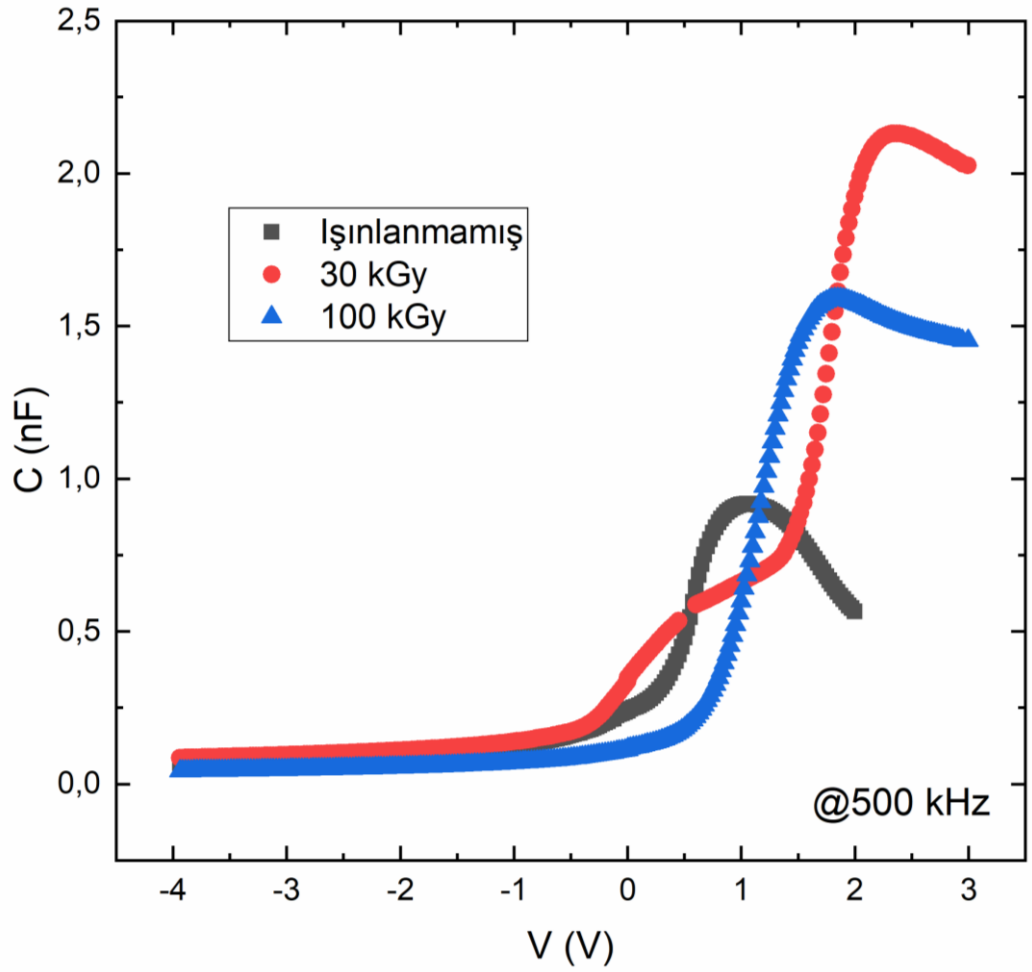
Bu çalışmada Kapasite-Gerilim (C-V) ve Kondüktans-Gerilim ($G/\omega - V$) ölçümleri HP 4192A LF empedans analizörü kullanılarak yapılmıştır. HP 4192A LF empedans analizörünün genel görünümü Şekil 4.11'de verilmiştir.



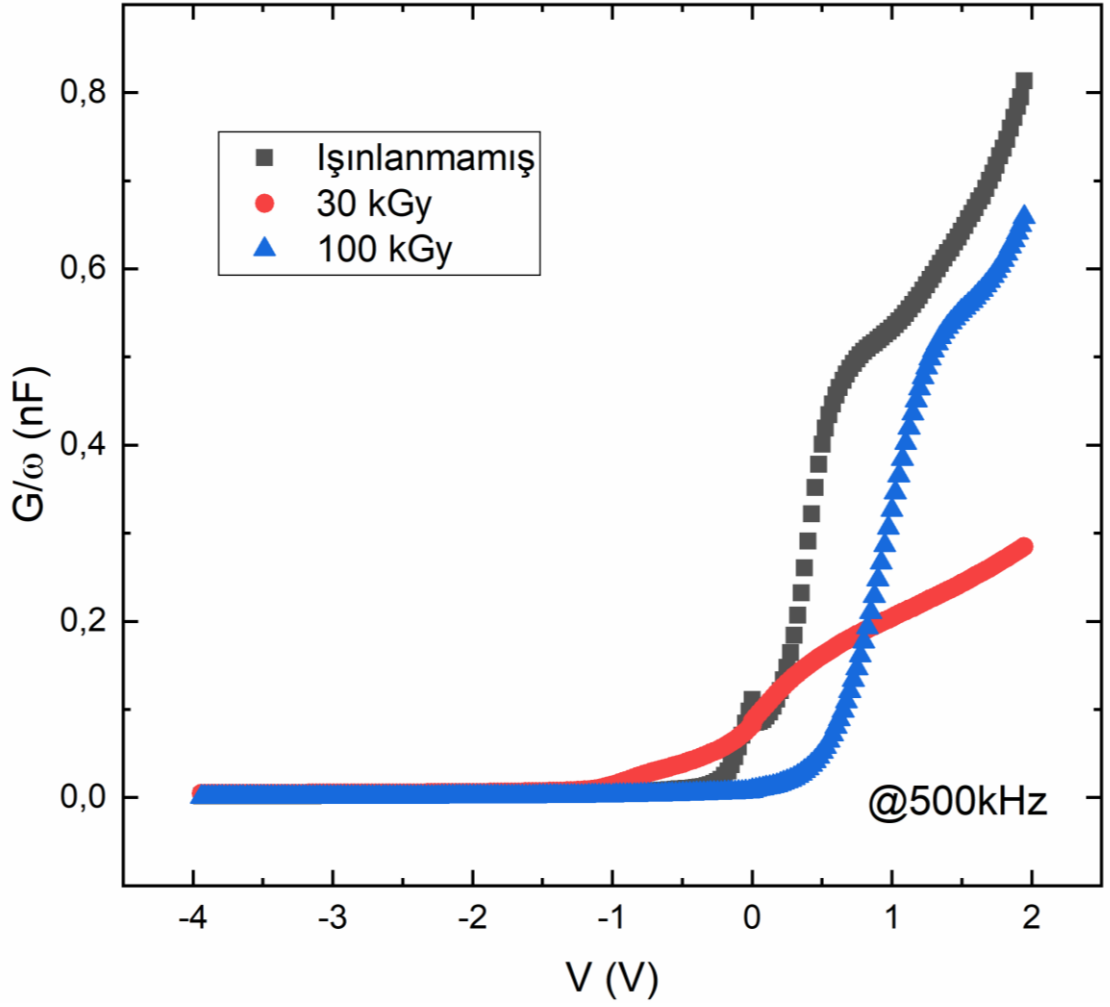
Şekil 4.11. HP 4192A LF Empedans Analizörünün Genel Görünümü (Anonim j,2019)

Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin ter ve düz beslemede C-V ölçümleri 500 kHz frekansında ve oda sıcaklığında (300 °K) gerçekleştirilmiştir.

Diyot numunelerinin C-V ölçümleri -4 Volt ile +3 Volt arasında yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen kapasite-gerilim ve kondüktans-gerilim grafikleri Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere 30 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotun kapasitesinin 2,3 V civarında 2,1 nF mertebesinde bir pik verdiği gözlenmiştir. Işınlanmamış Alq3 arayüzey tabakalı diyotun en düşük kapasiteye sahip olduğu ve 1 V civarında 0,8 nF’lık bir kapasiteye sahip olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.13’de ise $G/\omega - V$ eğrileri verilmiş olup, ışınlanmamış arayüzey tabakalı diyotun en büyük kondüktans eğrisine sahip olduğu gözlenmiştir.

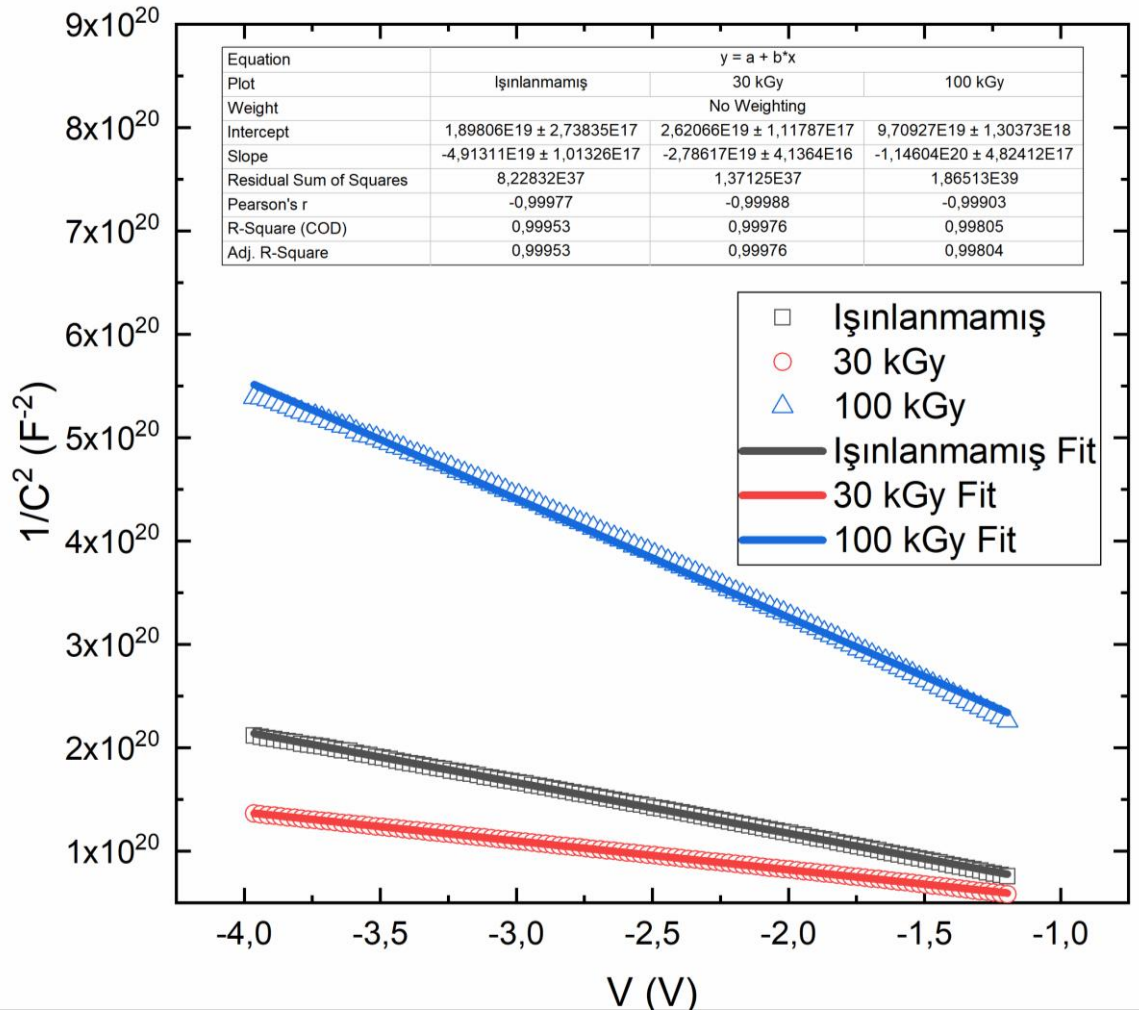


Şekil 4.12. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Kapasite-Gerilim Grafikleri



Şekil 4.13. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin Kondüktans-Gerilim Grafikleri

Diyot numunelerinin ters beslem durumundaki $C^{-2}-V$ grafikleri Şekil 4.14'de verilmiştir. $C^{-2}-V$ grafiğinde yatay eksen ile kesişilen noktadan ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin difüzyon gerilmi V_d , sırasıyla 0,38 Volt, 0,94 Volt ve 0,84 Volt olarak bulunmuştur. Bariyer yüksekleri (Φ_B) ise Eşitlik (3.22) kullanılarak sırasıyla 0,60 eV, 1,15 eV ve 1,09 eV olarak hesaplanmıştır.



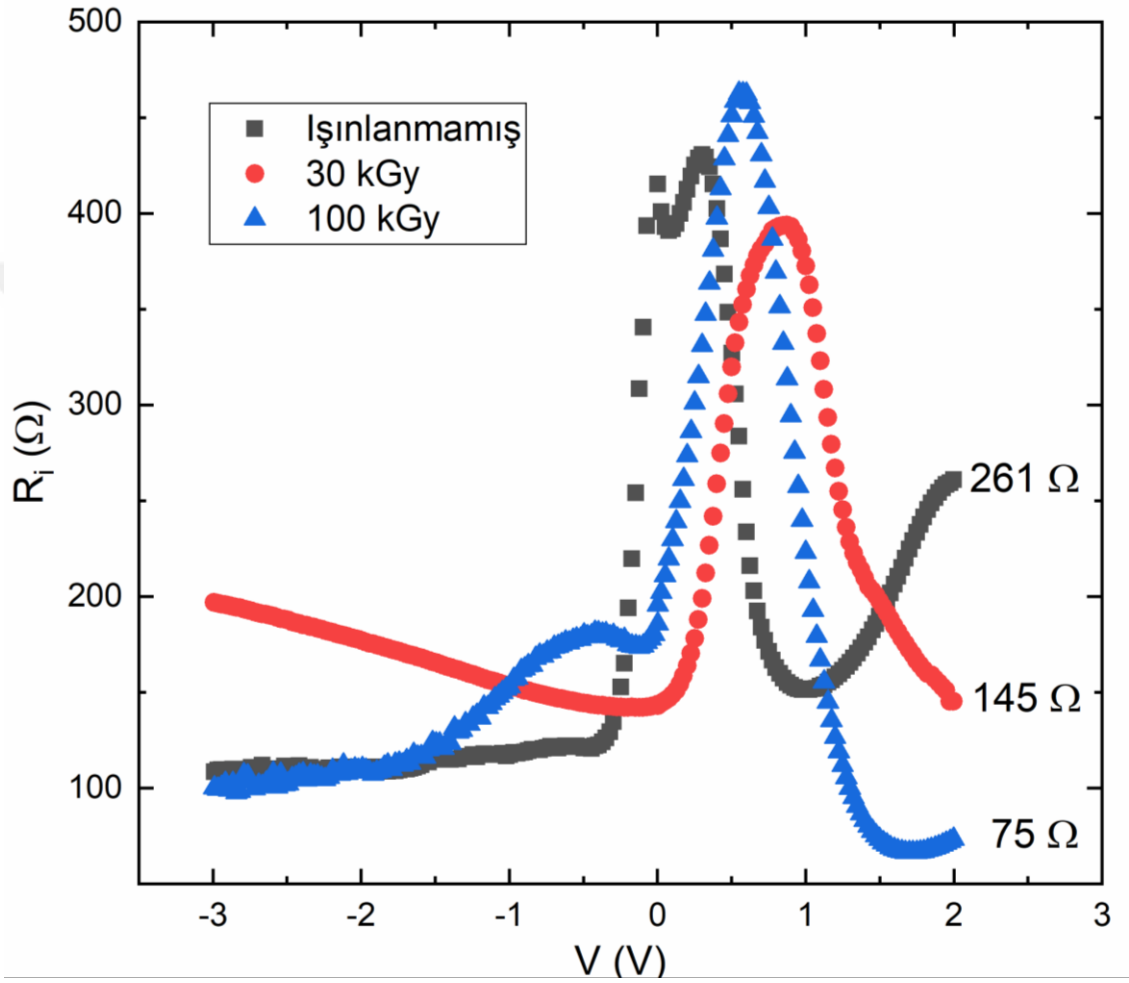
Şekil 4.14. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin C^{-2} -V (Kapasite-Gerilim) Grafikleri

C^{-2} -V grafiğinden bulunan değerler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. C^{-2} -V grafiğinden elde edilen diyot parametreleri

Diyot Parametreleri	0 kGy (Işınlanmamış)	30 kGy (Işınlanmış)	100 kGy (Işınlanmış)
V_d (eV)	0,387	0,946	0,847
Φ_B (eV)	0,609	1,153	1,090
N_D (cm ⁻³)	3,96E+15	6,96E+15	1,69E+15
W_d (m)	5,73E-05	4,32E-05	8,78E-05
E_f (eV)	0,222	0,208	0,243

Işınlanmamış (referans), 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerine ait C ve G/ω 'den hesaplanan R_i -V grafikleri Şekil 4.15'de verilmiştir. Elde edilen R_i grafiklerinin 2 V'taki direnç değerlerinden R_s hesaplanmış olup artan ışınlama dozu ile sırasıyla R_s 'nin 261 Ω , 145 Ω , 75 Ω olarak azaldığı ve bu sonuçların I-V karakteristiklerinden hesaplanan sonuçlar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.15. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 arayüzey tabakalı diyot numunelerinin C ve G/ω den hesaplanan R_i -V (Direnç-Gerilim) grafikleri

Bu tez kapsamında farklı yöntemler kullanılarak elde edilen tüm diyot parametrelerinin görülebileceği kıyaslama tablosu Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Farklı yöntemlerle elde edilen diyot parametreleri

Diyot Parametresi	Diyot Numunesi	Kullanılan Yöntem				
		I-V	F(V)	dV/ dLnI	H (I)	C-V
Φ_B (eV)	0 kGy	0,636	0,692	-	-	0,609
	30 kGy	0,625	0,688	-	-	1,153
	100 kGy	0,616	0,665	-	-	1,090
Rs (Ω)	0 kGy	1015	945,753	664,31	701,03	261
	30 kGy	452	284,451	289,41	302,17	145
	100 kGy	313	429,262	173,29	204,5	75
n	0 kGy	1,73	-	-	-	-
	30 kGy	1,50	-	-	-	-
	100 kGy	1,78	-	-	-	-
Io (A)	0 kGy	4,80E-07	-	-	-	-
	30 kGy	7,30E-07	-	-	-	-
	100 kGy	1,02E-06	-	-	-	-
Rsh (M Ω)	0 kGy	0,515	-	-	-	-
	30 kGy	0,362	-	-	-	-
	100 kGy	0,223	-	-	-	-
Va (eV)	0 kGy	-	-	-	-	0,387
	30 kGy	-	-	-	-	0,946
	100 kGy	-	-	-	-	0,847
Nd (cm ⁻³)	0 kGy	-	-	-	-	3,96E+15
	30 kGy	-	-	-	-	6,96E+15
	100 kGy	-	-	-	-	1,69E+15
Wa (m)	0 kGy	-	-	-	-	5,73E-05
	30 kGy	-	-	-	-	4,32E-05
	100 kGy	-	-	-	-	8,78E-05
Ef (eV)	0 kGy	-	-	-	-	0,222
	30 kGy	-	-	-	-	0,208
	100 kGy	-	-	-	-	0,243

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, alttaş malzeme olarak (100) yöneliminde, 1-10 Ω .cm özdirence sahip 380 μ m kalınlığında, 3" çapında, tek kristal n-tipi Si yarıiletken kullanılmıştır. Işınlanmamış (referans) Alq3 organik arayüzey tabakalı, 30 kGy ve 100 kGy dozda ışınlanmış Alq3 organik arayüzey tabakalı Shottky diyotların üretimi gerçekleştirilmiş olup, elde edilen diyot yapılarının I-V (akım-gerilim), C-V (kapasite-gerilim) ve G/ ω - V (kondüktans-gerilim) karakteristikleri kullanılarak farklı yöntemlerle hesaplanan diyot parametrelerinin karşılaştırması yapılmıştır. Diyot numuneleri oluşturulmadan önce Alq3 tozları E-Demet Hızlandırıcıda 30 kGy ve 100 kGy dozlarına ışınlamaya maruz bırakılmış ve ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 tozlarının XRD analizleri yapılmıştır. Işınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 tozlarının n-Si alttaşlar üzerine buharlaştırılması ile elde edilen Alq3 ince filmlerinin FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada organik arayüzey tabakası olarak kullanılan ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Alq3 (Tris-8-hydroxyquinoline) tozlarının yapısal özellikleri XRD cihazı kullanılarak X-ışını kırınımı yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan XRD analizine göre, sonuçların JCPDS 26-1550 kodlu kristal veritabanı ile uyumlu olduğu, ışınlamadan sonra Alq3 tozlarının yapılarında bozulma meydana gelmediği ve en iyi kristal yapıya ise 30 kGy dozunda ışınlanan Alq3 tozunun sahip olduğu gözlenmiştir.

Işınlanan tozlar organik buharlaştırıcı kullanılarak n-Si yüzeyine ince film kaplanmıştır. Elde edilen Alq3 ince filmlerin yapısal özellikleri FTIR Spektrometre cihazı kullanılarak oluşturulan FTIR spektrumlarının analizi yapılarak incelenmiştir.

Yapılan FTIR analizinin sonucunda, tüm numuneler için Alq3 ince filmlerinin yüzeyde oluştuğu ve oluşan bu ince filmlerin FTIR spektrumlarına göre artan ışınlama dozu ile piklerin şiddetinin azaldığı gözlenmiştir. 100 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 tozundan elde edilen ince filmin spektrumunda 1174,57 cm^{-1} 'deki tepenin kayıp olduğu ve 1604,68 cm^{-1} ile 3043.49 cm^{-1} aralığında tepelerin iyice zayıfladığı görülmüştür.

Analiz edilen ince filmler daha sonra doğrultucu kontak alınarak aygıt özellikleri incelenmiştir. Elde edilen diyot numunelerinin seri direnç değerleri ; I-V karektistikleri, Norde fonksiyonu, Cheung fonksiyonları, C-V ve G/ω-V karektistikleri kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yine elde edilen diyot numunelerinin engel yükseklikleri; I-V karektistikleri, Norde fonksiyonları ve C-V karektistikleri kullanılarak ayrı ayrı bulunmuştur. Diyot numunelerinin idealite faktörleri, ters doyma akımları ve şönt dirençleri ise I-V karektistikleri kullanılarak elde edilmiştir. 1/C²-V karektistikleri kullanılarak ise diyot yapılarına ait difüzyon gerilimleri, engel yükseklikleri, deplasyon bölgesi genişlikleri, taşıyıcı (donör) yoğunlukları ve fermi enerji seviyeleri hesaplanmıştır.

I-V ve yarı logaritmik LnI-V karektistikleri ölçülerek, ışınlanmamış, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış Au/Alq₃/n-Si diyotların, engel yüksekliği (Φ_B), doyma akımı (I_0) ve seri (R_S) direnç değerleri hesaplanmıştır. Artan ışınlama dozu ile engel yüksekliğinin; 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla 0,63 eV, 0,62 eV ve 0,61 eV olarak azaldığı gözlenmiştir. Üretilen diyotların direnç değerleri hesaplandığında ise ters beslemede sızıntı akımlarının artan ışınlama dozu ile literatürdekilere benzer şekilde; 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla $4,8 \times 10^{-7}$ A, $7,3 \times 10^{-7}$ A ve $1,02 \times 10^{-6}$ A olarak arttığı gözlenmiştir. İlginç olarak hazırlama prosedüründe sadece Alq₃ toz numunelerinin E-Demet ışınlanması ile diyotun seri direncinin literatüre katkı sağlayabilecek şekilde; 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla 1015 Ω, 452 Ω ve 313 Ω olarak azaldığı gözlenmiştir. Yine literatürdeki çalışmalara benzer şekilde diyotun şönt direncinin ışınlama dozunun artışı ile birlikte 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla 0,515 MΩ, 0,362 MΩ ve 0,223 MΩ olarak azaldığı gözlenmiştir.

Schottky diyotların Φ_B ve R_S değerlerinin hesaplanmasında alternatif bir yöntem olan Norde fonksiyonları kullanılarak her üç diyot numunesi için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Artan ışınlama dozu ile 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotların engel yüksekliklerinin sırasıyla 0,69 eV, 0,68 eV ve 0,66 eV olarak

azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar LnI-V grafiğinden elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

Ayrıca Norde fonksiyonlarından elde edilen R_s değerleri artan ışınlama dozu ile sırasıyla 945,75 Ω , 284,45 Ω ve 429,26 Ω olarak hesaplanmıştır. Burada en düşük R_s değerinin 30 kGy ışınlanmış Au/Alq3/n-Si diyotuna ait olduğu görülmüştür. Bunun nedeni Norde fonksiyonunun R_s hesaplamasında eşik gerilimi civarındaki değerleri kullanması ile açıklanabilir. Buna rağmen ışınlanmamış Au/Alq3/n-Si diyotun seri direnci en yüksek değerde olup bu değer Ohm kanunundan hesaplanan R_s değeri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Seri direnç hesaplanması için ayrıca Cheung fonksiyonlarından da faydalanılmıştır. Seri direnç değerleri birinci Cheung fonksiyonu ($dV / dLnI$) kullanılarak sırasıyla 664,31 Ω , 289,41 Ω ve 173,29 Ω ve ikinci Cheung fonksiyonu ($H(I)$) kullanılarak sırasıyla 701,03 Ω , 302,17 Ω ve 204,5 Ω olarak bulunmuştur. Cheung fonksiyonları kullanılarak elde edilen seri direnç değerleri incelendiğinde, elde edilen değerlerin şimdiye kadar hesaplanan diyot parametreleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Artan ışınlama dozu ile R_s 'nin azaldığı ve bu sonuçların hem kendi içerisinde hem de önceki hesaplanan R_s değerleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış arayüzey tabakalı Au/Alq3/n-Si diyotların hesaplanan arayüzey durum yoğunlukları incelendiğinde, Alq3 arayüzey tabakası kullanılarak üretilen diyotlar geleneksel metal/yarıiletken diyotlarla kıyaslandığında N_{ss} arayüzey durum yoğunluklarının iletim bandından E_F seviyesine doğru azalarak $N_{ss} < 5 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebesine indirildiği gözlenmiştir. Diyotlar arasında en düşük N_{ss} yoğunluğu ise 100 kGy dozunda ışınlanmış diyot için elde edilmiştir. Bu durum 100 kGy'de seri direncin düşük çıkmasını, ışınlanmamış diyotta ise yüksek çıkmasını doğrulamaktadır.

C-V karakteristikleri ölçülerek elde edilen diyot parametreleri incelendiğinde, seri direnç değerinin ışınlama dozu arttıkça 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla 261 Ω , 145 Ω ve 75 Ω olarak azaldığı görülmüş olup, sonuçların önceki hesaplanan değerlerle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Işınlamanın etkisiyle difüzyon

geriliminin arttığı görülmüştür. Difüzyon gerilimleri 0 kGy, 30 kGy ve 100 kGy ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotlar için sırasıyla 0,387 eV, 0,946 eV ve 0,847 eV olarak bulunmuştur. En yüksek difüzyon gerilimi 30 kGy dozunda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyota aittir. Taşıyıcı (donör) yoğunluğu sırasıyla $3,96 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $6,96 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ve $1,69 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, deplasyon (tüketim) bölgesi genişliği sırasıyla $5,73 \times 10^{-5} \text{ m}$, $4,32 \times 10^{-5} \text{ m}$ ve $8,78 \times 10^{-5} \text{ m}$ ve fermi enerji seviyeleri sırasıyla 0,222 eV, 0,208 eV ve 0,243 eV olarak hesaplanmıştır. 100 kGy dozunda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyotun en düşük donör yoğunluğuna sahip olduğu, bununla birlikte deplasyon (tüketim) bölgesi genişliği ile fermi enerji seviyesinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçların daha önce 100 kGy dozunda ışınlanmış arayüzey tabakalı diyot için hesaplanan ve diğer diyot numunelerine göre düşük çıkan seri direnç değerleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Yukarıda değerlendirmesi yapılan, farklı yöntemler kullanılarak hesaplanan diyot parametreleri birbirine yakın değerler olduğundan, elde edilen değerler birbirini doğrulamaktadır.

Bu çalışmada, hazırlanan diyotların özgün olarak E-demet ile ışınlanması ve aygıt performansı analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, 100 kGy dozunda ışınlanmış Alq3 organik arayüzey tabakalı Schottky diyot numunesine ait diyot parametrelerinden seri direnç değerinin diğer diyot numunelerine göre daha düşük olduğu, düşük seri direncin etkisiyle düz beslem durumunda akım değerinin diğer diyot numunelerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumda ışınlamanın diyot parametrelerinde ciddi anlamda bir değişikliğe neden olduğu, literatürde yapılan çalışmalara ilaveten özellikle seri dirençte iyileşme meydana getirdiği ifade edilebilir. Böylece kullanılan arayüzey malzemesinin özelliklerine göre uygun dozlarda yapılacak ışınlama ile organik arayüzey tabakalı Schottky diyotların aygıt performansının artırılacağı sonucuna varılmıştır. Organik LED, gaz sensörü, biyomedikal sensörler, organik güneş pili, organik fotodiyot vb. elektronik aygıtların performansının artırılması için kullanılabileceği öngörülmektedir. Farklı organik arayüzey tabakaları radyasyon ile etkileştirilerek alternatif aygıtlar üretilmelidir. Bu çalışma bu tür çalışmalara öncülük etme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmanın sonuçları Konya-Ereğli'de gerçekleştirilen, INSAC'2019-Uluslararası Akademi ve Bilim Kongresi'nde sunulmuştur.



KAYNAKLAR

Aksu Canbay, C. 2005. Kompozit Yarıiletkenlerin Termal, Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Elazığ.

Al-Ta'ii, H., Periasamy, V., Iwamoto, M. 2018. Irradiation effects on electrical properties of DNA solution/Al Schottky diodes. *Applied Physics A*, 124(4): 325.

Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., Tataroğlu, A., 2003. The role of interface states and series resistance on the I-V and C-V characteristics in Al/SnO₂/p-Si. *Schottky diodes*, 47, 1847-1854.

Altındal Yerişkin, S., Balbaşı, M., Tataroğlu, A. 2016. Frequency and Voltage Dependence of Dielectric Properties, Complex Electric Modulus, and Electrical Conductivity in Au/7% Graphene doped-PVA/n-Si (MPS) Structures. *Journal of Applied Polymer Science*, 133.

Anonim a, 2019. Alq₃ malzemesinin moleküler yapısı. https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/structure7/151/mfcd00191693.eps/_jcr_content/renditions/mfcd00191693-large.png -(Erişim tarihi:21.09.2019).

Anonim b, 2019. Alq₃ malzemesinin bazı özellikleri. https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/697737?lang=en®ion=TR&gclid=Cj0KCQjwIJfsBRDUARIsAIDHsWppC0ibTO_lqbMkoax5Jsz0g-_OJ5I GYx663ejLTiBS3o0TF86dRIaAgN4EALw_wcB -(Erişim tarihi: 21.09.2019).

Anonim c, 2019. Metal buharlaştırma-organik buharlaştırma sistemi. http://77.223.142.4/~vaksisco/source/public/media/images/1475591565handy%20sm_1.jpg-
http://77.223.142.4/~vaksisco/source/public/media/images/1475591565handy%20sm_1.jpg,
http://77.223.142.4/~vaksisco/source/public/media/images/1420634456-hand_3.jpg-(Erişim tarihi: 21.09.2019).

Anonim d, 2019. X ışınlarının Kırınımı. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=61076>- (Erişim tarihi: 10.09.2019).

Anonim e, 2019. XRD Cihazının Genel Görünümü. <https://malvern.dist.sdlmedia.com/distributions/?o=6c2f480a-f786-4c04-afc3f4144197fed2>- (Erişim tarihi: 21.09.2019).

Anonim f, 2019. Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR). <https://potkam.arel.edu.tr/ cihazlar/fouierer-transform-infrared-spektrofotometre-ftir>- (Erişim tarihi: 30.08.2019).

Anonim g, 2019. FTIR Spektrometresinin Görünümü. <http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/dbmmf/Resimler/FTIR.jpg>-(Erişim Tarihi: 30.08.2019).

Anonim h, 2019. Parçacık Hızlandırıcıları. http://hte.ankara.edu.tr/?page_id=1260-(Erişim tarihi: 14.09.2019).

Anonim i, 2019. Keithley 2400 akım-gerilim karakterizasyon cihazı. <http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/sanayi/Resimler/karak.jpg>-(Erişim tarihi: 03.10.2019).

Anonim j, 2019. HP 4192A LF Empedans Analizörünün Genel Görünümü. https://www.picclickimg.com/d/w1600/pict/283442402141_/HP-4192a-LF-Impedance-Analyzer-LCR.jpg-(Erişim tarihi:03.10.2019).

Aydemir, U. 2019. Elektron demet ile ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si diyotların elektriksel özellikleri. *Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi*, 22(2): 393-398.

Avilov, M. S., Fadeev, S., Fernandes, S., Schein, E. M. 2015. A 50-kW prototype of the high-power production target for the FRIB. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*,305(3).

Bilkan, Ç. 2013. Perilensiz ve Perilenli Al/P-Si Schottky Engel Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Oda Sıcaklığında Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 24.1-36.

Bilkan, Ç. 2016. Polimer Araüzey Tabakalı Ve Tabakasız Schottky Engel Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin Karşılaştırılması. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara,25-26.

Boy, F. 2013. Organik Arayüzeyli GaAs Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Konya.

Brennan, K., F. 1999. The Physics of Semiconductors with applications to Optoelectronic Devices, Cambridge University Press, 200-340.

Canlı, S. 2018. Silisyum Tabanlı Alq3 Arayüzeyli Fotodiyotların Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Bingöl.

Card, H.C., Rhoderick, E.H. , 1971. Studies of tunnel MOS diodes II. Thermal equilibrium considerations. *Journal of Applied Physics D*, 4.

Chandra, S., Bawa, S.S., Biradar, A.M. 1986. Frequency Dependent Polarization Reversal and the Response Time of Ferroelectric Liquid Crystal by Triangular Wave Method. *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 25, Part 2, Number 6.

Colle, M., Gmeiner, J., Milius, W., Hillebrecht, H., Brutting, W. 2003. Preparation and characterization of blue-luminescent tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3). *Advanced Functional Materials*,13(2): 108–112

Cömert, B. 2015. TiO2 İnce Film Gaz Sensörlerinin Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara.

Çatır Cimilli, E.F. 2009. Ag/n-InP/In, Au/n-InP/In ve Cd/n-InP/In schottky diyotların akım-voltaj ve kapasite-voltaj ölçümlerinden elde edilen karakteristik parametreler üzerine sıcaklığının ve termal tavlamanın etkileri. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Erzurum, 14-19.

Çetin, S.S. 2010. GaAsP/GaAs ve InGaN/GaN p-n Eklem Yapılarının Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. *Doktora tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara, 30-32.

Çetinkara, H. A. 2002. Doğal oksitli yarıiletkenlerden yapılan Schottky diyotların farklı metotlarla incelenmesi ve karakteristik parametrelerinin belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Fen bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Çetinkaya H.G., Tecimer H., Uslu H., Altındal S. 2013. Photovoltaic characteristics of Au/PVA (Bi-doped)/nSi Schottky barrier diodes (SBDs) at various temperatures, *Curr. Appl. Phys.*, 13, 1150-1156.

Çetinkaya, S. 2011. Al/ZnO/p-Si ve Au/CuO/p-Si Schottky Yapıların Farklı Metotlarla Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilim Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Hatay.

Cui, C., Parka, D.H., Kim, J., Joob, J., Ahna D.J. 2013. Oligonucleotide assisted light-emitting Alq₃ microrods: Energy transfer effect with fluorescent dyes. Electronic Supplementary Material (ESI) for Chemical Communications, *The Royal Society of Chemistry* 2013.

DeLeo, G. G., Fowler, W. B. 1991. Chapter 14: Computational studies of hydrogen-containing complexes in semiconductors. *Semiconductors and Semimetals, Hydrogen in Semiconductors*, 34, 511–546.

Doğan, H. 2006. Isıl olarak tavllanmış Ni/n-GaAs/In schottky diyotlarının karakteristiklerinin engel inhomojenlik modeline göre belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Erzurum, 11-15.

Dökme, İ., Altındal, Ş., Uslu, İ. 2012. The effects of temperature, radiation, and illumination on current–voltage characteristics of Au/PVA(Co, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes. *J. Appl. Polym. Sci.*, 125: 1185-1192.

Durmuş, M., Aydemir, U. 2019. Alq₃ Organik Arayüzey Tabakalı Au/n-Si Schottky Diyotların Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi: Elektron Demet Işınlama Etkisi (Bildiri), *INSAC'19-Uluslararası Akademi ve Bilim Kongresi*, Ereğli, Konya.

Esen, M. 2011. Al/Polythiophene(PTh)-SiO₂/p-Si/Al Diyodun Elektronik Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Isparta.

Fatima, N., Aziz. F., Ahmad. Z., Najeeb. M. A., Azmeer, M. I., Karimov, Kh. S., Ahmed, M. M., Basheer, S., Shakoorc, R. A., Sulaiman, K. 2017. Compositional engineering of the pi-conjugated small molecular VOPcPhO : Alq₃ complex to boost humidity sensing. *Royal Society of Chemistry Adv.*2017,7,19780.

Güllü, Ö. 2008. H₂ Ön Tavlamalı Au/n-GaAs Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Schottky Metal Kalınlığı ve Sıcaklığa Bağlı Değişiminin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Erzurum 24-38.

Gürkan Aydın S.,2010. Al/PNpClPhPPy/ptipi-Si Kontakın Elektronik Özellikleri.*Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı,Isparta.

Güzel, T. 2006. Metal-yarıiletken kontaklarda schottky engelinin sığa özellikleri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 1-4.

Herman, M.A., Sitter H. 1996. Molecular Beam Epitaxy: Fundamentals and Current Status, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1-453.

Jung, J.S.,Lee, J.W.,Seo, M.R., Lee H.S., Kim, J.,Lee, S.W., Joo, J. 2012 Luminescence variation of organic Alq₃ nanoparticles on surface of Au nanoparticles and graphene. *Synthetic Metals* 162 ,1852– 1857.

Kanbur, H. 2008 .Yalıtkan Tabakalı Al/p-Si Schottky Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara, 55.

Karabat, M.F., Arsel, İ. 2015. Al/CuO/p-Si/Al Diyot Yapısının Elektriksel Özellikleri.*Batman Üniversitesi, Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt 5 Sayı 1.

Karadeniz, S. 2012. Yarıiletken Dedektörler. VIII. Uluslararası Katılımlı Parçacık Hızlandırıcıları ve Dedektörleri Yaz Okulu, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.

Kaya, İ. 2010. Metal-yarıiletken schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 5-7.

Kittel, C. 1996. Katıhal Fiziğine Giriş (Çeviri Bekir Karaoğlu). İstanbul. Bilgi Tek Yayıncılık, İstanbul, 22, 434.

Koca, M., Dağdelen, F., Aydoğdu, Y. 2004. Thermal and optical properties of benzofuran-2-yl 3-phenyl-3-methylcyclobutyl thiosemicarbazone. *Materials Letters*, 58,22-23.2901-2905.

Koo, W.H., Jeong, S.M., Araoka, F., Ishikawa, K., Nishimura, S., Toyooka, T.,Takezoe, H. 2010. Light extraction from organic light-emitting diodes enhanced by spontaneously formed buckles.*Nature Photonics* 4 ,222.

Kumar, P., Misra, A., Kumar, D., Dhama, N., Sharma, T.P., Dixit, P.N.2004. Structural and optical properties of vacuum evaporated, *Optical Materials*, 27: 261.

Maxfield, C., Waddel, P. 2003. An unconventional guide to electronics fundamentals, components, and processes. *Bebop to the Boolean Boogie (Second Edition)*, Chapter 4, Semiconductors: Diodes and Transistors, New york, Newness, 24,35.

Nicollian, E.H., Brews, J.R. 1982. MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology. John Wiley and Sons, 71-235, New York.

Ocak, Y.S., 2010. Organik-İnorganik Hibrit Yapıların Elektriksel ve Fotoelektriksel Karakterizasyonu, *Doktora Tezi*, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Diyarbakır.

Ocak, Y. S., Ebeoğlu, M. A., Topal G., Kılıçoğlu, T. 2010. Temperature dependent electrical characteristics of an organic–inorganic heterojunction obtained from a novel organometal Mn complex. *Physica B*, 405, 2329-2333.

Piprek, J. 2003. Semiconductor optoelectronic devices introduction to physics and simulation, Chapter 1 – Introduction to Semiconductors. Academic Press, Newyork, 3,11.

Pişkin , E. 2014. GaAsP/GaP Yarıiletken Yapılarının Si Üzerine Epitaksiyel Büyütülmesi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara.

Rhoderick, E. H., Williams R. H. 1988. Metal Semiconductor Contacts. Oxford Press, 257-264.

Sarı, H. 2008. 2008-2009 Güz Dönemi Optoelektronik Dersi , Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü Tandoğan, Ankara.

Saxena, V., Steckl, A.J. 1998. Chapter 3:Building blocks for sic devices: ohmic contacts, schottky contacts, and p-n junctions. Semiconductors and Semimetals, 52, *SiC Materials and Devices*, 77–160.

Schroder, D.K. 2006. Semiconductor Material and Device Characterization. A John Wiley & Sons, Inc. Publication, Third Edition.

Shahedi, Z., Jafari, M.R. 2017. Synthesis Al complex and investigating effect of doped ZnO nanoparticles in the electrical and optical efficiency of OLEDs. *Appl. Phys. A* (2017) 123:98.

Shinar, J., Radek, P., Montes, V.A., Anzenbacher Jr., P. 2004. Red-green-blue Emission From Tris(5-aryl-8-quinolinolate)al(iii) Complexes. *Chemistry Faculty Publications*, 98.

Sincar , M. M. 2016. Si Temelli Yarıiletken Gaz Sensörlerinde Azotdioksit (NO₂) Gazı İçin Elektriksel Karakterizasyon. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ankara.

Smith, R. A. 1978. Semiconductors, Second Edition, Cambridge University of Press, Cambridge.

Song, Q.L., Yang, H.B., Gan, Y., Gong, C., Li, C.M. 2010. Evidence of Harvesting Electricity by Exciton Recombination in an n-n Type Solar Cell. *Journal of the American Chemical Society* 132, 4554.

Sönmezöglü, S., Akın, S. 2011. Antimon Katkılı TiO₂/n-Si Metal-Yalıtkan-Yarıiletken Diyodun Elektriksel Parametrelerinin Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 26, Aralık 2011.

Streetmann, B.G. 1995. Solid State Electronic Devices, Fourth Edition, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.

Sze, S.M. 1981. Physics of semiconductor devices 2nd ed. John-Wiley & Sons Inc., New York, 245,362-390.

Şahin, Y., Aydoğan, Ş., Ekinci, D., Türüt, A. 2016. The performance of the anthraquinone/p-Si and the pyridine/p-Si rectifying device under X-ray irradiation. *Materials Chemistry and Physics*, 183: 516-523.

Tang, CW., Vanslyke, SA. 1987 Organic electroluminescent diodes. *Applied Physics Letters*, 51(12): 913-915

Tataroğlu, A. 2004. MOS yapılarında temel fiziksel parametrelerin frekans ve radyasyon miktarına bağlı incelenmesi. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara, 67.

Turmuş, M. 2014. N Tipi Silisyum Tabanlı Altlık Üzerine Pyrene (C₁₆H₁₀) Maddesinin Kaplanarak Elde Edilen Yapıların Akım İletim Mekanizmaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Bingöl.

Türk, Çakır, İ. 2013. Hızlandırıcı Fiziğine Giriş. TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, UKPHDY9, 10-15 Eylül 2013.

Türkün, M. C., 1997. Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Türüt, A., Köleli F. 1992. Semiconductive polymer based Schottky diode. *Journal of Applied Physics*, 72, 818.

Tüzemen, Ş. E. 2007. ZnO İnce Filmlerinin Eldesi ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Katıhal Fiziği Anabilim Dalı, Adana., 2-11, 35-62.

Uslu, H., Yıldırım, M., Altındal, S., Durmuş, P. 2012. The effect of gamma irradiation on electrical and dielectric properties of organic-based Schottky barrier diodes (SBDs) at room temperature. *Radiation Physics And Chemistry*, 81(4): 362-369.

Yakuphanoğlu, F. 2010. Interface control and photovoltaic properties of n-type silicon/metal junction by organic dye, *J. Alloys Comp.* 494 (2), 451–455.

Yıldırım N., Durumlu, E. 2017. Ag/Azure A /n-Si Schottky Diyodun elektriksel ve fotovoltaiik özelliklerinin araştırılması. *Bingöl Üniversitesi, Doğa ve Fen Dergisi*, Vol. 6 No. 1.

Yoğurtçu, Y.H. 2005. Katıhal Fiziği. (İkinci Baskı). Erzurum. Aktif Yayın Evi, 118, 131.

Yu, X., Kuo, P.S., Ma, K., Levi, O., Fejer, M.M., 2004. Single-phase growth studies of GaP on Si by solid-source molecular beam epitaxy. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 22, 4-1450.

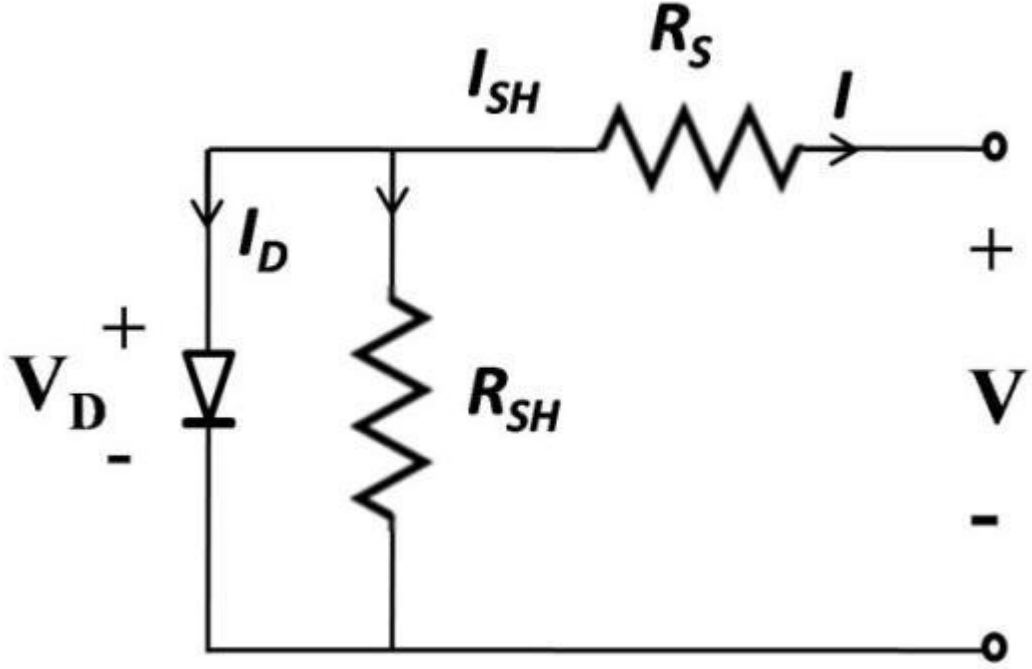
Zhao, W., Wei, W.,Lozano, J.,White, J.M. 2004. Interfacial Electronic Structure of Tris(8-hydroxyquinoline)aluminum (III) on Cu(111). *Chemistry of Materials* 16,750.

Ziel, A.V. 1968. Solid State Physical Electronics.Prentice-Hall, New-Jersey, 245.

EKLER

EK A

R_s ve R_{sh} dirençlerini içeren MY ve MYY/MPY tipi Schottky diyotun eşdeğer devresi



(Altındal Yerişkin,2017)

I : Devre Akımı

I_D : Diyodun Akımı

I_{SH} : Kısa Devre Akımı

R_S : Seri Direnç

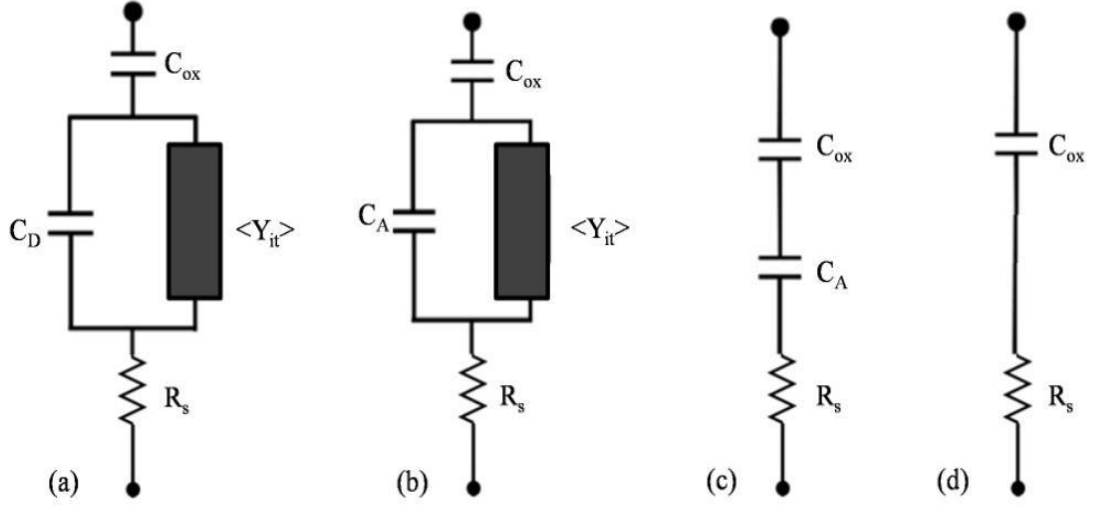
R_{SH} : Şönt (Kısa Devre) Direnci

V : Devrenin Gerilimi

V_D : Diyodun Gerilimi

EK B

MOY ve MYY/MPY yapısında arayüzey durumları ve R_s etkisini içeren eşdeğer devre



C_A : Yığılım bölgesinin kapasitesi

C_D : Deplasyon (Tükenim) tabakasının kapasitesi

C_{ox} : Oksit tabakasının kapasitesi

R_s : Seri direnç

Y_{it} : Arayüzey tuzak admittansı

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MURAT DURMUŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA, 1976
Yabancı Dili : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu:

Lise : BURSA YILDIRIM BEYAZIT LİSESİ
(MATEMATİK BÖLÜMÜ), 1993
Lisans : ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ,
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ,
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ,2000

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl :

ULUDAĞ ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. BURSA İL MÜDÜRLÜĞÜ
Sistem İşletme Şube Müdürlüğü
21.12.2004 – 08.05.2012 - ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSİ

BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ-ULAŞIM DAİRESİ BAŞKANLIĞI
Raylı Sistemler Şube Müdürlüğü
08.05.2012 – -ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSİ

İletişim (e-posta) : mdurmus76@gmail.com

Akademik Çalışmalar

Bildiriler : **Durmuş, M. , Aydemir, U. 2019.** Alq3 Organik Arayüzey Tabakalı Au/n-Si Schottky Diyotların Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi: Elektron Demet Işınlama Etkisi, (Sözlü Sunum), *INSAC'19-Uluslararası Akademi ve Bilim Kongresi*,Ereğli, Konya.