



**POLİMER VE OKSİT ARA YÜZEY TABAKALI YAPILARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN RADYASYONA BAĞLI
İNCELENMESİ**

Bahriye ÖZKARA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bahriye ÖZKARA

17/11/2022

POLİMER VE OKSİT ARA YÜZEY TABAKALI YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN RADYASYONA BAĞLI İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Bahriye ÖZKARA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2022

ÖZET

Günümüzde radyasyona karşı duyarlı yapılar ve radyasyon sensörleri araştırılan kavramlar arasında yer almaktadır. Bu tez çalışmasında polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapıların iyonize radyasyon altındaki elektriksel özellikleri incelenmiştir. Sırasıyla P tipi alttaş üzerine evapirasyon yöntemi ile PbO ve döndürme ile kaplama yöntemi kullanılarak PMMA kaplanmıştır. Elde edilen Al/PMMA/PbO/p-Si yapının karanlık ortamda ve oda sıcaklığında akım-gerilim (I-V), kapasitans- gerilim (C-V) ve kondüktans-voltaj (G-V) değerleri ölçülmüştür. İyonize radyasyonun Al/PMMA/PbO/p-Si yapısı üzerine etkisini araştırmak için, yapı ^{60}Co gamma ışınına tabi tutulduktan sonra, karanlık ortamda ve oda sıcaklığında elektriksel ölçümler alınmıştır. Bu yapının ışınlama öncesi ve sonrasında yapıda meydana gelen farklılıkları incelemek için, nano yapının elektriksel karakteristikleri doğru ve ters besleme gerilim altında alınan I-V ölçümlerinden Termoionik Emisyon, Cheung ve Norde yöntemi kullanılarak yapıya ait ideallik faktörü (n), seri direnç değeri (R_s) ve engel yükseklik değeri (Φ_b) hesaplanmıştır. ^{60}Co gamma (γ) ışını Al/PMMA/PbO/p-Si yapısı üzerinde R_s ve Φ_b artırıcı yönde etki ederken ideallik faktörünü azaltıcı etkide bulunmuştur. Aynı zamanda 100 kHz, 300 kHz, 500 kHz, 700 kHz, 800 kHz ve 1 MHz frekanslarında alınan C-V, G-V değerleri kullanılarak N_A , E_f , E_m , W_D , Φ_b D_{it} değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde elde Al/PMMA/PbO/p(100)-Si yapısının ^{60}Co gamma (γ) ışınına karşı duyarlı olduğu ve yapının radyasyon sensörü olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 20226
Anahtar Kelimeler : Elektriksel karakteristlik, Gama ışınlanması, PbO, PMMA, Metal/Oksit/Polimer yapılar
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

INVESTIGATION OF RADIATION-INDUCED ELECTRICAL PROPERTIES OF POLYMER AND OXIDE INTERFACE LAYERED STRUCTURES

(M. Sc. Thesis)

Bahriye ÖZKARA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2022

ABSTRACT

Radiation sensing and radiation sensitive material investigations are very popular among researchers in recent years. In this thesis, the electrical properties of polymer and oxide interfacial layers under ionizing radiation was investigated. Polymer was added between the Al layer and the P-type silicon substrate by using the Lead Oxide (PbO) structure as the oxide interface and Polymethyl Methacrylate (PMMA) the rotational coating method with thermal evaporation method. The obtained MIS structures were exposed to ^{60}Co gamma rays at room temperature, and the differences in the structure before and after the irradiation were investigated. Using the thermal evaporation method on Al/PMMA/ PbO/p(100)-Si structure, ohmic and rectifying contacts are formed and current-voltage (I-V), capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G-V) values were measured. The electrical characteristics of the Al/PMMA/PbO/p-Si sample were calculated by using the Thermionic Emission, Cheung and Norde method. Direct and reverse voltage, voltage and the ideality factor (n) of the structure, series resistance value (R_s) and barrier height value (Φ_b) were calculated by using I-V measurements. ^{60}Co gamma (γ) radiation increased the R_s and Φ_b on the Al/PMMA/PbO/p-Si structure. On the other hand, it had a decreasing effect on the ideality factor. Thus, it was understood that the structures with the polymer and oxide interface layer were sensitive to ^{60}Co gamma (γ) radiation. Consequently, it can be inferred from experiment that structures with the polymer and oxide interface layer are sensitive to ^{60}Co gamma (γ) radiation. In addition, electrical characteristics of Al/PMMA/PbO/p(100)-Si calculated by using 100 kHz, 300 kHz, 500 kHz, 700 kHz, 800 kHz and 1 MHz frequencies at room temperature before and after ^{60}Co gamma (γ) rays show that this structure was sensitive to ^{60}Co gamma (γ) rays and the structure could be used as a radiation sensor.

Science Code : 20226

Key Words : Electrical characteristic, Gamma-ray irradiation, PbO, PMMA

Page Number : 63

Supervisor : Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamım tüm süreçlerinde ilgisini ve emeklerini esirgemeyen, engin bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, destek ve yönlendirmelerinden dolayı öğrencisi olmaktan gurur duyacağım tez danışman hocam sayın Prof. Dr. Sema BİLGE OCAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojileri Anabilim Dalı öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine akademik ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Bu günlere kadar gelmemde sonsuz emekleri olan, haklarını ödeyemeceğim kıymetli anneme, babama ve ağabeyime tüm kalbimle teşekkür ederim. Tez çalışmamda mesleki bilgi birikimi ile yardım ve katkılarından dolayı Erdinç MERMER'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR (KURAMSAL TEMELLER).....	5
2.1. Yarı İletken Malzemelerin Özellikleri	5
2.2. Metal Yarıiletken Kontaklar ve Türleri.....	7
2.2.1. Metal/yalıtkan/yarı iletken schottky diyotların yapısı	10
2.2.2. İdeal metal-yalıtkan-yarıiletken yapısı.....	11
2.2.3. Yığılım bölgesi.....	14
2.2.4. Tüketim	15
2.2.5. Tersinim	16
2.3. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	17
2.3.1. Gama ışınlarının madde ile etkileşimi	20
2.3.2. Fotoelektrik soğurma	20
2.3.3. Compton saçılması.....	21
2.3.4. Çift oluşumu.....	22
2.4. Radyasyonun Yarıiletken Malzemelere Etkisi.....	23
2.5. Metal Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları.....	24

	Sayfa
2.6. Termoiyonik Emisyon Teorisi	26
2.7. MY Y Yapısının Elektriksel Karakteristik İncelemede Kullanılan Faktörler.....	27
2.7.1. Seri Direnç	28
2.7.2. MY Y yapısı değerlerinin cheung fonksiyonları ile hesaplanması	29
2.7.3. MY Y yapısı değerlerinin norde fonksiyonları ile hesaplanması.....	30
3. DENEYSEL YÖNTEMLER.....	31
3.1. PMMA (Polimetilmetakrilat)	32
3.2. Al/PMMA/PbO/p-Si Numunesinin Hazırlanması.....	33
3.2.1. Kimyasal temizleme prosedürlerinin ile silisyum levhanın temizlemesi..	34
3.2.3. Silisyum levhanın arka yüzeyine omik kontak yapısının eklenmesi	35
3.2.3. Pbo nano tabakasının ve PMMA tabakasının yapıya eklenmesi	36
3.2.4. Numune hazırlanması tamamlanarak ölçüme hazırlanması.....	36
4. ÖLÇÜM SONUÇLARI	39
4.1. Akım Voltaj (I–V) Karakteristik İncelemesi.....	39
4.2. Kapasitans-voltaj (C–V) ve kondüktans-voltaj (G–V) karakteristik incelemesi	44
5. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yarıiletken malzemelerin bant enerji aralığı, elektriksel iletkenliği, elektron ve boşluk hareketliliği	6
Çizelge 2.2. Yarıiletken türüne göre iş fonksiyon ve kontak türü	7
Çizelge 3.1. PbO özellikleri	32
Çizelge 4.1. Farklı yöntemlerden elde edilen kontak parametrelerinin karşılaştırılması	43
Çizelge 4.2. Farklı frekans değerlerindeki parametrelerinin karşılaştırılması	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dünyada MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları	2
Şekil 2.1. a) Metallere ait bant yapısı b) Yalıtkanlara ait bant yapısı c) Yarıiletkenlere ait bant yapısı.....	6
Şekil 2.2. Metal p tipi yarıiletken omik kontağının a) Kontak işleminden önceki enerji band diagramı b) kontak işleminden sonraki enerji band diagramı	8
Şekil 2.3. Metal p tipi yarıiletken doğrultucu kontağın kontak işleminden önceki enerji band diyagramı.....	9
Şekil 2.4. Metal p tipi yarıiletken doğrultucu kontağın kontak işleminden sonraki enerji band diyagramı.....	10
Şekil 2.5. Metal-yarıiletken-yalıtkan yapısının şematik görünümü.....	11
Şekil 2.6. P-tipi yarıiletken türünde dengedeki ideal MYY yapının enerji-bant diyagramı.....	12
Şekil 2.7. MYY yapısının kapasitans eşdeğer devre şeması.....	13
Şekil 2.8. İdeal bir MYY yapının elektronik şeması (a) yığılma (b) yüketim (c) terslenim.....	14
Şekil 2.9. a) Yığılma durumunda giriş ve yarıiletken üzerindeki yüklerin dağılımı b) ideal MPY yapısının yığılma durumunun enerji-bant durumu	15
Şekil 2.10. a) Tüketim durumunda giriş ve yarıiletken üzerindeki yüklerin dağılımı b) ideal MPY yapısının tüketim durumunun enerji-bant durumu	16
Şekil 2.11. Tersinim durumunda giriş ve yarıiletken üzerindeki yüklerin dağılımı b) ideal MPY yapısının tersinim durumunun enerji-bant durumu	17
Şekil 2.12. Radyasyon türlerinin sınıflandırılmasının şematik görünümü	18
Şekil 2.13. Elektromanyetik radyasyon spektrumu	18
Şekil 2.14. Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak giricilik değişimi.....	19
Şekil 2.15. Gama ışıması	20
Şekil 2.16. Fotoelektrik soğurma	21
Şekil 2.17. Compton saçılma olayı	22
Şekil 2.18. Çift oluşum olayı	23

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. Rasyasyonun MYY yapısı üzerindeki etkisi	24
Şekil 2.20. MYY yapısının ileri besleme altındaki akım iletim mekanizma adımları	25
Şekil 2.21. Seri direncin etkisi.....	29
Şekil 3.1. a) PMMA yapısal modeli [67], b) Poli-metil metakrilatın kimyasal yapısı.	33
Şekil 3.2. Işınlanmamış Al/PMMA/PbO/p-Si Tipi numunesi ve ölçüm sisteminin şematik görünümü	37
Şekil 3.3. Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numunesinin farklı dozlarda ışınlamasının şematik görünümü	38
Şekil 4.1. Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin radyasyona bağlı I-V grafiği	39
Şekil 4.2. Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin radyasyona bağlı $\ln(I)$ -V karakteristik grafiği	40
Şekil 4.3. Işınlamadan önce ve sonraki $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I grafiklerinin lineer bölgeleri.....	42
Şekil 4.4. Işınlamadan önce ve sonraki $F(V)$ -I grafiği	43
Şekil 4.5. Düşük frekansındaki ışınlanmamış, farklı dozlarda ışınlanmış C-V Grafiği	45
Şekil 4.6. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış ve farklı dozlarda ışınlanmış C-V grafiği	45
Şekil 4.7. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış ve farklı dozlarda ışınlanmış C-V grafiği	46
Şekil 4.8. Yüksek Frekansındaki Işınlanmamış ve Farklı Dozlarda Işınlanmış C^{-2} -V grafiği	46
Şekil 4.9. Düşük frekansındaki ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış G-V grafiği	49
Şekil 4.10. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış G-V grafiği	50
Şekil 4.11. Işınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış Dit - f grafiği	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1.Toz kurşun oksit	31
Resim 3.2. p-tipi (100) silisyum kristali	34
Resim 3.3. Beher bandelin sonorex marka ultrasonik	34
Resim 3.4. Innovation water purification marka deiyonize su sistemi	35
Resim 3.5. Buharlaştırma sisteminde kullanılan “Edwards” marka cihaz.....	36
Resim 3.6. Numune üretimini son aşamasında kullanılan omik ve doğrultucu kontaklarda kullanılan maskeler.....	37
Resim 3.7. Yokogawa Gs610 Source marka ölçüm cihazı.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Diyotun kontak alanı
$\text{\AA}$	Angstrom
A^*	Richardson sabiti
C_{ox}	Arayüzey tabakanın kapasitansı
C_i	Yalıtıkana ait kapasitans değeri
C_s	Yarıiletkene ait kapasitans değeri
d_{ox}	Yarıiletken tabakasının kalınlık değeri
E_e	Serbest haldeki elektronun kinetik enerji
E_v	Valans bant kenarı enerjisi
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
G_m	Ölçülen kondüktans değeri
h	Planck sabiti
Hz	Frekans birimi
k	Boltzmann sabiti
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
I	Akım (A)
I_0	Doyma akımı
λ	Dalga Boyu (m)
n	İdealite faktörü
N_A	Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_A	Arayüzey durum yoğunluğu
m^*	Taşıyıcı etkin kütlesi
q	Elektrik yükü

Simgeler**Açıklamalar**

q_m	Metaldeki yük
R_s	Seri direnç
Si	Silisyum
V	Voltaj (V)
V_D	Difüzyon potansiyeli
V_F	İleri beslem gerilimi
V_R	Ters beslem gerilimi
W_D	Tüketim tabakasının genişliği
Φ_b	Potansiyel bariyer yüksekliği
δ	Oksit tabaka kalınlığına

Kısaltmalar**Açıklamalar**

^{60}Co	Kobalt-60
AC	Alternatif Akım
Al	Alüminyum
As	Arsenik
Au	Altın
C-V	Kapasitans-Gerilim
DC	Doğru akım
GaAs	Galyum Arsenit
GaP	Galyum Fosfit
Ge	Germanyum
G-V	Kondüktans-Gerilim
KeV	Kilo Elektron Volt
kGy	Kilo Gray
kHz	Kilo Hertz
MeV	Mega Elektron Volt
MOY	Metal- Oksit-Yarıiletken
MPS	Metal-Polimer-Yarıiletken
MY	Metal- Yarıiletken
MYY	Metal-Yalıtkan- Yarıiletken

Kısaltmalar**Açıklamalar****NÜKEN**

Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü Başkanlığı

PbO

Kurşun Oksit

PMMA

Polimetilmetakrilat

SANAEM

Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

SD

Schottky Diyot

TENMAK

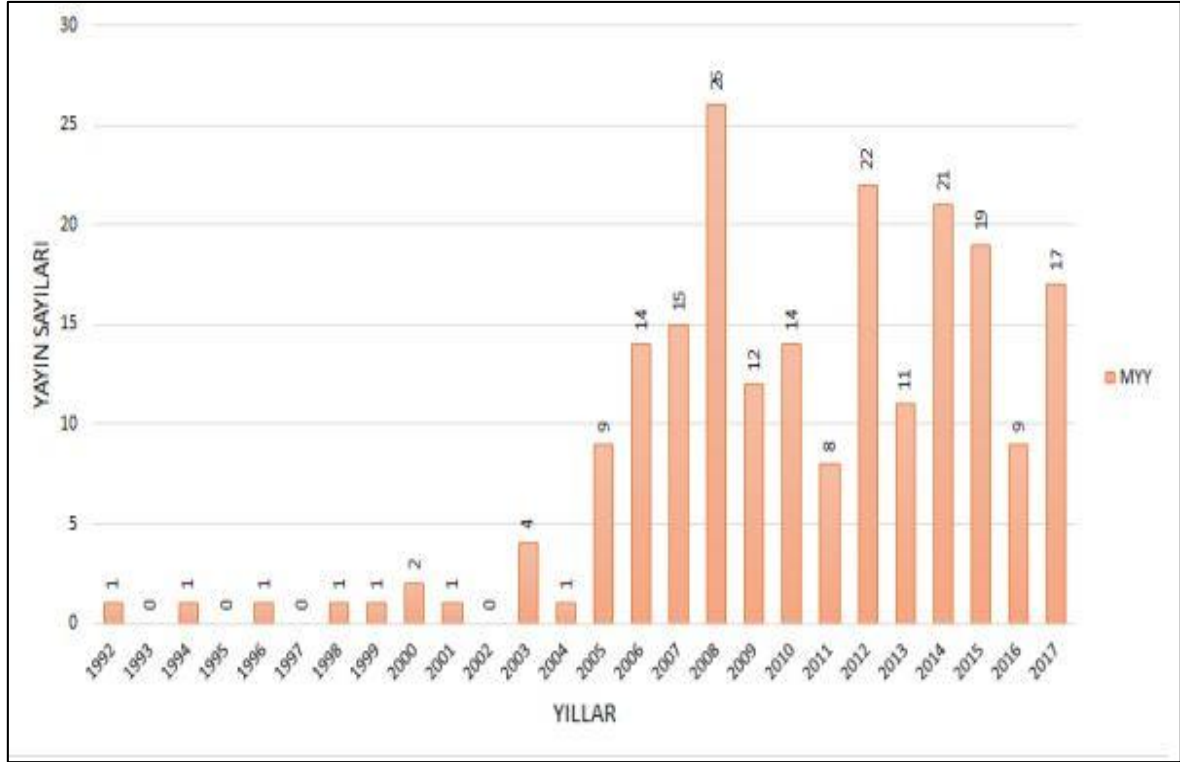
Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

Bilim tarihinde metal-yarıiletken kontak üzerine çalışmaların temeli 1874 yılına dayanırken, ilk defa Wilson 1931 yılında band modeli formülünü metal-yarıiletken yapısı üzerine uygulamıştır. 1938 yılında Schottky, Störmer ve Waibel metal-yarıiletken kantağına ait doğrultma mekanizması üzerine çalışmalar yapmış ve sistemin çalışma prensipleri kavranmıştır.

Günümüz bilim dünyasında yarıiletken teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar elektronik alanının alt kırımlarından olmuştur. Son zamanlarda araştırmacılar yarıiletken teknolojisinden yararlanarak Si, Ge ve As temelli yarıiletkenlerin katlandırılması ile performans artırımı üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Schottky diyotlar (SDs) yarıiletken teknolojisinde teorik ve deneysel yöntemlere dayanan araştırma konularındandır. Schottky diyotu, standart PN bağlantılı diyota göre daha düşük seviyede uygulanan ileri yöndeki gerilim değerine karşın, yapısındaki iletken ve yalıtkan özelliği ile çok hızlı değişen tepkileri yakalayabilen metal-yarıiletken bağlantı diyotu olarak tanımlanabilir.

Son yıllarda elektronik alanında yapılan araştırmalar neticesinde yarıiletken teknolojisi ile geliştirilen ürünler kullanılmaya başlanmış ve gelişen teknoloji ile birlikte yeni tasarımlar hız kazanmıştır. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi schottky diyotları ile ilgili araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle Metal-Yarıiletken olmak üzere Metal-Polimer-Yarıiletken ve Metal-yalıtkan-Yarıiletken Schottky bariyer diyotlarının türleri, sıklıkla elektronik endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır [1–3].



Şekil 1.1. Dünyada MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları [4]

Dijitalleşen teknoloji alanlarında, ölçülebilir elektriksel büyüklüğünü belirtmekte önemli yer tutan Metal-Yarıiletken, Metal-Polimer-Yarıiletken ve Metal-Yalıtkan-Yarıiletken Schottky bariyer diyotları, anahtarlama hızının yüksek olmasına ihtiyaç duyan uygulamalarda yer almaktadır. Bu uygulamalar özellikle optik ve elektronik alanlarına ve bilimsel araştırmalara konu olmuştur. Üretim kolaylığı, ekonomik olarak uygun olmaları ve çeşitli özelliklere sahip olmaları bu malzemeleri üstün kılmaktadır.

MY kontaklarının arayüz özellikleri, sistemlerin performansı, kararlılığı ve kullanılabilirliği üzerinde diğer kontaklara daha önemli bir etkiye sahiptir. Bu yapılar, yarı iletken cihazların bariyer yüksekliğini ve elektriksel özelliklerini kontrol etmeyi sağlar [5–7]. Yarıiletken bir yalıtkan ile metal temas ettiğinde, bu yapının fotovoltaik, elektrolüminesans ve doğrultucu özellikleri netleşir. Günümüzde bu kontaklar, düz panel ekranlar, bükülebilir görüntüleme sensörleri, şeffaf fotoğraf yansıtıcı cihazlar gibi elektronik endüstrisinde üstün özellikleri sayesinde tercih sebebi olmaktadır [8–12].

Schottky engel diyotlarda metal tabaka olarak yüksek saflıkta Al, Au, Ag gibi metaller kullanılırken yarıiletken olarak da kararlı ve diğerlerine göre ucuz olan Si seçilmektedir.

Yarıiletken aygıtın performansını artırmak ve metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenlemek amacıyla metal ile yarıiletken arasına organik tabakalar veya yalıtkan bir tabaka büyütülür. Genellikle organik tabaka olarak polianilin, polivinil alkol ve PbO, SiO₂, SnO₂, Si₃N₄, TiO₂ gibi yapılar ise yalıtkan tabakada kullanılabilir. Ara yüzey tabakalarını seçiminde sızıntı akımını azaltacak, yüksek dielektrik sabitli ve doğrultucu özelliğe en yakın malzemelerin kullanılması göz önünde bulundurulmalıdır. Organik materyallerin üretim maliyetlerini düşürecek spin kaplama gibi kolay yöntemle çok miktarlarda üretilebilmesi kullanımda tercih sebepleri arasındadır [13,14]. Bilim tarihindeki keşfi 1896 yılına dayanan radyasyon kavramı birçok araştırma çalışmalarına konu olmuştur. Endüstri, tıp, tarım, madencilik elektrik üretimi gibi farklı alanlarda radyasyon ve etkilerinden bahsetmek mümkündür. Malzemelerin radyasyona karşı duyarlılığının belirlenmesi ve radyasyon algılama tepkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması önemlidir. Radyasyona duyarlı malzemelerin varlığı, ortamdaki radyasyonun beraberinde getirdiği olumlu olumsuz etkilere karşı gerekli yol haritasının belirlenmesine sebep olur. Uzay, biyomedikal ve endüstriyel ortamlardaki kullanılan bazı malzemeler radyasyona karşı dayanıklı olması gerekirken sağlık alanındaki radyoloji bölümünde, radyoaktif malzeme tespitinde ülke sınır kapı güvenliği, bazı madencilik faaliyetleri radyasyona hassas malzeme tabanlı sistemlere ihtiyaç duyulur.

PMMA/PbO kompozit yapısı endüstride en yaygın kullanılan poli metil metakrilattır. Özellikle tıp, ilaç endüstrisi, uzay ve nükleer sanayinde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, radyasyon koruyucu giysiler, manyetik görüntüleme, pil teknolojileri ve zırh gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır [15]. Ayrıca endüstriyel seramikler üzerindeki PbO ilavesi, malzemelerin nispeten daha manyetik ve elektriksel olarak etkisiz hale gelmesini sağlar. Ayrıca, radyasyona duyarlılıklarını artırır. Son zamanlarda, bazı araştırmalar ⁶⁰Co gama ışınının polimer alaşımlarının yapısal ve elektronik özellikleri üzerinde bazı etkileri olduğunu göstermektedir [15–19].

PbO nanoyapıları çeşitli yöntemler kullanılarak sentezlenmektedir. En etkin sentezleme yöntemleri, ıslak kimya yöntemi, anodik kurşun oksidasyonu sanokimyasal yöntem yüzey aktif madde destekli çözelti dispersiyon yöntemi olarak gösterilmektedir [20–24]. Akrilik olarak da adlandırılan en bilinen polimer metakrilik asit PMMA'dır. PMMA'lar kullanıldıkları malzemelere boyutsal kararlılık katar. Ayrıca kullanıldıkları yüzeylere düşük su emme özelliği kazandırır. Endüstride çok yönlü kullanıma sahip olan PMMA, özellikle

nükleer fizik, tıp ve medikal alanlarında araştırma konusu olmuştur [25]. Özellikle, sürekli açık hava ve güneş ışığına maruz kalan yapılarda PMMA kullanımı malzemelere kattığı yüksek dayanım ile tercih sebebi olmaktadır [25,26]. Polymer kompozitler radyasyon ile çapraz bağlama ve zincir kesme olmak üzere iki şekilde bağlanır. Çapraz bağlama ile çekme direnci artırılırken zincir kesme ile çekme direnci azalmaktadır. Bir malzeme radyasyona maruz bırakıldığında iki etki de malzeme üzerinde eşzamanlı olarak gözlenir. Yapısal özellikler ise hangi etkinin daha baskın olduğuna göre değişmektedir.

Bu tez çalışmasında, polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapıların ^{60}Co gamma ışınına karşı duyarlılığı araştırılmıştır. İlk olarak, Al/PMMA/PbO/p-Si numunesi üretilmiş olup karanlık ortamda ve oda sıcaklığında geniş voltaj aralığında Akım – Gerilim, Kapasitans – Gerilim ve İletkenlik – Gerilim karakterizasyonları ile elektriksel özellikleri incelenmiştir. Üretilen numune, aynı şartlar altında farklı doz değerlerindeki ^{60}Co gamma (γ) ışınımından sonra nano yapının elektriksel ölçümleri tekrar alınmıştır. Alınan bu ölçümler kullanılarak ideallik faktörü(n), seri direnç (R_s) ve engel yükseklik (Φ_b) değerleri farklı yöntemler ile hesaplanmıştır. Aynı zamanda 100 kHz, 300 kHz, 500 kHz, 700 kHz, 800 kHz ve 1 MHz frekanslarında alınan C-V, G-V değerleri kullanılarak ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası N_A , E_f , E_m , W_D , Φ_b ve D_{it} değerleri hesaplanmıştır.

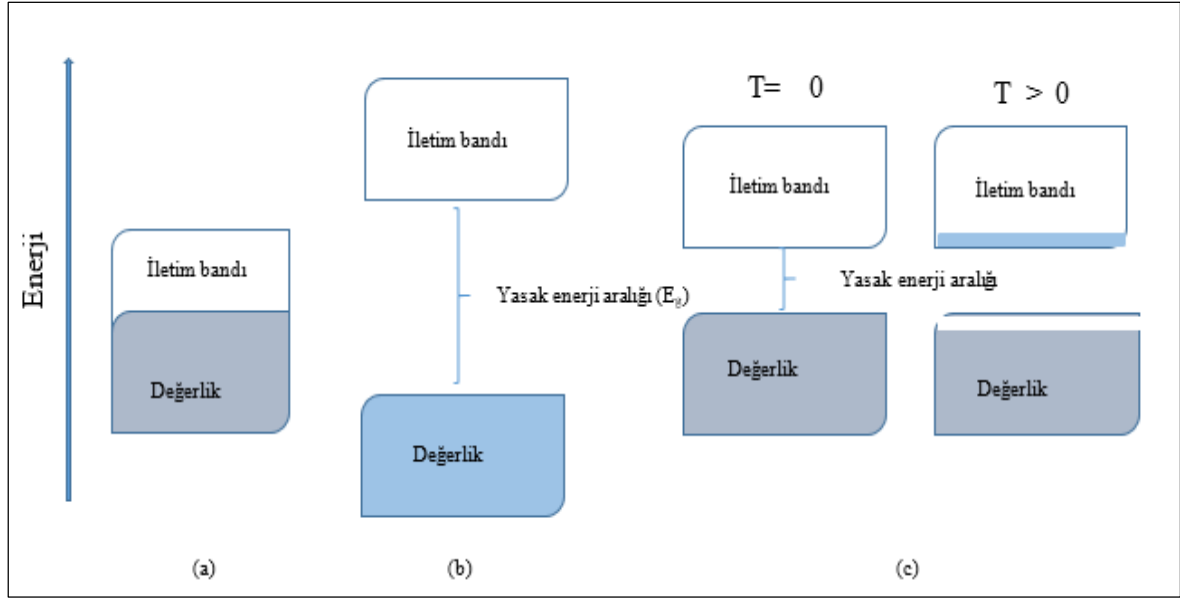
Tez dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın tarihi gelişimi ve günümüzdeki kullanım alanları, ikinci bölümde kurumsal bilgilerin verildiği literatür çalışmaları, üçüncü bölümde numunenin üretim aşamaları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise deneysel çalışmalara yer verilirken son bölümde de deney sonuçları analiz edilerek nihai sonuç yargısı açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR (KURAMSAL TEMELLER)

2.1. Yarı İletken Malzemelerin Özellikleri

Malzemeler elektrik akımını iletim yeteneğine göre iletken, yarıiletken ve yalıtkan olmak üzere üç temel gruba ayrılır. Malzemenin elektrik iletkenlik özelliği, elektronların sayısına, elektronların dizilişine veya enerji bant yapısıyla yakından ilişkilidir. Atom yapısında elektronların yer aldığı belirli enerji seviyeleri vardır. Bu enerji seviyeleri yörünge ve alt yörüngeler şeklinde düzenlenir. Yörüngeler tam sayılarla (1, 2, 3, vs.), alt yörüngeler ise harfler ile (s, p, d ve f) gösterilir. Her bir s, p, d ve f alt yörünge için sırasıyla 1, 3, 5 ve 7 enerji seviyesi bulunur. Elektronik bant yapısında değerlik bandı, iletim bandı ve yasak enerji aralığı bulunmaktadır. Bir malzemede elektriksel iletkenlik, elektronların yük taşıması (hareketi) ile gerçekleşir. Şekil 2.1 (a) da gösterildiği gibi iletim ve değerlik bant yapılarının çakışık olması malzemenin metal sınıfına ait olduğunu gösterir. Metallerin atom yapısında 2s -2p ile 3s -3p yörüngelerinin iç içe olmasından kaynaklı elektronların yük taşıması kolay olmaktadır. Bu durum malzemeye iyi elektriksel iletkenlik kabiliyeti katmaktadır. Yalıtkan ve yarı iletkenlerde iletim bandı ile değerlik bandı arasında aralık vardır. Bu nedenle, elektronların serbest hale geçebilmesi için enerji bant aralığını aşarak boş olan iletim bandının alt enerji seviyesine uyarılmaları gerekir. Bir elektrona, değerlik bandının üst enerji seviyesi ile iletim bandının alt enerji seviyesi arasındaki enerji farkı kadar, yaklaşık yasak enerji aralığı enerjisine eşit miktarda bir enerji verilmesi durumunda, bant aralığının aşılması mümkün olur. Yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığının yalıtkan malzemelere göre daha dar olduğu Şekil 2.1 (b)'de gösterilmiştir. Şekil. 2.1 (c)'de gösterildiği gibi tamamen dolu ya da tamamen boş olması durumunda ise malzeme yalıtkan özelliği gösterir. Bu enerji bant modelinde dışarıdan malzemeye elektrik akımı uygulandığında yapı içindeki elektronların hareket akışı sağlanamadığından elektriksel iletim olmaz.

Yarıiletkenlerde, 0 °K sıcaklığında tamamen dolu olan değerlik bandı ve tamamen boş olan iletim bandı arasındaki yasak enerji aralığı 2 eV değerinden daha küçüktür. Örneğin yarıiletken olan Si ve Ge elementlerinin yasak bant enerji aralığı yaklaşık olarak 1,1 ve 0,7 eV değerlerindedir [27].



Şekil 2.1. a) Metallere ait bant yapısı b) Yalıtkanlara ait bant yapısı c) Yarıiletkenlere ait bant yapısı

Si ve Ge elementleri periyodik tablonun IVA grubunda yer almaktadır. İlave olarak, bileşik yarıiletken malzemelerin ana metali de has yarıiletken özellik gösterir. Bu tür Yarıiletken bileşikler IIIA ve VA gurubu arasında oluşmaktadır. Grup IIB ve VIA elementlerinden oluşan bileşikler de yarıiletken davranış gösterir. Böylece atomsal bağ daha fazla iyonik özellik kazanır ve yasak bant aralığı enerjisinin büyüklüğü artarak, malzeme yalıtkan olma eğilimine girer [27]. Bazı yarıiletken malzemeler için yasak bant aralıklarına ait enerji değerleri Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yarıiletken malzemelerin bant enerji aralığı, elektriksel iletkenliği, elektron ve boşluk hareketliliği [27]

Malzeme	Bant Aralığı (eV)	Elektriksel İletkenlik $[(\Omega.m)^{-1}]$	Elektron Hareketliliği $(m^2/V.s)$	Boşluk Hareketliliği $(m^2/V.s)$
Element				
Si	1,11	4×10^{-4}	0,14	0,05
Ge	0,67	2,2	0,38	0,18
III–V Bileşikleri				
GaP	2,25	-	0,03	0,015
GaAs	1,42	10^{-6}	0,85	0,04

Elektriksel iletkenlik bakımından yarıiletkenler, yalıtkan malzemelere benzer davranış sergilerler. Ancak yarıiletken malzemeye yapılan katkılama işlemi ile elektriksel iletkenlik

özellikleri incelenir. Katkılama, yarıiletken bir malzemenin malzeme içerisindeki elektriksel iletkenlikte görev alacak serbest yük taşıyıcılarının (elektron ya da boşluk) yoğunluğunu arttırmak için yapıya uygun seçilen katkı atomunun yapılma işlemidir [28]. Endüstriyel amaçlı kullanılan yarı iletkenlerin tamamına yakını katkıdır. Yarıiletken üretme teknolojisinde n tipi ve p tipi olmak üzere iki sınıf türünde üretim yapılır. Elektriksel iletim p-tipi yarıiletken yapısında çoğunlukta olan akım taşıyıcıları boşluk ile sağlanırken, n tipinde çoğunluk akım taşıyıcıları ise elektronlardır [29, 30].

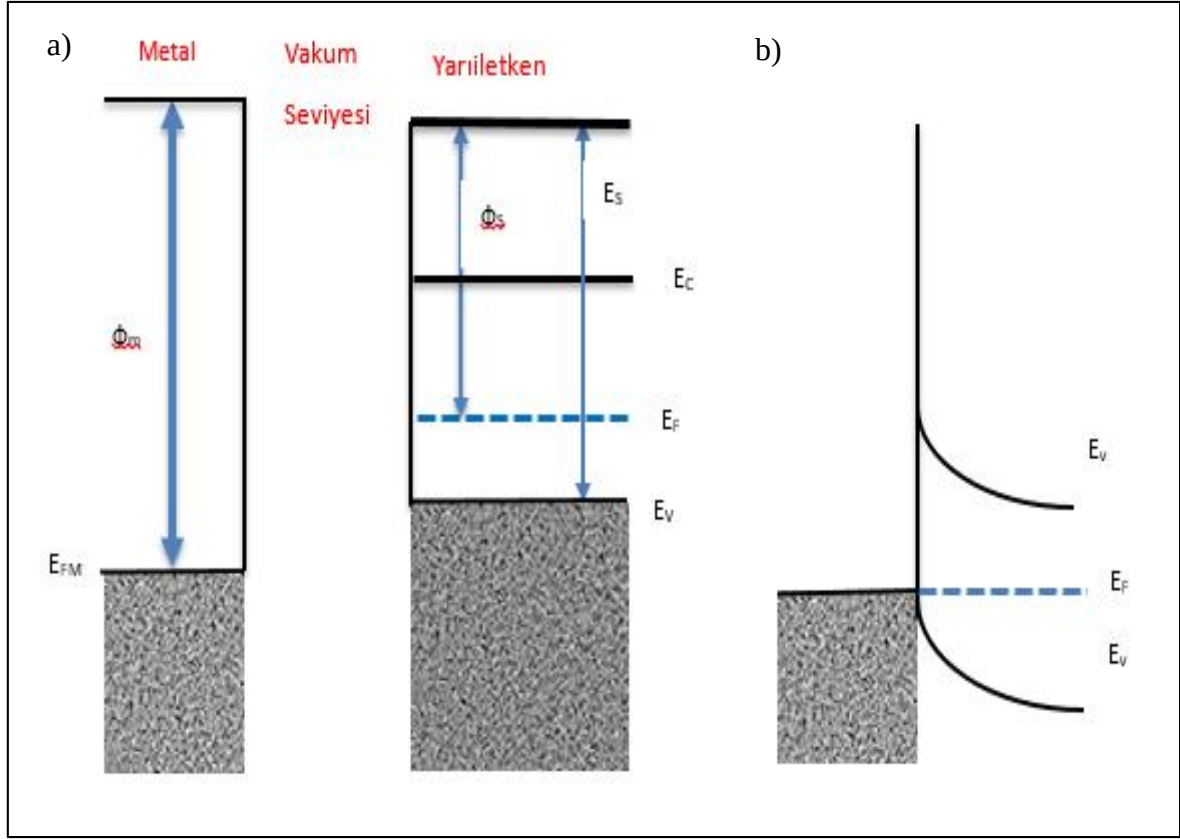
2.2. Metal Yarıiletken Kontaklar ve Türleri

Metal yarıiletken kontak yapısı, yarıiletken teknolojisinde tercih edilebilirliği yüksek doğrultucu kontak türlerindendir. Bu tür kontaklar yarıiletken ile metal yapılarının en az direnç değerinde birbiriyle kontak edilmesi ile elde edilen yapılardır. Yapılan kontak ile temas yüzeyinde yük akışı sağlanır ve bu akış ile yapılan yük alışverişi olayı, Fermi enerjisi seviyesinin eşitlenmesini sağlar. Daha sonra yeni bir yük dağılımı meydana gelir. MY kontaklar, metal ve yarıiletken yapıların iş fonksiyonlarının, birbirleri ile büyüklüğünün kıyaslanması bakımından omik ve doğrultucu kontak olmak üzere iki türde incelenir [1,17,31–33].

Çizelge 2.2. Yarıiletken türüne göre iş fonksiyon ve kontak türü [27]

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

P-tipi yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak, Φ_m ; metale ait iş fonksiyon değerine, Φ_s ise yarıiletkenine ait iş fonksiyon değeri ifadesine karşılık gelir. Çizelge 2.2’de gösterildiği üzere p tip MY yapıda metalin iş fonksiyon değeri yarıiletkeninkine kıyasla daha büyük ise omik kontak olarak tanımlanır.



Şekil 2.2. Metal p tipi yarıiletken omik kontağının a) Kontak işleminden önceki enerji band diagramı b) kontak işleminden sonraki enerji band diagramı

Φ_m : Metalin iş fonksiyonu

Φ_b : Metal ve yalıtkan arasındaki potansiyel engel yüksekliği

E_v : Valans (değerlik) bandı enerji seviyesi

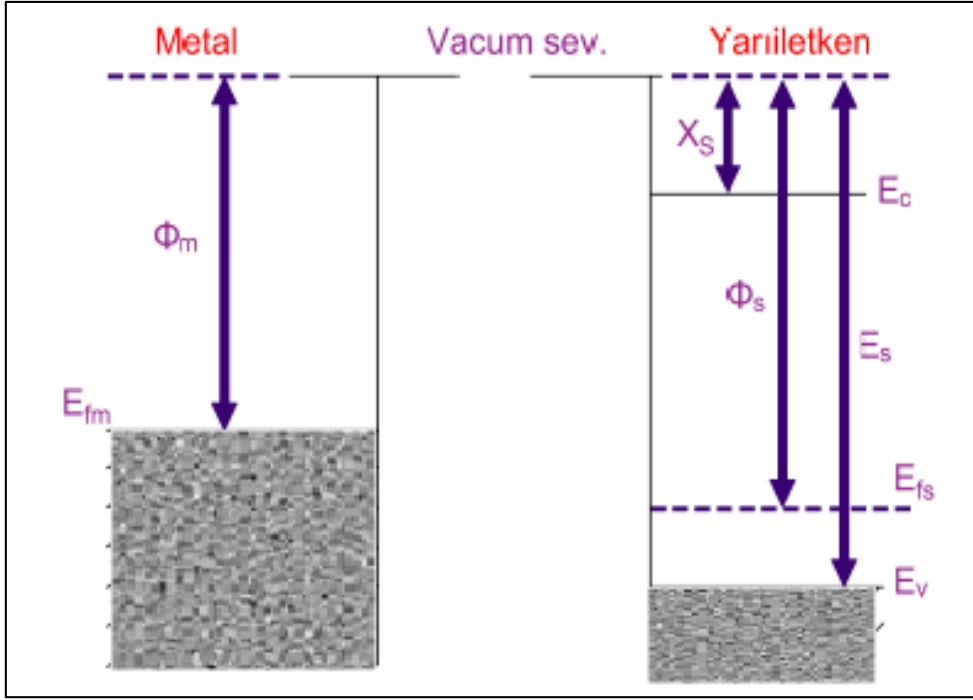
E_c : İletkenlik bandı enerji seviyesi

E_i : Saf fermi enerji seviyesi $((E_c - E_v)/2)$

E_F : Fermi enerji seviyesi

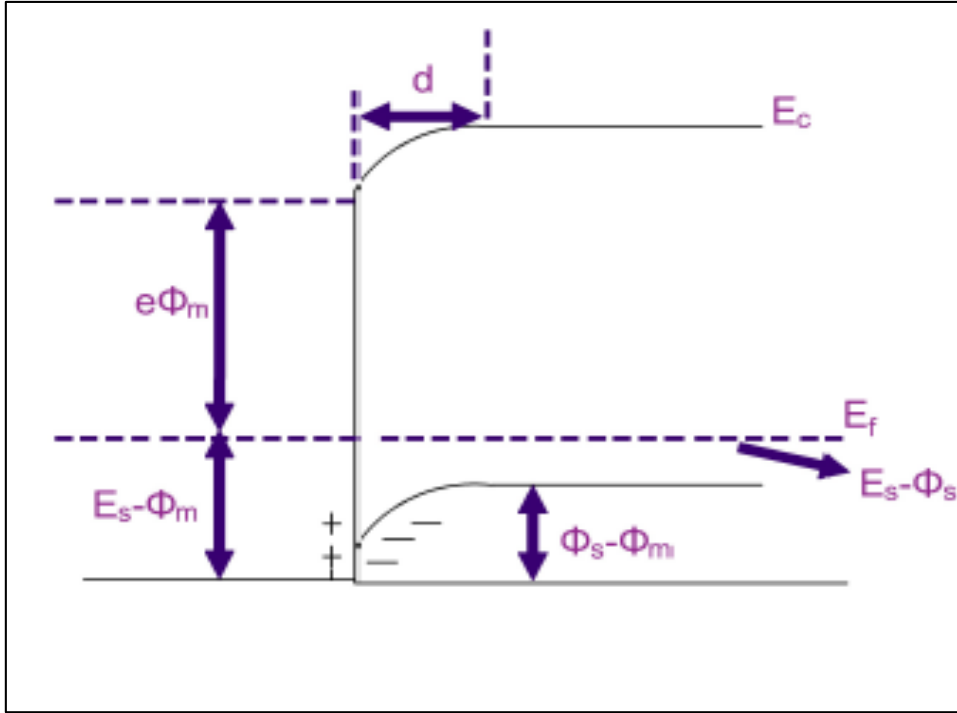
ψ_B : E_F ile E_G arasındaki enerji farkıdır[34,35].

Şekil 2.2’de kontak işleminden önceki ve sonraki enerji bant diyagramı gösterilmiştir. Kontak işlemi ile beraber yarıiletken tarafındaki elektronların hareket yönü metal tarafına doğru olur. Bu elektron akışı ile yarıiletken tarafından geçen elektronlar, gerisinde pozitif yüzey yükü (boşluklardan dolayı) bırakırlar ve metal tarafına giderek bu bölgede negatif yüzey yüküne sebep olurlar. Bu durumda yarıiletken tarafındaki Fermi Enerji seviyesi Şekil 2.2 (b) ‘de görüldüğü üzere metalle yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farkı ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar aşağıya kayar [36]. Yapıya V değerinde voltaj uygulandığında elektronlar zorlukla karşılaşmadan engeli geçebilirler. Bu tip kontak türü omik kontak olarak ifade edilir [37,38].



Şekil 2.3. Metal p tipi yarıiletken doğrultucu kontağın kontak işleminden önceki enerji band diyagramı

P tip MS yapısında, yarıiletken iş fonksiyon değeri metalin iş fonksiyon değerine kıyasla daha büyük olduğu durumlarda ise Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi doğrultucu kontak türü oluşur. Şekil 2.3’te p-tipi bir yarıiletken için doğrultucu kontak enerji-band diyagramı verilmiştir.

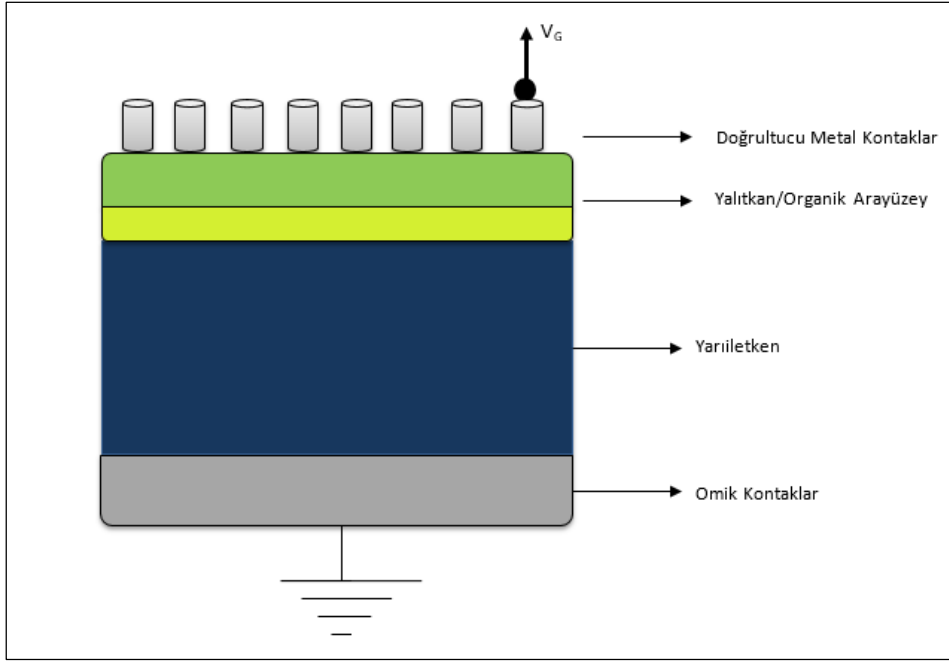


Şekil 2.4. Metal p tipi yarıiletken doğrultucu kontağın kontak işleminden sonraki enerji band diyagramı

Oda sıcaklığında alıcıların hepsi iyonize olduğu durumda, yarıiletkenin Fermi Enerji seviyesi metalin Fermi Enerji seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ fark değeri kadar aşağı konumdadır. Kontak işleminin ardından elektronların metal taraftan yarıiletken tarafa akışı başlar. Bu akış Fermi seviyelerinin dengeli konuma gelmesi ile son bulur. Bu durum yarıiletkenin yüzey tabakasında negatif yük birikmesine yol açar ve bu yükler bir uzay yükü tabakasına (Şekil 2.4'teki görselde d kalınlığı ile ifade edilen bölge) dağılır. Bu şekilde p-tipi yarıiletkende oluşan kontak yapısına doğrultucu kontak adı verilir [37,39].

2.2.1. Metal/yalıtkan/yarı iletken schottky diyotların yapısı

Yalıtkan veya organik (polimer) bir arayüzey tabakasının metal ile yarıiletken arasına eklenmesiyle metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken yapısı elde edilir. Şekil 2.5'te yer alan şematik gösterimdeki gibi eklenen arayüzey tabaka ile metal kısım ile yarıiletken kısmın teması kesilmiş olup yüzeyler arası yük hareketinin kontrolü sağlanır [1,40]. Bu yapılarda, MY yapısına kıyasla elektriksel iletkenliğin artırılması ve sızıntı akımını azaltılması hedeflenir.

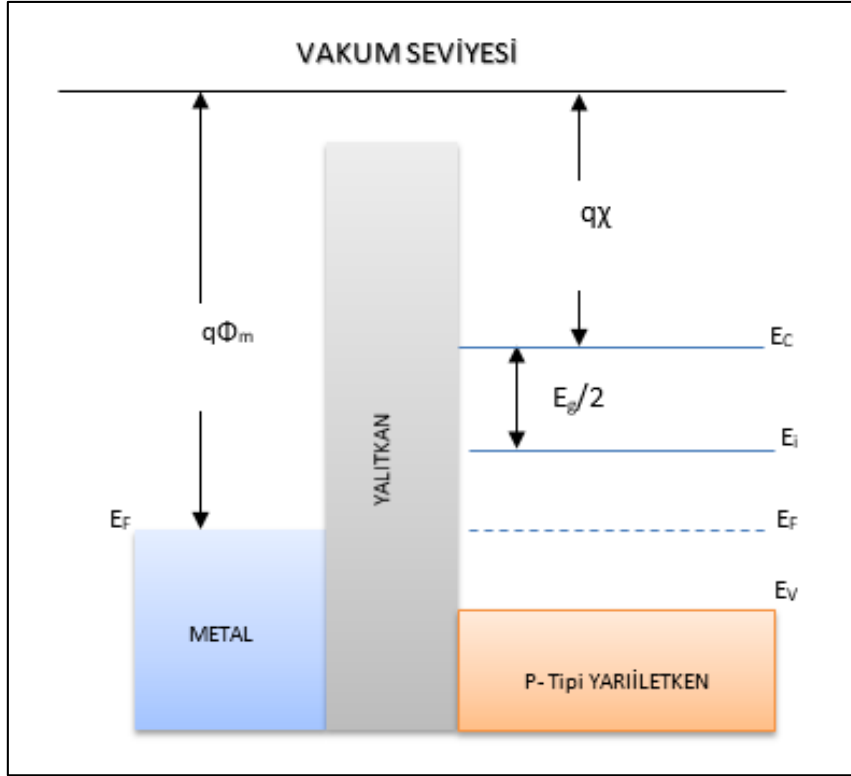


Şekil 2.5. Metal-yarıiletken-yalıtkan yapısının şematik görünümü

MYI yapısı üzerine uygulanan V_G gerilimi, seri direncin gerilim değeri ve diyot gerilim değeri toplamına eşit olur.

2.2.2. İdeal metal-yalıtkan-yarıiletken yapısı

Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya organik (polimer) bir arayüzey tabakasının varlığı yapıda arayüzey durumlarının ve seri direnç değerinin oluşmasına sebep olur. Bu tür yapısal kusurlardan dolayı oluşan durumların ideal bir metal/yalıtkan/yarıiletken yapısında ihmal edilecek seviyede olduğu varsayılır.

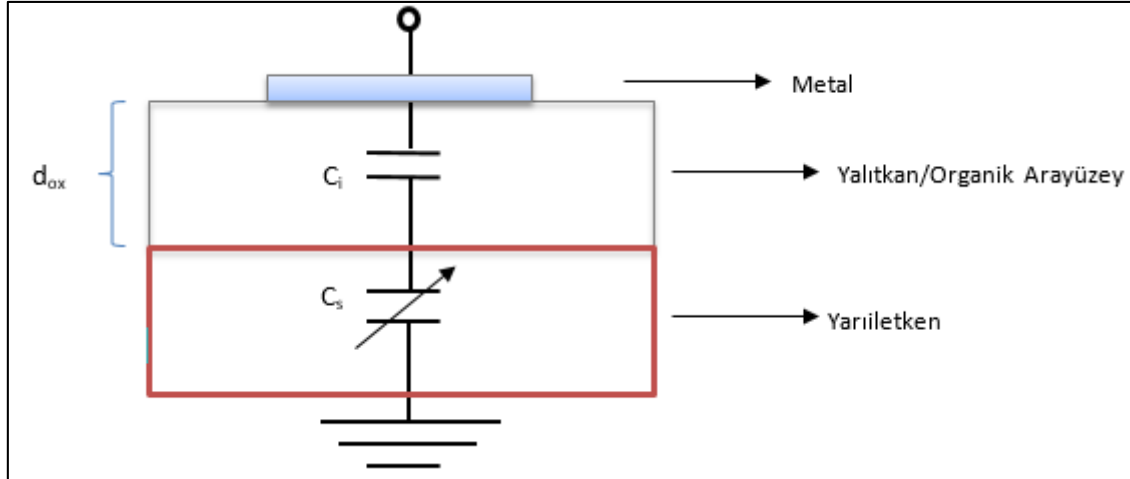


Şekil 2.6. P-tipi yarıiletken türünde dengedeki ideal MYY yapının enerji-bant diyagramı

Enerji-bant diyagramında şekil 2.6’da verilen bazı temel fiziksel tanımlamalar aşağıda verilmiştir. Şekil 2.6’da ideal yapıdaki MPY enerji bant diyagramı gösterilmiştir. İdeal MPY yapısında uygulanan gerilim değerinin sıfır olduğu ($V=0$) durumlarda idealite faktörü 1’e eşittir. Denge durumunda metalin iş fonksiyonu yarıiletkeninkine eşittir.

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \Phi_s = \Phi_m - (q\chi + E_g/2q + \Phi_b) = 0 \quad (\text{p-tipi yarıiletken türü}) \quad (2.1)$$

MYY eklemlerinde metal/yalıtkan ara yüzeyi ve diğeri de yalıtkan/yarıiletken ara yüzeyi olmak üzere iki bölgede arayüzey durumundan bahsedilir. İdeal MYY bir durumda yükler yarıiletkende ve yalıtkana yakın olan metal yüzeyinde birikirken yalıtkan/yarıiletken tarafında arayüzey durumları gözlenmez. Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka dielektrik özelliği gösterir ve uygulanan doğru akım geriliminde yalıtkan içerisinde yük hareketi olmaz. Bu yönüyle MYY yapılar aradaki yalıtkan tabakanın kapasitans değeri taşıdığı için paralel plakalı kondansatör gibi davranır. MYY kapasitansının eşdeğer elektronik devresi Şekil 2.7’deki gibidir.



Şekil 2.7. MYY yapısının kapasitans eşdeğer devre şeması

Eşdeğer devre şeması Şekil 2.7’de verilen bazı temel fiziksel tanımlamalar ve eşdeğer kapasitans değeri hesaplaması denklem 2.2 de gösterilmiştir.

C_s : Yarıiletkene ait kapasitans değeri

C_i : Yalıtkanaya ait kapasitans değeri

d_{ox} : Yarıiletken tabakasının kalınlık değeri

ϵ_i : yalıtkan filmin dielektrik sabiti,

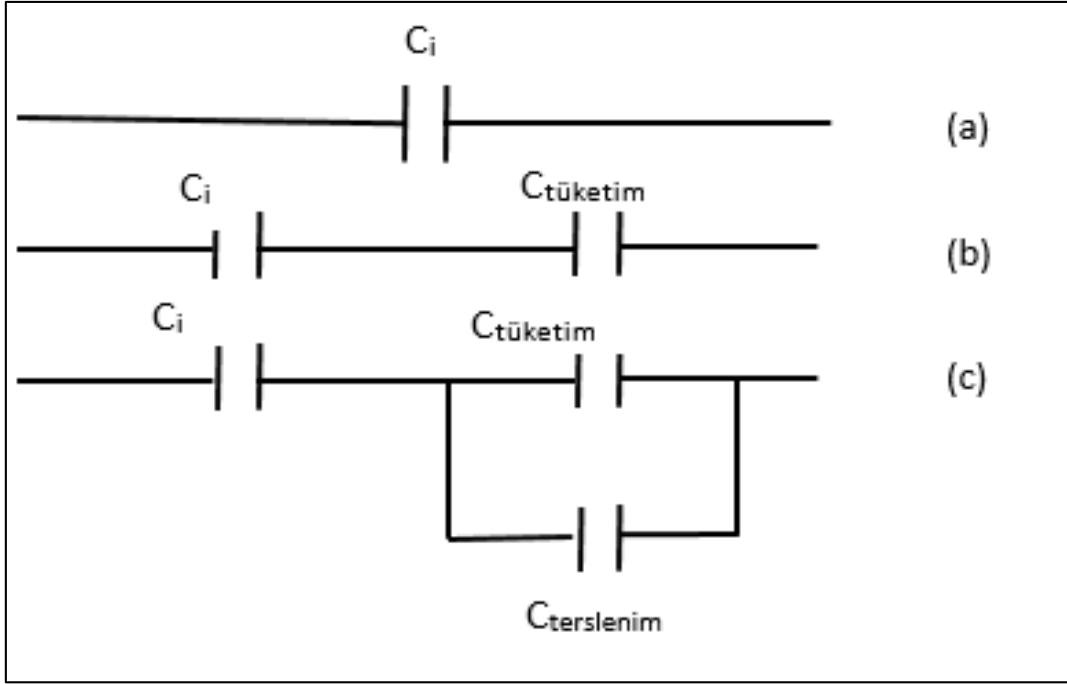
d : yalıtkan tabakanın kalınlık değeri

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_s} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2’ye göre MYY yapısına ait eşdeğer kapasitans değeri, yarıiletken ve yalıtkan kapasitanslarının seri bağlantı hesabı ile yapılır.

$$C_i = \frac{\epsilon}{d_i} A \quad (2.3)$$

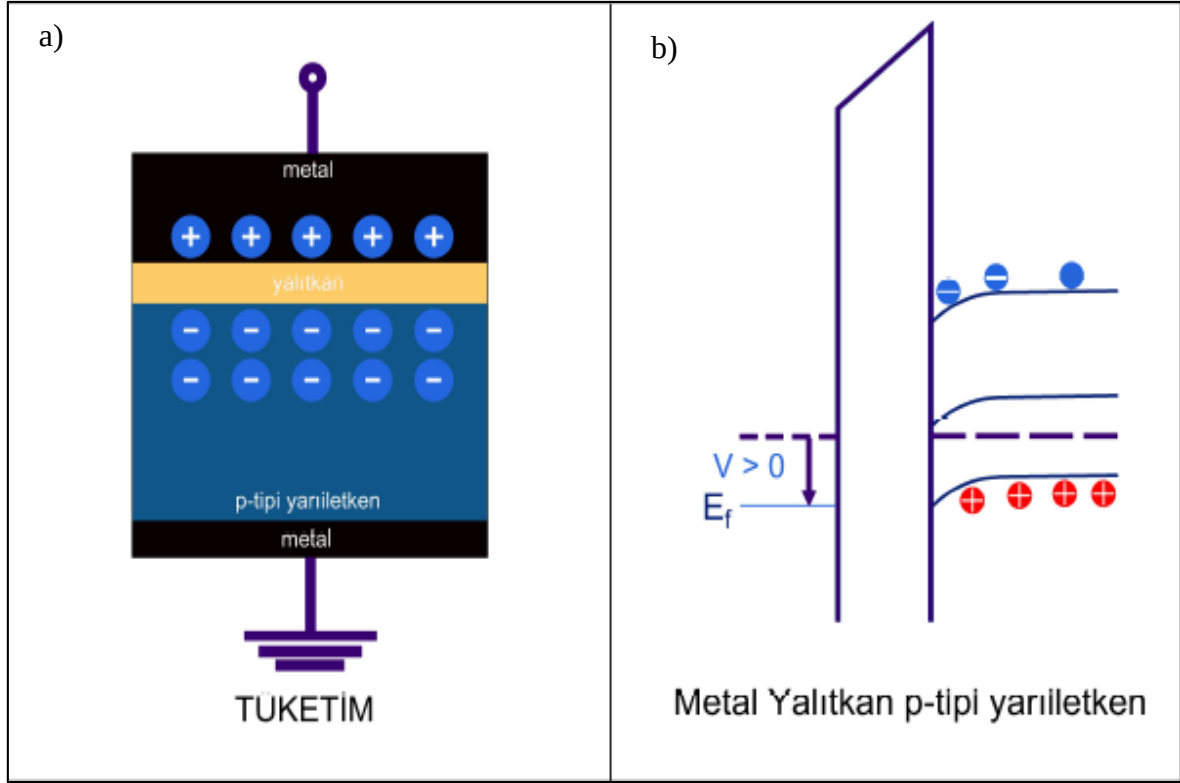
P tipi yarıiletkene sahip MYY yapısı üzerine uygulanan voltaj değerine bağımlı olarak yapıdaki yük dağılımına göre Şekil 2.8’de ki gibi durumlar oluşur [41,42].



Şekil 2.8. İdeal bir MYY yapının elektronik şeması (a) yığılma (b) yüketim (c) terslenim

2.2.3. Yığılım bölgesi

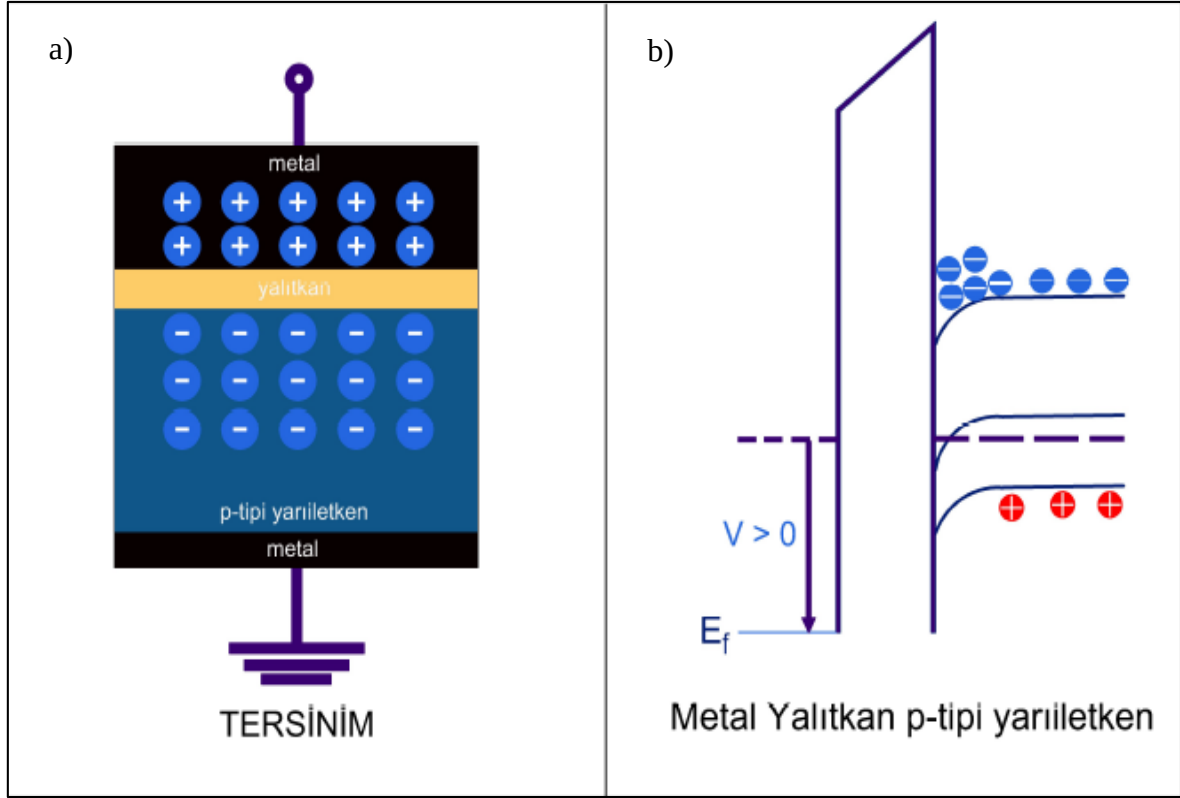
P tipi yarıiletkenlere sahip MYY yapısında herhangi bir yük hareketinin olmadığı durumlarda fermi enerji seviyesi sabit ve düzdür. Metal kontakt üzerinden uygulanan negatif voltajın etkisiyle çoğunluk yük taşıyıcısı olan boşluklar, yarıiletken ara yüzeyine doğru harekete geçer. Şekil 2. 9 (a)' gösterildiği gibi yarıiletken arayüzeyinde yığılarak birikir. Bu yığılımdan kaynaklı enerji bantlarında bükülme gerçekleşirken fermi seviyesi de yukarı doğru hareket eder. Enerji bantlardaki bükülme Şekil 2.9 (b)'te gösterilmiştir. Yarıiletken arayüzeyindeki hole yoğunluğunun bölgedeki birikinti durumuna "yığılma"(accumulation) bölgesi denir.



Şekil 2.10. a) Tüketim durumunda giriş ve yarıiletken üzerindeki yüklerin dağılımı b) ideal MPY yapısının tüketim durumunun enerji-bant durumu

2.2.5. Tersinim

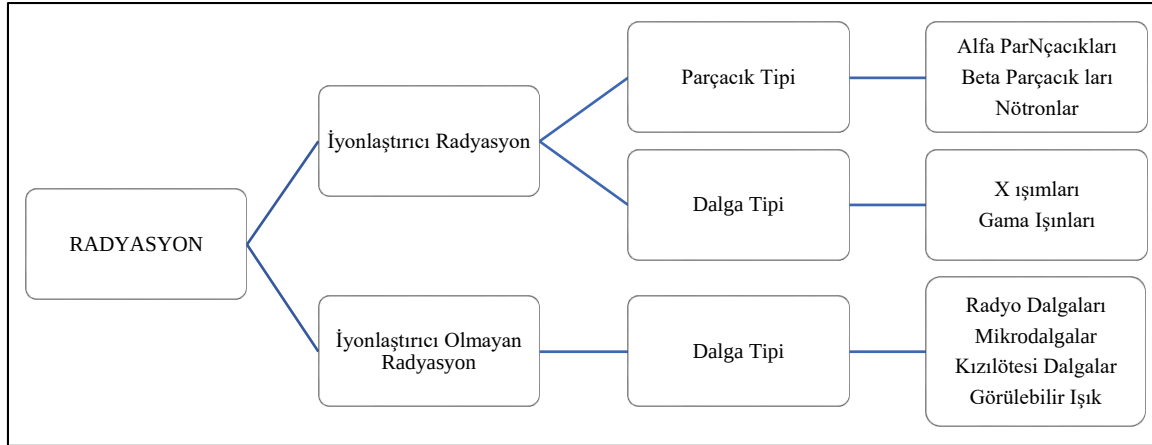
P tipi yarıiletkenlere sahip MYY yapısının metal kontakt üzerine yüksek seviyede pozitif voltaj uygulandığında Şekil 2.11 (a)' da gösterildiği gibi yarıiletken arayüzeyindeki çoğunluk yük taşıyıcısı olan hole yoğunluğu, yapıdaki elektron yoğunluğuna kıyasla daha azdır. Yüzeydeki elektron yoğunluğu enerji bantlarının yukarı doğru bükülmesine sebep olur. Fermi enerji seviyesi, Şekil 2.11 (b)'deki gibi iletkenlik enerji seviyesinin (E_i) altına geçer. Bu durum ile p-tipi yarıiletken yüzeyi, tersi davranış sergileyerek n-tipi yarıiletken özelliği gösterir. Bu olay, yarıiletken yüzeyinin tersinimi olarak adlandırılır.



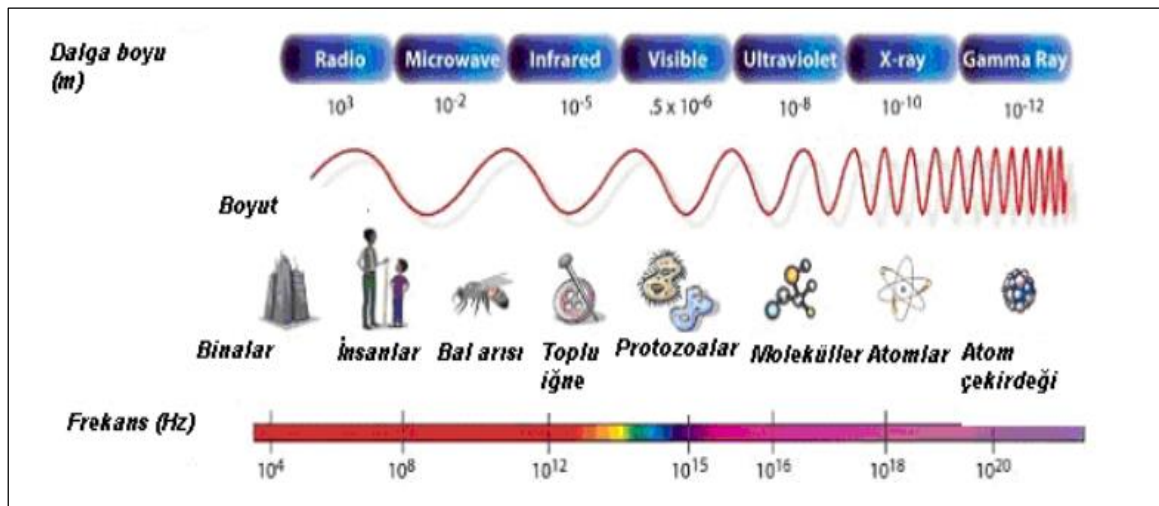
Şekil 2.11. Tersinim durumunda giriş ve yarıiletken üzerindeki yüklerin dağılımı b) ideal MPY yapısının tersinim durumunun enerji-bant durumu

2.3. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Keşfi 1896 yılına dayanan radyasyon hakkındaki çalışmalar Pierre Curie ve Marie Curie'nin radyasyon kaynaklarının keşfi ile devam etti. Gelişen teknoloji ile radyasyon ve maddeler üzerindeki etkileri araştırılarak farklı disiplin alanlarında etkin olarak yerini aldı. Sanayinin farklı faaliyet alanlarında, tıpta ve tarımda kullanılmaya başlandı. Radyasyon, kararsız yapıdaki maddelerin radyoaktif çekirdeklerini kararlı duruma getirmek için ortama yayılan enerji olarak tanımlanır. Bu tanım kapsamında çekirdeklerindeki proton ve nötron sayıları eşit olan veya kararsızlığa neden olmayacak derecede birinin fazla sayıda olması dışında olan atomlar ise kendiliklerinden farklı ışınlamalar yayarak başka atomlara dönüşme eğilimi gösterirler. Bu atomlara radyoaktif atom, yayınladıkları ışınlara ise radyasyon adı verilir.



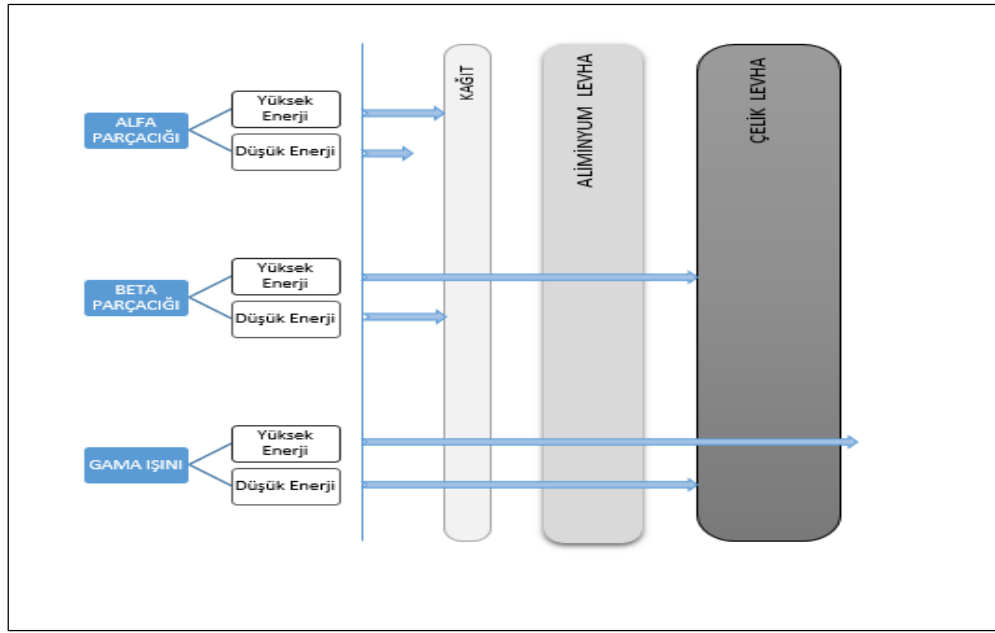
Şekil 2.12. Radyasyon türlerinin sınıflandırılmasının şematik görünümü



Şekil 2.13. Elektromanyetik radyasyon spektrumu [43]

Radyasyon türlerinin sınıflandırılmasının şematik görünümü Şekil 2. 12 ‘de verilmiştir. Şekil 2.13 ‘te gösterilen elektromanyetik spektrumdaki ışınlar sahip oldukları enerjiye göre iyonize radyasyon ve iyonize olmayan radyasyon olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Yüksek enerji grubunda yer alan iyonize radyasyon çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) meydana getiren radyasyon olarak tanımlanır. Bu radyasyona maruz kalan maddenin atomundan radyasyonun etkisiyle elektron koparılır. İyonize radyasyon parçacık ve dalga radyasyon olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Parçacık radyasyonu; çok hızlı hareket etme yeteneğine sahip, belli bir enerji ve kütlesi olan minik parçacıklar olarak ifade edilir. 4 MeV - 8 MeV aralığında enerjisi olan parçacık radyasyon türündeki α -parçacıkları iki kere iyonlaşmış pozitif yüklü helyum çekirdekleridir. Atomlarla çarpışan α -parçacıkları, hızları ve enerjileri azalana kadar çok sayıda iyonlar oluşturur. Bu durum ortamdaki elektronların tutularak nötr atom haline gelmesiyle son bulur. Atom yapısına bağlı olarak ışık hızının 1/10-

1/15'i kadar hızla α -parçacıkları radyoaktif yayılım yapar. Radyoaktif bir atomdan yayılan bu ışıma ile yapıda elektriksel, kimyasal ve ısı olayları gözlenir. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere α -parçacıklarının giricilikleri β -parçacıklarına kıyasla daha azdır. Yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyon grubunda yer alan β -parçacıkları radyonüklidler tarafından yayınlanan pozitif ya da negatif yükteki elektronlardır. Bu parçacıklar, erişme uzaklığı diğer parçacık tipi iyonize radyasyon türlerine kıyasla daha fazladır.



Şekil 2.14. Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak giricilik değişimi

İyonize radyasyon sınıfındaki dalga tipi radyasyon ise kütesiz olup belli bir enerjiye sahip olan iyonize radyasyon türüdür. Bu radyasyon türleri, titreşim yaparak yayılan elektrik ve manyetik enerji dalgalarına benzer davranış sergiler. X ışınları, Gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon grubunun dalga tipi radyasyon türünde yer alır [44].



Şekil 2.15. Gama ışıması [28]

1900 yılında P. Villard tarafından bulunan gama ışınları, Şekil 2.15'te gösterildiği gibi radyoaktif bozulmanın ardından uyarılmış olan çekirdekten yayınlanan elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanır. Bu ışınlar, elektromanyetik spektrumunda yüksek enerjili grupta yer alır. Frekans değeri 30×10^{18} Hz değerinin üzerinde olan gama ışınlarının dalga boyu 1 pm civarındaki en kısa dalga boyundaki elektromanyetik dalgalardan oluşur [45].

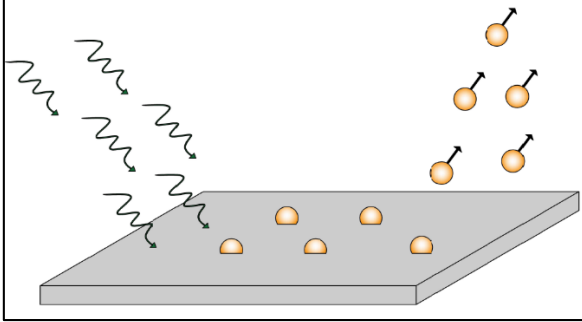
2.3.1. Gama ışınlarının madde ile etkileşimi

İyonlaştırıcı radyasyonlar grubundaki ışınlar, madde yapısında değişikliğe sebep olur[46]. Bu yapısal mikroskobik değişiklik, maddeye nüfuz eden radyasyonun yapıdaki atom ya da moleküllerle etkileşmesinden kaynaklanır. Radyasyon etkileşim sırasında enerjisinin belli bir kısmını ya da tümüyle ortamda kaybeder. Etkileşmeyi sağlayan yapıdaki, fotoelektrik soğurma, Koherant Saçılma, Compton saçılması ve çift oluşum olaylarıdır. Bu olaylar sonucunda foton ya soğurulur veya enerjisinin bir kısmını maddede bırakarak saçılır ya da hiç enerji bırakmadan orjinal yönünden sapar.

2.3.2. Fotoelektrik soğurma

Fotoelektrik soğurma olayı, frekansı belli olan fotonun ışığa karşı duyarlı yüzeye çarpıp elektron koparması olarak tanımlanır. Şekil 2.16'da fotoelektrik soğurma olayı gösterilmiştir. Metal tabaka yüzeyindeki atoma bağlı elektronun enerjisi gelen fotonun

enerjisinden küçük olduğunda soğurma olayı gerçekleşir ve belli kinetik enerjiye sahip bir elektronun yayılımı olur [29].



Şekil 2.16. Fotoelektrik soğurma

Fotoelektrik etki, bağlanma enerjisi yüksek olan yüksek atom numaralı elementlerde daha fazladır. Madde ile etkileşime giren fotonun enerjisi 0.001 MeV ile 0.5 MeV aralığında ise fotoelektrik soğurma olayının etkin olması daha muhtemeldir. Bu olayın gerçekleşmesi Eşitlik 2.4'deki gibi Einstein fotoelektrik eşitliği ile ifade edilmiştir [29,47].

$$E_e = h\nu - \phi \quad (2.4)$$

Bu eşitlikteki serbest hale geçen elektronun kinetik enerji (E_e), sökülen elektronun bağlanma enerjisi de (ϕ), gelen fonon enerjisi ($h\nu$) olarak tanımlanır. Buradaki h Planck sabiti olup değeri $6,63 \times 10^{-34} J.s$ dir.

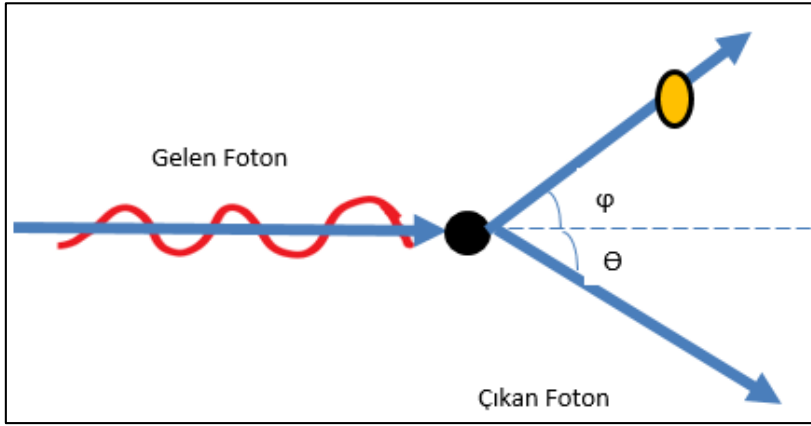
$$\phi = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5' de gösterildiği gibi sökülen elektronun bağlanma enerjisi elektronun kinetik enerjisidir. Gelen fonon enerjisi, sökülen elektronun bağlanma enerjisinden cebirsel olarak büyük olduğunda atomdan sökülen elektron kinetik enerjisini kaybeder ve K yörüngesinden elektron sökülme olayı gerçekleşmiş olur [30].

2.3.3. Compton saçılması

Compton saçılması, belli bir enerjiye sahip fotonun maddeye çarpması ile çekirdeğin atomundaki bağlanma enerjisi düşük olan elektronların sökülme olayıdır. $h\nu$ enerjisine sahip gelen foton çekirdeğe çarpıp atomun en zayıf bağlanma enerjili elektronu kopardıktan

sonra daha düşük enerjili (hV') olarak saçılır. Bu durum Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Gelen fotonun enerjisi 0.1 MeV ile 0.5 MeV aralığında ise ve sökülen elektronun bağlanma enerjisi gelen fotonun sahip olduğu enerjiye göre ihmal edilecek kadar az olması durumunda compton saçılmasının olma olasılığı artar [48]. Fotonun saçılma açısı, fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır. Compton saçılımının teorisinde enerji ve momentum korunur. Şekil 2.17’deki enerji ve momentum korunumu ilkesine dayanarak Eşitlik 2.6’daki gibi fotonun enerjisi hesaplanır.



Şekil 2.17. Compton saçılma olayı

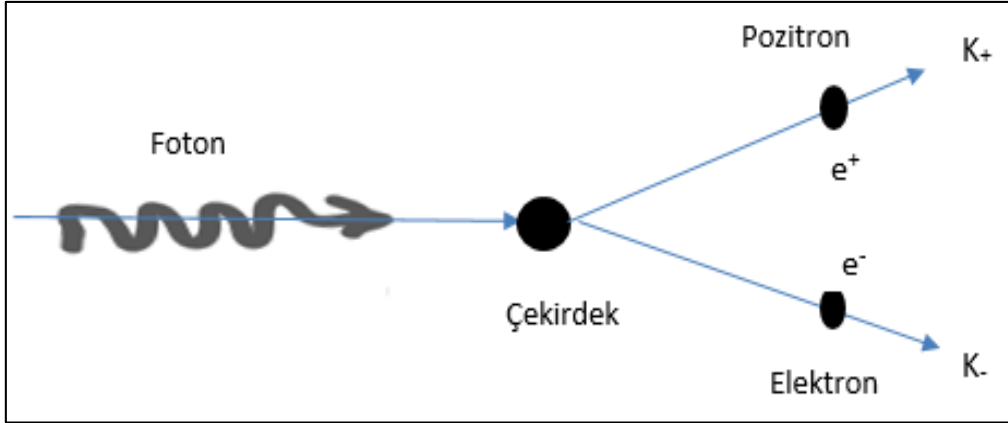
$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2.6)$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c (1 - \cos \theta)} \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.6’da verilen, yayılan elektronun enerjisi E' , yayılım açısı θ ve $m_0 c^2$ elektronun sabit kütle enerjisi olarak tanımlanır. Eşitlik 2.7’de ise gelen ve saçılan dalga boyu arasındaki farkı göstermektedir. Fotoelektrik olay K ve L tabakalarındaki elektronlarıyla ilgili iken compton saçımı daha çok dış tabaka elektronları ile ilgilidir.

2.3.4. Çift oluşumu

Çift oluşumu, gelen fotonun atom çekirdeğine çarpması ile pozitron ve bir elektrona dönüşmesi olayıdır. Kütleleri ve yükleri eşit olan elektron ve pozitron Şekil 2.18’de görüldüğü gibi birbirleri ile ters işaretlidir.

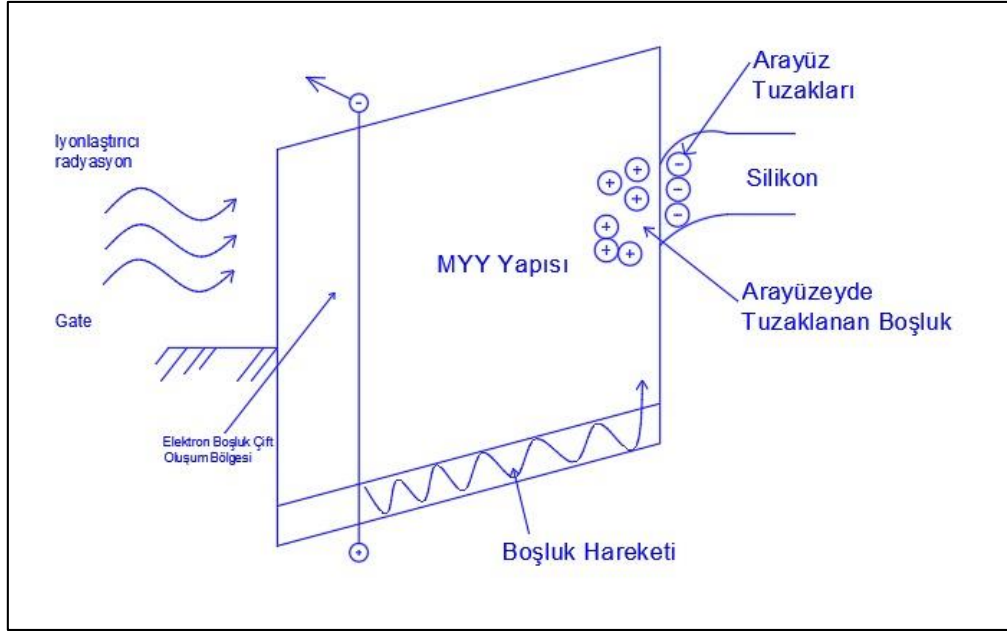


Şekil 2.18. Çift oluşum olayı

Çift oluşumu olayının gerçekleşebilmesi için gelen fotonun enerjisi 1.02 MeV'den küçük olmamalıdır. Çekirdek etrafında gerçekleşen bu olay korunum ilkeleri kapsamında gerçekleşir. 1.02 MeV'den büyük enerjili fotonun çekirdekle etkileşimi ile oluşan çift oluşumu sonrası toplam yük, toplam enerji ve çizgisel momentum ve korunur [29].

2.4. Radyasyonun Yarıiletken Malzemelere Etkisi

İyonize radyasyona maruz kalan yarıiletken malzemelerde yapısal deformasyon gözlenir. MYY yapılarıdaki radyasyon etkisi çoğunlukla yalıtkan tabaka bölümündedir. Bu tabakada yüksek enerjili radyasyona bağlı yapı kusurları, arayüzey tuzakları oluşur. Şekil 2.19'de gösterildiği gibi iyonize radyasyon yapıya temasıyla elektron – boşluk çifti oluşur. Yüksek direnç değerine sahip olmayan malzemelerde oluşan elektron – boşluk çifti kapı (gate) bölümünde yok olur. Başka bir ifade ile iyonize radyasyon maruziyeti sonrası yapının direnç değerinin küçük olması ile oluşan elektron boşluk çifti birbirini nötrler. Arayüzey tabakası içerisinde elektron – boşluk çiftinin mobilite değerleri farklı olduğundan yapı içindeki tutumları da farklıdır.

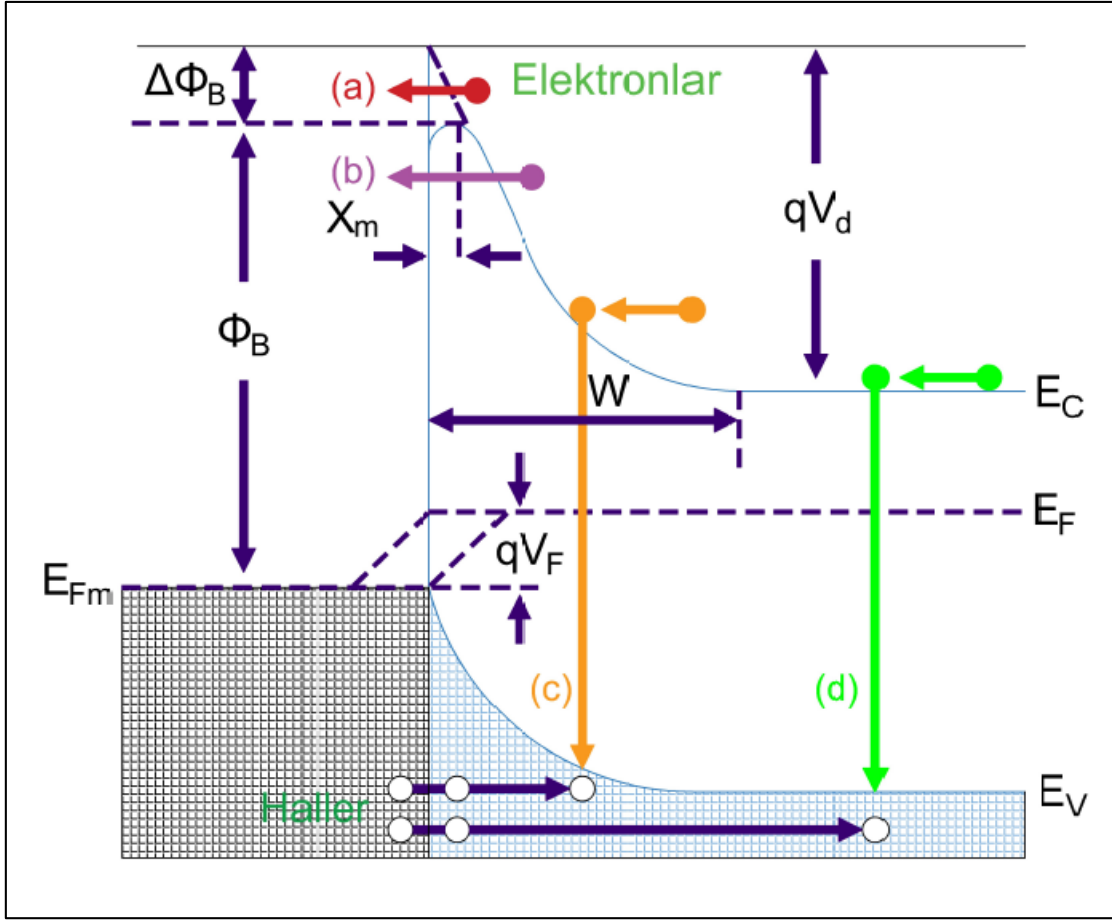


Şekil 2.19. Radyasyonun MYY yapısı üzerindeki etkisi

Elektron- boşluk çifti yalıtkan tabakası içerisindeki var olan doğal elektrik alan ile birbirinden ayrılarak büyük çoğunluğu farklı yönlerde dağılırlar. MYY yapısının metal kısmına ileri yönlü gerilim uygulanması durumunda elektronlar hızla metale doğru yönelir. Boşluklar ise sıçrama yoluyla yalıtkan/polimer-yarıiletken arayüzeyine doğru hareket eder. Bu sırada mobilite farklılığından kaynaklı polimer arayüzeyine geçemeyen bir sabit pozitif yük verebilen boşluklar bu bölgede arayüzey tuzakları oluşturur [49,50]. Yalıtkan/polimer tabakada iyonize radyasyon yapıda kalıcı etki bırakır [51,52]. Oksit tabaka içindeki tuzaklanmış yüklerin ve yarı iletken- yalıtkan yapısındaki ara yüzey tuzaklarının çoğunlukta olma durumu yapıdaki kalıcı hasara neden olur. Yüksek enerjili radyasyon ile yapıdaki elektronlar hollere kıyasla hız kazanırken pozitif yüklü ve hareketsiz olan boşluklar oksit tabaka içinde tuzaklanır. MYY yapısındaki iyonize radyasyon ile meydana gelen hasar, maruz kalınan radyasyon altında yapının soğurduğu enerji miktarı veya radyasyon dozu ile ilişkilidir [53].

2.5. Metal Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

Termoplastik Metal- yalıtkan- yarıiletken kontakların akım-iletim mekanizmaları dört ana grup altında incelenir. Schottky diyotlarındaki elektronların ileri besleme altındaki iletim mekanizmaları Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. MYY yapısının ileri besleme altındaki akım iletim mekanizma adımları

İleri yönde gerilim uygulanan metal-yalıtkan- yarıiletken yapısının Şekil 2.20’de verilen akım-iletim mekanizmalarının adımları şu şekildedir.

1. Adım (a) : Yarıiletken taraftan metalin içerisine doğru potansiyel engelin tepesini aşmak için yeterli seviyede termal enerjiye sahip olan taşıyıcıların hareketidir. Bu adım termiyonik emisyon teorisi ile açıklanır. Bu iletim mekanizmasında ideal katkılanmış MIS yapıları için uygun modeldir.
2. Adım (b) : Elektronların yarıiletken taraftan metalin içerisine doğru kuantum mekaniksel tünellenme olayı ile geçiş yapmasıdır. Difüzyon Mekanizması olarak da bilinen bu iletim mekanizmasında Termiyonik Alan Emisyonu ve Alan Emisyonu etkilidir. Bu durum düşük sıcaklık değerinde yüksek katkılı yarıiletken yapılarıyla büyük kısmı omik kontaklar için daha etkin bir mekanizmadır.
3. Adım (c): Uzay-yükü bölgesinde oluşan yeniden birleşim olayını ifade eder.

4. Adım (d): Elektron veya boşluk için enjeksiyon olarak belirtilen nötral bölgelerde birleşmelerin olduğu iletim mekanizmasıdır. Ters yönde gerilim uygulandığı durumlarda ve düşük sıcaklık değerinde etkili olan bir modeldir.

2.6. Termioyonik Emisyon Teorisi

Metal/p tipi yarıiletken Schottky diyot yapılarında yarıiletken tarafındaki elektron taşıyıcılarının potansiyel engeli aşabilecek termal enerjiyle metal tarafa hareket etme teorisi, Termioyonik Emisyon olarak ifade edilir. Bethe tarafınca ileri sürülen bu teoride termal denge durumunun ve Maxwell- Boltzmann tutumunun etkin olması için olaydan MYY yapısının potansiyel engel değeri kT enerjisinden çok daha büyük olduğu kabul edilir. Ayrıca bu kuramda Schottky bölgesinde taşıyıcıların birbirleri ile çarpışma durumlarının neredeyse olmadığı ve hayali görüntü kuvvetlerinin ihmal edilecek kadar küçük olduğu varsayılır.

Bethe' e göre Termioyonik Emisyon teorisinde akımın hareket yönü, metal ile yarıiletken tabaka arasındaki bariyerin yapısına ve biçimine bağlı olmaz iken yalnızca bariyer yüksekliğiyle ilgilidir. Bariyer yüksekliğinin çeşitli faktörlerden (sıcaklık, radyasyon, ışık vb.) etkilenecek değişmesi idealite faktör değerini de etkileyecektir. İdeal koşullar altında TE etkisi neredeyse tam olup idealite faktörü 1 değerine eşit olur.

Yarıiletken taraftan metal tarafa ($I_{S \rightarrow M}$) doğru Akım yoğunluğunun matematiksel ifadesi ve bazı temel fiziksel tanımlamalar aşağıda verilmiştir [1].

A : kontak alanı

m^* : taşıyıcı etkin kütlesi

k : Boltzmann sabiti $\Phi_F + q\Phi_b$: termioyonik yayınım için gerekli minimum enerji

v_x : iletim yönündeki taşıyıcı hızı

h : Planck sabiti

Φ_b : engel yüksekliği ($V_n + V_d$) ;

$$I_{S \rightarrow M} = \int_{\Phi_F + q\Phi_b}^{\infty} qv_x A dn \quad (2.8)$$

$$I_{S \rightarrow M} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) A T^2 \exp\left[-\frac{q(V_n + V_d)}{kT}\right] \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.8’de görüldüğü üzere akım elektron dağılımının bariyeri aşmak için gerekli olan enerjisine ve yönelimine bağlı olur. Yarıiletkeniden metale geçen elektronların akım denklemi olarak Eşitlik 2.9 kullanılmaktadır. Bariyer yüksekliği tüm yüzeylerde aynı olması yapıya uygulanan voltaj akımın akış yoğunluğunu etkilemez [54].

2.7. MYY Yapısının Elektriksel Karakteristik İncelemede Kullanılan Faktörler

MYY yapılarının elektriksel karakterizasyonu ortaya koyabilmek için yapıya ait idealite faktörü, seri direnç, engel yüksekliği ve arayüzey durumları (D_{it}) gibi parametreleri bu bölümde incelenmiştir. MYY yapılarının elektriksel karakterizasyonu ortaya koyabilmek için yapıya ait idealite faktörü, seri direnç, engel yüksekliği ve arayüzey durumları (D_{it}) gibi parametreleri bu bölümde incelenmiştir.

$$n = 1 + \frac{\left(\frac{\delta}{\epsilon_i}\right) + \left(\frac{\epsilon_s}{W_d + qN_{sb}}\delta\right)}{1 + \left(\frac{\delta}{\epsilon_i}\right)qN_{sa}} \quad (2.10)$$

W_d : tüketim bölgesinin genişliği

N_{sa} : metal ile dengede olan ara yüzey durumlarının yoğunluğu,

N_{sb} : yarı iletken ile dengede olan ara yüzey durumlarının yoğunluğu,

ϵ_i : oksit kısmın geçirgenliği

ϵ_s : yarı iletkenin geçirgenliğidir

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak arayüzey yoğunluk değerine göre farklı durumlar ortaya çıkar.

Durum 1: Yapıya ait arayüzey durum yoğunluğu çok küçük olması halinde N_{sa} ve N_{sb} ihmal edilir.

$$n = 1 + \frac{\delta \epsilon_s}{W_D \epsilon_i} \quad (2.11)$$

Durum 2: : Yapıya ait tüm arayüzey durumlarında metal dengede ise: $N_{sa} > 0$ kabul edilir:

$$n = 1 + \frac{\delta \varepsilon_s}{W_D(\varepsilon_i + \delta N_{sa})} \quad (2.12)$$

Durum 3: : Yapıya ait tüm arayüzey durumları yarıiletken ile dengede ise

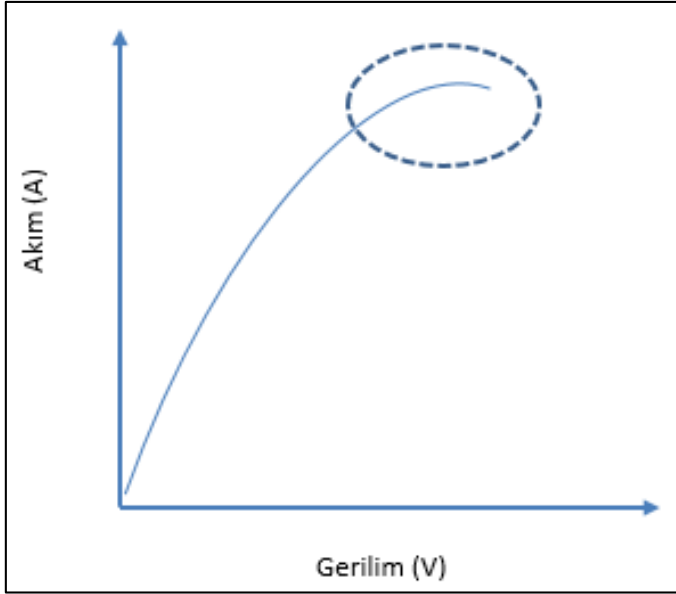
$$n = 1 + \left(\frac{\delta}{\varepsilon_i}\right) \left(\frac{\varepsilon_s}{W_D + qN_{sb}}\right) \quad (2.13)$$

Eşitlikleri ile tanımlanır. Yukarıda ifade edilen durum 1 ve durum 2 eşitliklerinde görüldüğü üzere ara yüzey durum yoğunluğunun ve oksit tabaka kalınlığının idealite faktörüne etkisi baskın değildir.

Durum 3'te ise idealite faktörü ara yüzey durumları N_a ve oksit tabakasının kalınlığı ile doğru orantılı olacak şekilde artar [56]. Bunlara ek olarak sıcaklık değerindeki yükseliş ile idealite faktörünü azaltmaktadır. n değeri, MYY yapısına ileri besleme gerilim uygulanması ile alınan ölçüm sonrasında yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen $\ln I - V$ grafiğinin eğim değerinden elde edilir [57,58].

2.7.1. Seri direnç

MYY yapılarındaki sembolü olan R_s seri direnç, diyottan geçen akımın değerinde kaybına neden olan nötr bölgesindeki dirençtir. Şekil 2.21'deki gibi akım gerilim grafiğindeki yapı üzerine uygulanan voltaj değerinin artması ile seri direnç etkisinden dolayı akımda azalma olur.



Şekil 2.21.Seri direncin etkisi

MYY yapısında seri direnç değerini bulmak için ileri besleme gerilim uygulanması ile alınan ölçüm sonrasında yapılan hesaplamalar sonucu $n=1$ iken Norde metodu kullanılarak R_s ve Φ_b değerleri bulunur [59,60].

2.7.2. MYY yapısı değerlerinin cheung fonksiyonları ile hesaplanması

1986 yılında MYY yapılarına ait elektriksel özelliklerini tanımlayıcı parametrelerin hesaplanma yöntemleri Cheung tarafından literatüre dahil edildi. I-V grafiğinin ileri beslemeye bölümündeki değişimler göz önünde bulundurularak Termoyonik Emisyon teorisiyle hesaplanan denklemlerden Cheung fonksiyonu Eşitlik 2.14’de gösterildiği gibidir.

$$\frac{dV}{d \ln(I)} = IR_s + \frac{kTn}{q} \quad (2.14)$$

Eşitlik göz önüne alındığında MYY yapısındaki seri direnç değeri ve idealite faktörü, yapıdan elde edilen akımın $dV/d(\ln I)$ değerine göre grafiğinden bulunur. Bu lineerlik davranış sergileyen doğrusal grafiğin eğimi ve y eksenini keştiği bölgeden n ve R_s değerlerine ulaşılır. Yapıya ait diğer bir parametre olan engel yüksekliğine ulaşmak için $H(I) - I$ grafiği çizilir ve Eşitlik 2.15’ deki gibi formulize edilir. Cheung fonksiyonu kapsamında çizilen Akıma karşın $H(I)$ grafiğindeki doğrunun eğiminden seri direnç bulunurken $H(I)$ ’nın ekseninin kesim bölgesi de Φ_b verir.

$$H(I) = IR_s + n\phi_b \quad (2.15)$$

2.7.3. MYY yapısı değerlerinin norde fonksiyonları ile hesaplanması

MYY yapılarında seri direnç ve engel yükseklik değerlerini hesaplamak için Norde farklı bir tanım sunmuştur. İdealite faktör değerinin 1'e eşit olduğu durumlarda $F(V)$ fonksiyonundan yararlanılır [61]. Norde tarafından $F(V)$ fonksiyonu $n=1$ durumunda seri direnç ve engel yüksekliğini tanımlamak için oluşturulmuştur. Bu yöntem Φ_b ve R_s 'nin sıcaklıkla değişmediği durumlarda kullanıldığı için sadece bir sıcaklıkta I-V eğrisi gerekir [60,62]. Metal -yarıiletken kontak yapısının doğru beslem I-V karakteristikleri yardımı ile Schottky diyot parametrelerinin hesaplanmasında Cheung, tarafından farklı bir model sunuldu. $F(V)$ -V grafiğinin minimum değerinin $F(V_0)$ olduğu Eşitlik 2.16 ile bariyer yüksekliği hesaplanır.

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (2.16)$$

$$\phi_b = F(V_0) - \frac{kT}{q} + \frac{V_0}{2} \quad (2.17)$$

3. DENEYSEL YÖNTEMLER

Kurşun oksit suda ve etanolde çözünmeyen, amonyum klorürde, kostik sodada, nitrik asitte ve asetonda çözünen Resim 3.1’ de gösterildiği gibi sarı bir tetragonal tozdur. Litarj olarak adlandırılan kırmızı veya turuncu-kırmızı alfa formu ve massicot olarak adlandırılan sarı beta formu olmak üzere kristal olarak ikiye ayrılır. Alfa formu tetragonal kristaller oluştururken beta modifikasyonu ortorombik kristal yapıya sahip sarı amorf bir tozdur. Alfa formu normal sıcaklıklarda stabildir ve 489°C’de ısıtıldığında beta formuna dönüşür [63]. PbO’nun genel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1.Toz kurşun oksit[64]

Kurşun oksit elde etmek için kurşun tabletleri ısıtılır ve 170-200 °C arasında öğütülür. Daha sonra 600 °C nin üzerinde yüksek sıcaklıkta oksidasyona hazılanır. Oksit ürünler kurşun oksiti elde etmek için öğütülür. Üretim kimyasal eşitlik 3.1’deki gibi gösterilir.



Formülü PbO olan Kurşun oksit literatürde,

- Elektrokaplama olarak kıymetli metallerde

- Kompozit malzemelerde (kurşun oksit malzemelerde)
- Elektron tüplerinde, optik camlarda, X-ray kurşun camlarda, radyasyona dayanıklı kauçuk ürünlerde
- Amino asitlerin çöktürülmesinde
- PVC plastik stabilizatör imalatında ve diğer kurşun tozlarının hammaddesi olarak
- Boya endüstrisinde boya kurutucu için kurşun sabun yapmak için yağ ile birlikte
- Pil plakası imalatında ve yağ arıtmada
- Cam ve kauçuk endüstrisinde yapıştırıcı üretmek üzere gliserol ile birlikte

kullanılır.

PbO'nun katkılındığı malzemenin manyetik ve elektriksel duyarlılığına etki etmesi kullanılacak alana özgü tercih sebebidir. Seramiklere katkılanan PbO ile yapının manyetiksel duyarlılık etkisinin artırılması sağlanır. Radyasyona karşı dayanıklı olmak için X-ray kurşun camlarda PbO mevcuttur [65,66].

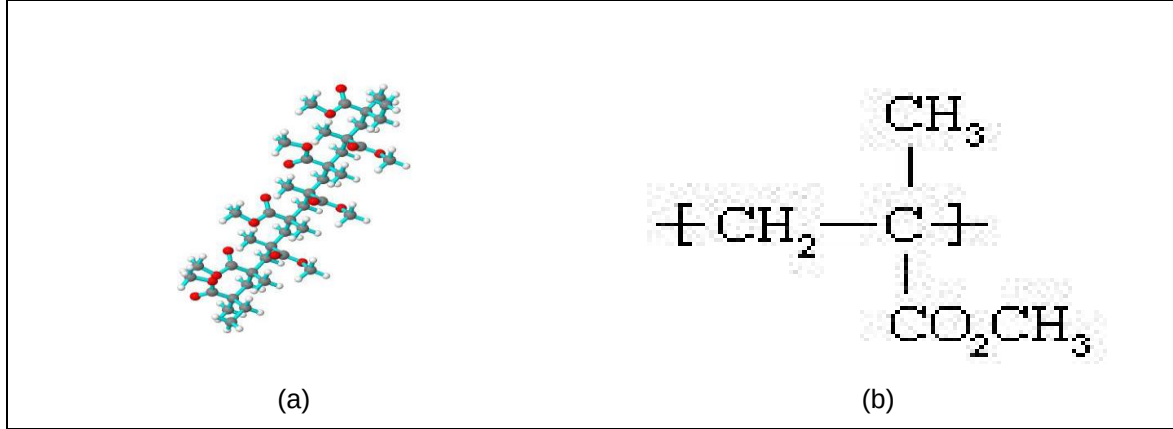
Çizelge 3.1. PbO özellikleri

Erime sıcaklığı	886 °C
Kaynama sıcaklığı	1470 °C
Yoğunluk	9.53 g/cm ³
Kırılma indisi	2.67
Renk	Sarı
pH	8-9

3.1. PMMA (Polimetilmetakrilat)

Akrilik grubunda yer alan PMMA Metakrilik asidin ($\text{CH}_2 = \text{C} [\text{CH}_3] \text{CO}_2\text{H}$) esterlerindendir. Şeffaf bir termoplastik polimer olan PMMA literatürde akrilik cam ya da pleksiglas olarak da tanımlanır. İşlenebilme kolaylığı ve fiyat olarak uygun olması tercih nedeni olsa da nispeten kırılgan olması kullanım alanlarını kısıtlar. Saydamlık konusundaki üstünlüğü sayesinde 35 cm kalınlığa kadar saydam yapısını muhafaza eder. Aynı zamanda optik saydamlığı ve çevresel koşullara özellikle ultraviyole radyasyona karşı mukavemeti ile birçok optik uygulamada tercih sebebi olmaktadır. Ayrıca boyutsal olarak kararlı yapısı avantajları arasındadır. Bununla birlikte, gama sterilizasyonuna karşı olan direnci, darbeye

karşı dayanım ve kimyasal direnci, otomotiv, havacılık ve tıbbi endüstri sektörlerinde kullanımını yaygın kılmaktadır. Saydamlığa geçiş sıcaklığı yaklaşık olarak 120 °C dir. Genellikle propilenden üretilir. Yapısal olarak görünümü ve kimyasal yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) PMMA yapısal modeli [67], b) Poli-metil metakrilatın kimyasal yapısı

3.2. Al/PMMA/PbO/p-Si Numunesinin Hazırlanması

Al/PMMA/PbO/p-Si Yapının Hazırlanması aşamaları genel olarak aşağıdaki gibidir.

- i. Kimyasal temizleme prosedürleri ile Silisyum levhanın temizlemesi
- ii. Silisyum levhanın arka yüzeyine omik kontak yapısının eklenmesi
- iii. PbO nano tabakasının yapıya eklenmesi
- iv. PMMA tabakasının yapıya eklenmesi
- v. Numune hazırlanması tamamlanarak ölçüme hazırlanması

Bu tez çalışmasında levha malzemesi olarak p-tipi (100) yüzey yönelimde büyütülmüş kalınlığı 280 µm olan 10 Ω.cm öz dirence sahip Resim 3.2’ deki gibi bir yüzü parlatılmış Bor katkılı Silisyum (Si) levhası kullanılmıştır.



Resim 3.2. p-tipi (100) silisyum kristali

3.2.1. Kimyasal temizleme prosedürlerinin ile silisyum levhanın temizlemesi

Kimyasal temizlenme, yarıiletken Silisyum tabaka üzerindeki kendiliğinden var olan oksitlenmeyi ve yapıdaki organik kirler için yapılır. Numune üretiminin ilk aşaması olan p-tipi (100) Silikon levha üzerine kimyasal temizleme işlemlerinde RCA prosedürü uygulanmıştır. Levha pürüzsüzlüğü için Resim 3.3'te gösterilen cihaz ile ultrasonik banyoda ağır metal ve organik kirler kristal yüzeyden arındırılmıştır.



Resim 3.3. Beher bandelin sonorex marka ultrasonik

Levha öncelikle 10 dakika süreyle 50°C 'de aseton içerisinde tutulmuş olup ikinci işlem olarak asetondan çıkarılan levha deiyonize su ile yıkanarak metanol içerisinde 2 dakika

boyunca bekletilmiştir. Tekrar deiyonize suyla temizleme işlemi yapılarak levha 70°C sıcaklıktaki NOH_4 : H_2O : H_2O_2 solüsyonunda 15 dakika daldırılmıştır.



Resim 3.4. Innovation water purification marka deiyonize su sistemi

Levha üzerinde bulunan serbest haldeki oksijenin yüzeyden arındırılması için 2 dakika süreyle %2 HF çözeltisinde bekletilmiştir. Resim 3.4’de gösterilen cihaz ile kimyasal temizleme prosedürün son adımı levhanın deiyonize suyla temizleme işlemi ile yerine getirilmiştir.

3.2.3. Silisyum levhanın arka yüzeyine omik kontak yapısının eklenmesi

Temizleme işlemlerinin tamamlanan silisyum levhanın omik kontak yapısının oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Yöntem olarak vakum altındaki buharlaştırma (evaporasyon) methodu seçilerek $2 \cdot 10^{-6}$ Torr basınç altında neredeyse saf Al (%99,999) büyütülmüştür. 500°C sıcaklıkta vakumda 10 dakika süreyle tavlanan silisyum levhanın yüzeylerine omik kontak oluşturulmuştur.



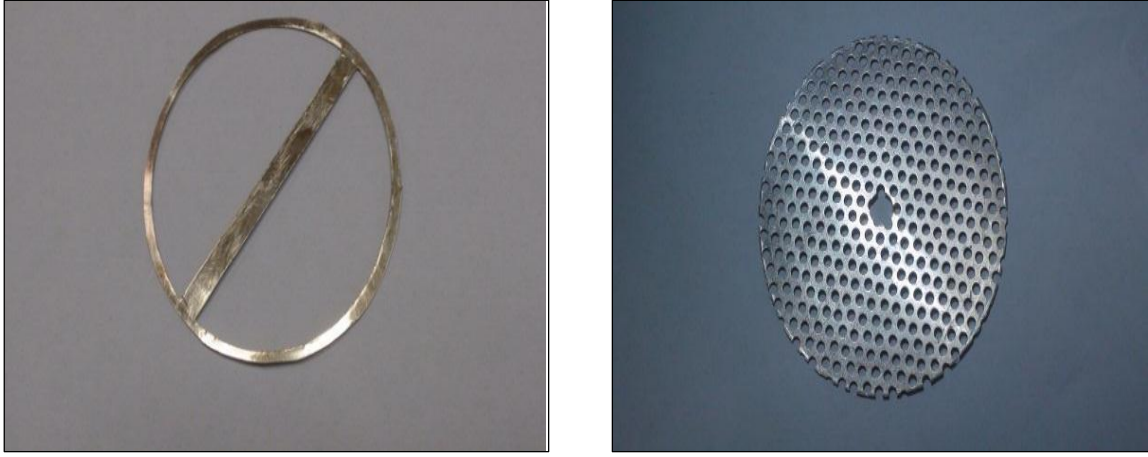
Resim 3.5. Buharlaştırma sisteminde kullanılan “Edwards” marka cihaz

3.2.3. Pbo nano tabakasının ve PMMA tabakasının yapıya eklenmesi

Numune üretim sürecinin üçüncü aşamasında Resim 3.5’teki cihaz kullanılarak Evaporasyon methodu ile ince filmler yapıya dahil edilmiştir. PbO nanotabakası, $2 \cdot 10^{-6}$ Torr değerindeki basınç ile levhaya kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. PbO nanotabaka 280 um Si levhanın üzerine 20 nm kalınlığında kaplanmıştır. Daha sonra döndürme yöntemi kullanılarak 10 nm kalınlığındaki PMMA tabakası yapıya eklenmiştir.

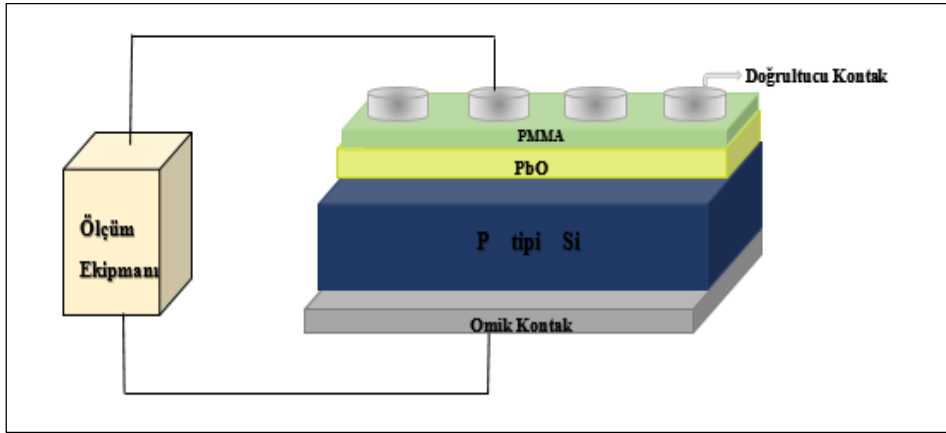
3.2.4. Numune hazırlanması tamamlanarak ölçüme hazırlanması

Numuneyi ölçüme hazır hale getirmek için nihai işlem adımı doğrultucu kontağın oluşturulmasıdır. Doğrultucu kontak için PbO ve PMMA tabakalarının üzerine bir Resim 3.6’ daki gibi maske konulmuştur. Delikli yapıya sahip maske yüzeyine neredeyse saf Al (%99,999) buharlaştırılmıştır. Son numune üretim aşamasında metal kaplama yapılmıştır. 10 nm kalınlığındaki son katman PMMA tabakasının üzerinde $1.280 \text{ \AA}$ kalınlığında %99.999 Al konumlandırılmıştır. Numune üzerinde $2 \cdot 10^{-6}$ Torr basınç ve buharlaştırma (evaporasyon) yöntemi ile çapı 1.3 mm olan dairesel bir yapıya şekil verilmiştir.



Resim 3.6. Numune üretimini son aşamasında kullanılan omik ve doğrultucu kontaklarda kullanılan maskeler

Böylelikle MYT yapısındaki Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin üretim aşamaları tamamlanarak fazlaca diyot elde edilmiştir. Hazırlanan numuneye ait diyotların şematik görünümü ve ölçüm sisteminin blok diyagramı Şekil 3.2’deki gibidir.



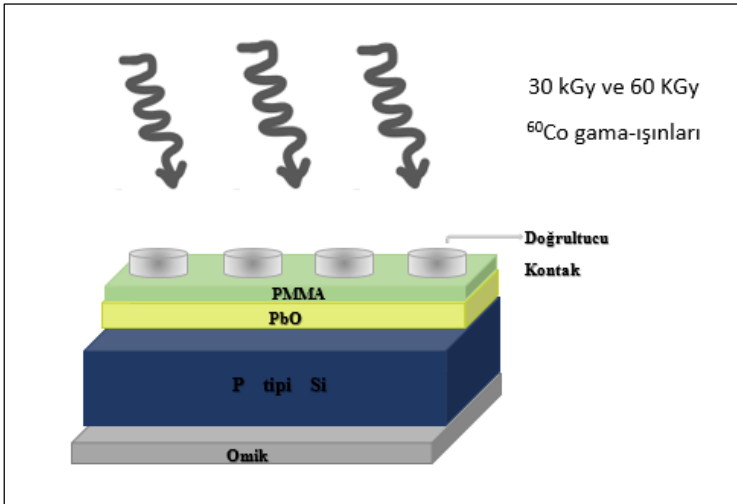
Şekil 3.2. Işınlanmamış Al/PMMA/PbO/p-Si Tipi numunesi ve ölçüm sisteminin şematik görünümü

Üretilen Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numunesinin elektriksel karakterizasyon parametreleri için ölçüm cihazı olarak Resim 3.7’deki cihaz kullanılmıştır.



Resim 3.7. Yokogawa Gs610 Source marka ölçüm cihazı

Üretilen Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numunesinin iyonize radyasyonuna karşı duyarlılığı incelemek için ^{60}Co gamma ışınlaması TENMAK'a bağlı NÜKEN Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numune oda sıcaklığında, karanlık ortamda 0,69 kGy/sa şiddetine sahip 30 kGy ve 60 KGy radyasyona maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numunesinin farklı dozlarda ışınlanmasının şematik görünümü

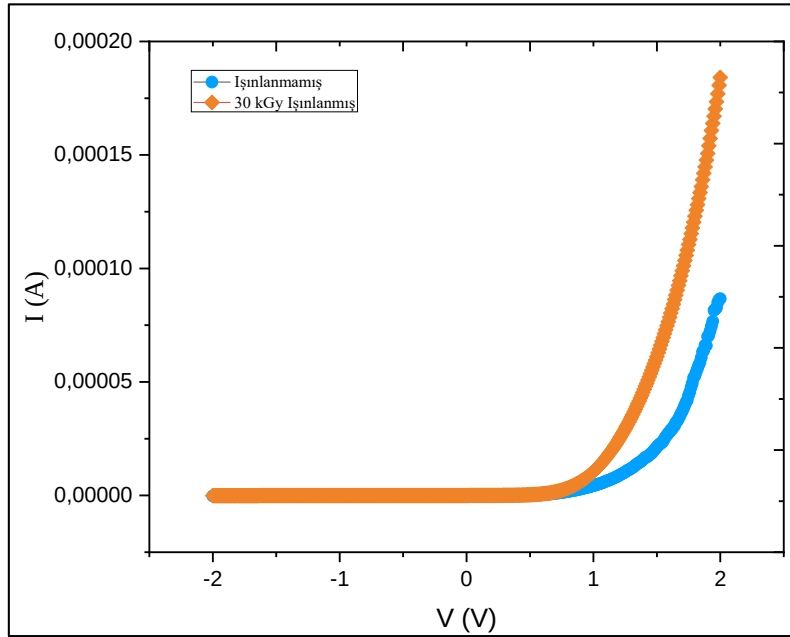
Oda sıcaklığında, karanlık ortamda farklı dozlarda (30 kGy ve 60 kGy) ışıma yapılan numuneden tekrar elektriksel ölçümler yapılmıştır.

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

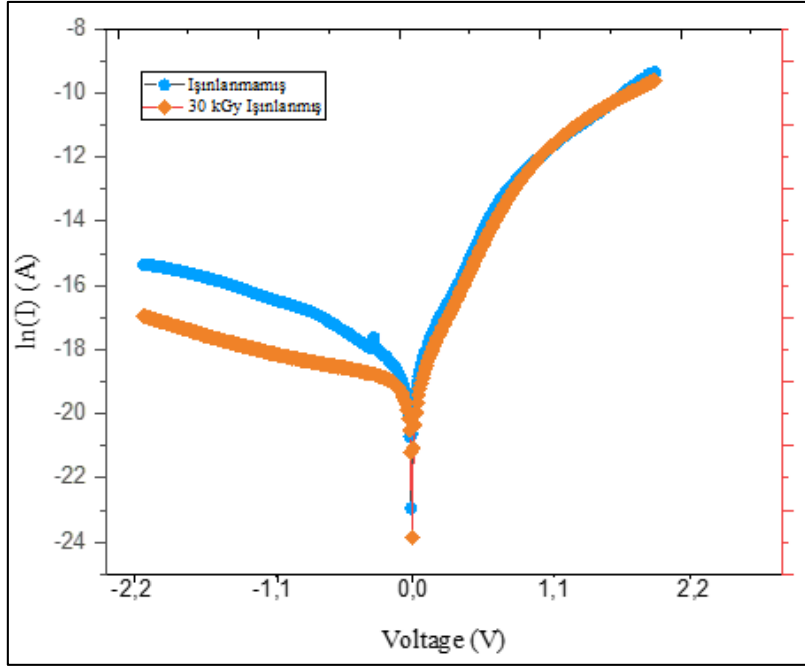
İyonize radyasyonun malzemeler üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılabilmesi için radyasyon öncesi ve sonrasında çeşitli ölçümlerin karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, hazırlanan Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numune üzerinde I-V ve C-V ölçümleri alınmış ve bu ölçümler literatürdeki ilgili hesaplama yöntemleriyle analiz edilmiştir.

4.1. Akım Voltaj (I-V) Karakteristik İncelemesi

Oda sıcaklığında ve karanlık ortamda bulunan numunenin ışınlanmamış ve 30 kGy ışınlanmış halinin I-V ölçüm grafikleri Şekil 4.1’de sunulmuştur. ± 2 V voltaj aralığındaki ileri ve ters beslem akımlarının karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilmesi için akımlardaki ölçüm sonuçları logaritmik ölçek ile grafiklenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi diyot karakteristiğinden kaynaklanan lineerlikle ileri beslem tarafındaki değişimler ile idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç parametreleri hesaplandı. Öte yandan, akıma bağlı temel parametrelerin elde edilmesinde kullanılan logaritmik ileri beslem akımlarının ($\ln(I)$ -V) grafiği ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin radyasyona bağlı I-V grafiği



Şekil 4.2. Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin radyasyona bağlı ln(I)-V karaktersitik grafiği

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

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

$$\Phi_b = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4.3)$$

Al/PMMA/PbO/p-Si numunesi üzerindeki iyonize radyasyon etkisi literatürdeki termoiyonik emisyon teorisine göre Eşitlik 4.1 ile incelenmiştir. Eşitlikte yer alan ifadeler idealite faktörünü, değeri $1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ olan Boltzmann sabiti ve birimi Kelvin olan sıcaklık şeklindedir. Eşitlik 4.1'deki I_0 ters doyum akım olup ve Eşitlik 4.2 'de gösterildiği gibi formülize edilir. Denklemdaki A doğrultucu kontak alan, p tipi Si levhalar için A^* etkin Richardson sabiti ($A^*=32 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$) anlamına gelir. Bu denklemler kullanılarak n ve Φ_b parametreleri bulunur.

Literatürde ideal diyot özelliği idealite faktör değerinin "1" olması ile ifade edilir. Diyot yapısındaki arayüzey durumları ve seri direnç etkisi ile ilişkili olarak idealite faktörü "1" değerinden uzaklaşır. İleri polarma altında, doğrusal bölgedeki lnI-V grafiğinin eğiminden n

değeri bulunur. $\ln I$ - V grafiğinde orta gerilim bölgesindeki lineer bölge eğiminden n değeri aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

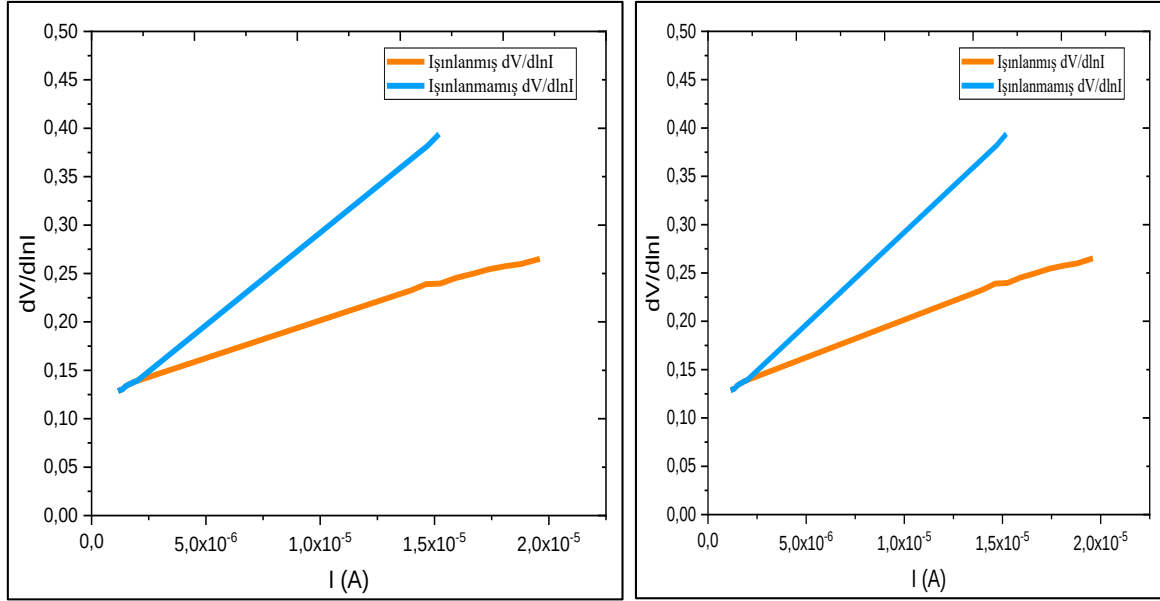
$$n = \frac{q}{kT} \ln \left(\frac{dV}{d(\ln I)} \right) \quad (4.4)$$

Çizelge 4.1.'den de anlaşıldığı gibi Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numune, yapıdaki ara yüzey durumlarından ve tuzaklarından, seri direnç etkisinden dolayı ideal yapıdan farklıdır. Numune üzerine 30 kGy doz ile ışınladıktan sonra numunenin idealite faktörü herhangi bir radyasyona maruz bırakılmadan önceki idealite faktörüne kıyasla daha düşük değerde olduğu saptanmıştır. Seçilen Termoiyonik Emisyon Yöntemi, Cheung Metodu ve Norde metodu ile 30 kGy dozundaki ışınlarının numune üzerinde n faktörünü düşürücü yönde etkilediği görülmüştür. Bu düşüşün nedeni iyonize radyasyonun ara yüzey durum/tuzaklarının azaltması yöndeki etkisine dayandırılabilir. Elektronların yapı içerisindeki tuzaklardan atlamadığından engel yüksekliği artarken idealite faktörü düşer. Diğer yandan seri direnç etkisi numune yapısı üzerine elektriksel karakteristik yönünden etki bırakır. Bu etki, matematiksel olarak Cheung metod eşitliği ile analiz edilmiştir. Seri direnç ve engel yüksekliği hesaplama yöntemi Eş. 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkt}{q} + IR_s \quad (4.5)$$

$$H(I) = nQ_b + IR_s \quad (4.6)$$

Oda sıcaklığında ve karanlık ortamda bulunan numuneye ait ışınlamadan önce ve sonraki $H(I)$ - I ' ya karşı $dV/d\ln(I)$ - I numunenin grafikleri Şekil 4.3'deki gibidir. Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6 hesaplamaları ile $H(I)$ - I grafikleri çizilmiş ve grafiklerden yararlanılarak seri direnç değeri grafik eğimi göz önüne alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Işınlamadan önce ve sonraki $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I grafiklerinin lineer bölgeleri

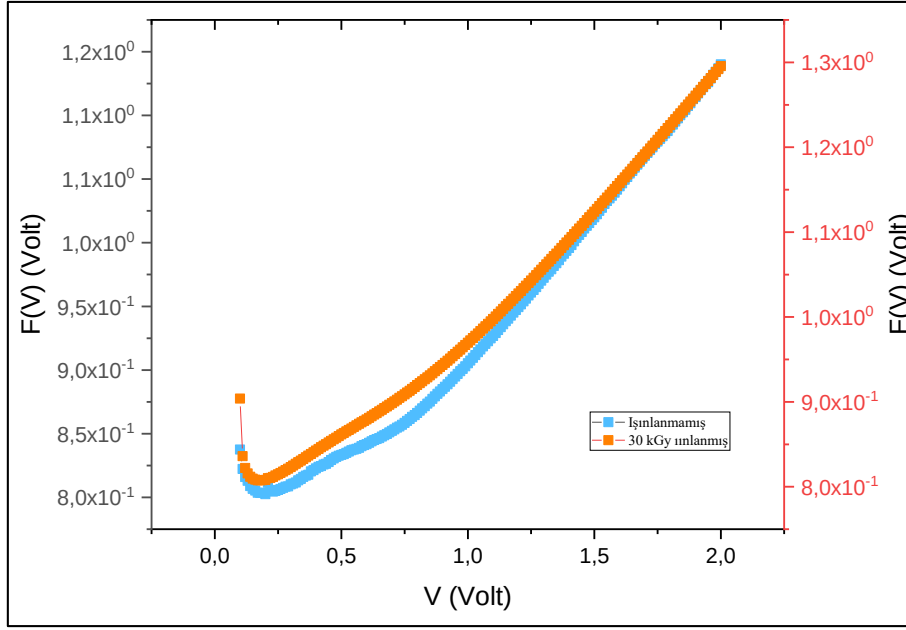
Seri direnç değerini Norde fonksiyonu kullanılarak da bulunması mümkündür. Norde fonksiyonu olarak tanımlanan $F(V)$ 'nin akıma karşı grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Seri direnç etkisi ilgili grafiğin $F(V)$ değerinin minimum noktasında görülebilir. Φ_b ve R_s değerleri grafikteki minimum nokta değerleri (V_0 , $F(V_0)$) kullanılarak elde edilir. Al/PMMA/PbO/p-Si tipi numunesinin seri direnç değeri ve engel yükseklik değerleri Norde yöntemi fonksiyonunu hesaplamaları aşağıdaki verilmiştir.

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7'deki $I(V)$ akım değeri, γ idealite faktöründen daha büyük değerdeki I-V grafiğinden edinilir. Şekil 4.4'te gösterilen $F(V)$ 'nin minimum nokta değerleri (V_0 , $F(V_0)$) değerleri tanımlanmış olup engel yüksekliği ve seri direnç değeri aşağıdaki gibidir.

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.8)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_0} \quad (4.9)$$



Şekil 4.4. Işınlamadan önce ve sonraki F(V)-I grafiğı

Böylece yapılan hesaplamalar ve analizler sonucu hazırlanan numunenin diyot parametrelerinin radyasyon dozlarına bağılı olarak değışimleri elde edilmiş ve tüm bu değerler Çizelge 4.1’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yöntemlerden elde edilen kontak parametrelerinin karşılaştırılması

Işınlama doz miktarı (kGy)	Termoiyonik Emisyon Yöntemi						Cheung Yöntemi			Norde Yöntemi	
	I_0 (A)	n	Φ_b (eV)	$R_s(\Omega)$ $\times 10^4$	Rsh	RR	n	Φ_b (eV)	R_s (k Ω)	Φ_b (eV)	R_s (k Ω)
0	$1,06 \times 10^{-9}$	3,084	0,8076	2,31	$9,3 \times 10^6$	$9,3 \times 10^6$	2,9371	0,849	73,3	0,847	250
30	$4,78 \times 10^{-8}$	2,050	0,7091	1,09	$1,7 \times 10^7$	$1,58 \times 10^3$	1,5961	0,905	51,7	0,862	505

Çizelge 4.1 de de görüldüğü üzere R_s değerin azaldığı tespit edilmiştir. İyonize radyasyon, yarıiletken ile metal kontak arasındaki bant aralığında bulunan arayüzey tabakasında radyasyon etkisiyle oluşan arayüzey tuzakları serbest taşıyıcı konsantrasyonunu etkiler. Bu da malzemelerin bariyer yüksekliğinde azalmaya veya artışa neden olabilir. Bariyer yüksekliğindeki azalma literatürde Poole-Frenkel etkisi olarak tanımlanılmıştır. R_s değeriindeki azalma ve Şönt direnci olan Rsh değeriindeki artma eğilimi malzemede iyileşmenin bir göstergesidir.

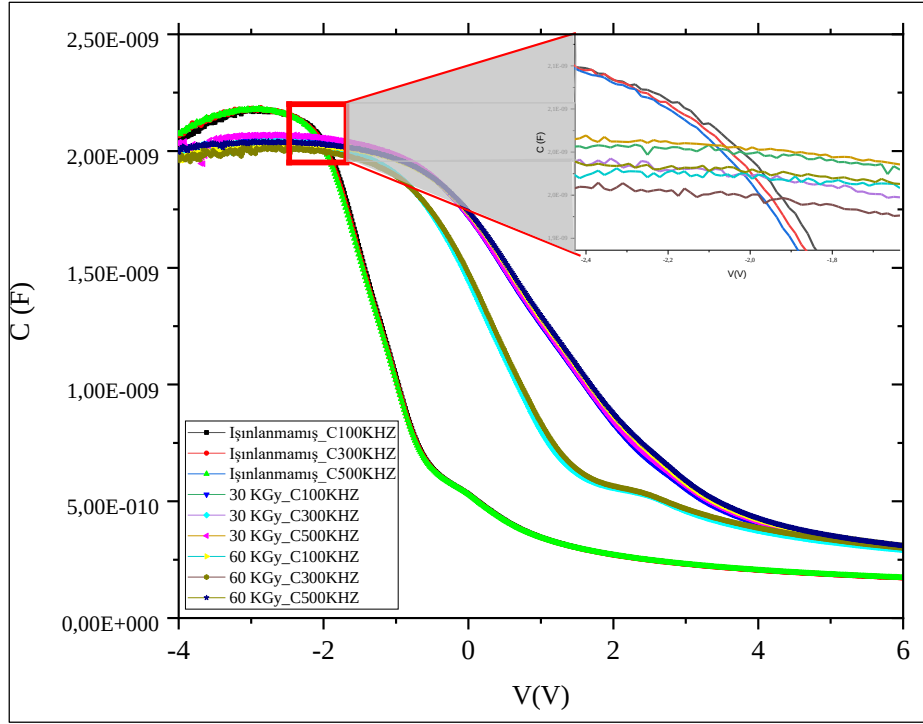
4.2. Kapasitans-Voltaj (C-V) Ve Kondüktans-Voltaj (G-V) Karakteristik İncelemesi

Karanlık ortamda ve oda sıcaklığında bulunan Al/ PMMA/PbO/p-Si numunesinden geniş voltaj aralığındaki farklı frekans değerlerinde C-V ve G-V ölçümleri alınmıştır. Numune 30 kGy ve 60 kGy doz değerine ışınlarına maruz bırakılarak yeniden C-V ve G-V ölçümleri alınmıştır. Farklı dozlardaki radyasyon ile Al/ PMMA/PbO/p-Si numunesinin C-V ve G-V karakteristiğine etkisi araştırılmıştır.

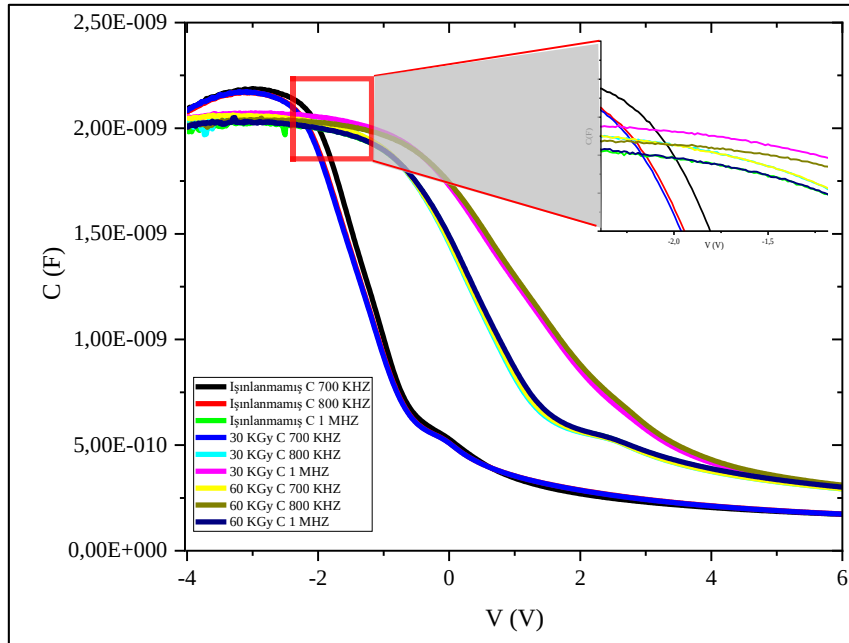
100 kHz, 300 kHz, 500 kHz, 700 kHz, 800 kHz, 1 MHz frekans değerlerindeki numunenin ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy ışınlanmış ölçümlerin karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilmesi için C-V ölçüm değer grafikleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'deki gibi sunulmuştur. Şekillerde görüldüğü üzere kapasitans (C-V) ve kondüktans (G-V) değerleri frekans ile doğrudan etkilidir. Numuneye ait kapasitans- gerilim grafiği incelendiğinde tersinim bölgesi, tüketim bölgesi ve yığılma bölgeleri net olarak görülmektedir.

Farklı frekans değerleri altında C-V grafiklerinde farklı davranışlar özellikle yığılma ve tüketim alanlarında gözlenir. Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinden elde edilen ölçümler neticesinde gözlemlenen bu farklılıklar, iyonize radyasyon etkisiyle numune yapısında bulunan yasak enerji aralığındaki ve yarıiletken tabaka ile yalıtkan tabakasındaki arayüzey durumlarının özel dağılımından kaynaklanabilir [68].

Şekil 4.5'te de gözlemlendiği üzere numunenin düşük frekans (100 kHz, 300 kHz ve 500 kHz) değerlerinde gerilimin artması ile kapasitans değeri azalmaktadır. Yüksek frekans (700 kHz, 800 kHz ve 1 MHz) değerlerinde gerilim artışına karşın kapasitans değeri azaldığı Şekil 4.6'da da görülmektedir. 30 kGy ve 60 kGy gama ışını ile ışınlanmış numunenin C-V grafiğinde görüldüğü gibi tüm bölgelerde kapasitans değerleri azalmıştır. Aynı frekans değerlerinde ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy gama ışınları ile ışınlanmış numunenin tüm bölgelerde frekans arttıkça kapasitans değeri azalmıştır. Ancak radyasyonun dozu arttıkça yığılma ve tüketim bölgelerinde daha fazla değişim gözlemlenmiştir.

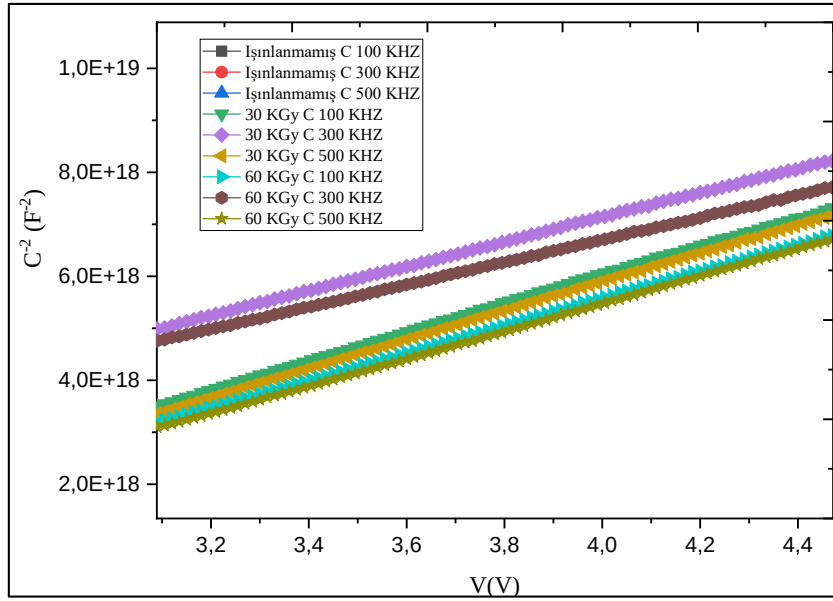


Şekil 4.5. Düşük frekansındaki ışınlanmamış, farklı dozlarda ışınlanmış C-V Grafiği

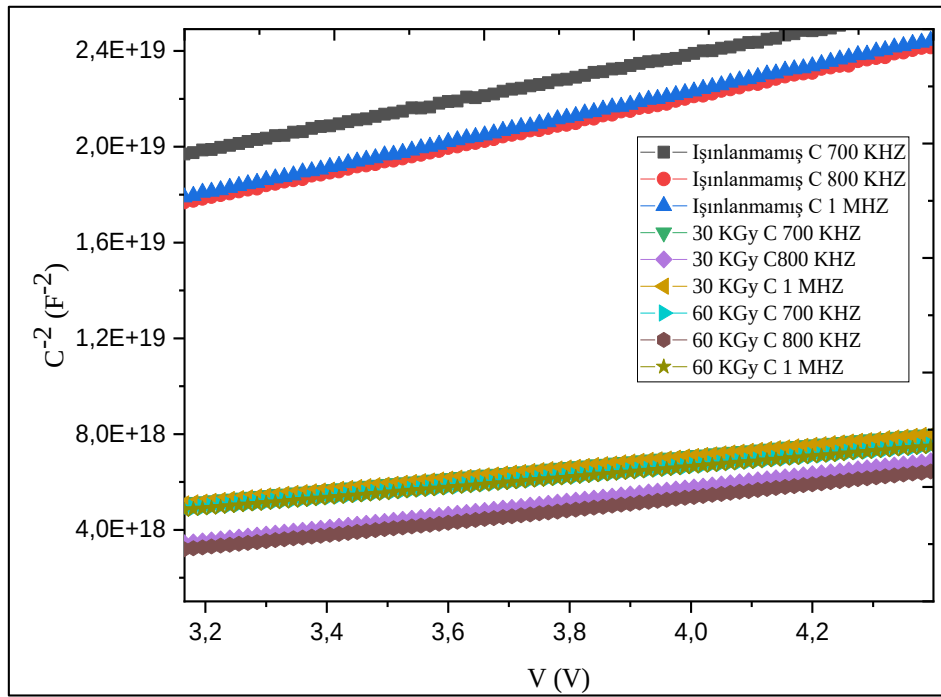


Şekil 4.6. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış ve farklı dozlarda ışınlanmış C-V grafiği

Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin R_s değerini hesaplamak için C^{-2} -V grafiği kullanılmıştır. Numuneye ait, farklı frekans değerlerinde ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy ışınlanmış ölçümlerin karşılaştırılmalı C^{-2} -V ölçüm değer grafiklerinin lineer bölgeleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'deki gibi sunulmuştur.



Şekil 4.7. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış ve farklı dozlarda ışınlanmış C-V grafiği



Şekil 4.8. Yüksek Frekansındaki Işınlanmamış ve Farklı Dozlarda Işınlanmış C^{-2} -V grafiği

Ters beslemde tüketim tabakasının kapasitansı Eşitlik 4.10'da verilmiştir. Ayrıca literatürde bilinen temel diyot parametrelerinden N_A , E_f , E_m , W_D ve Φ_b değerleri de sırasıyla (4.10-4.15) numaralı denklemlerle hesaplanmıştır.

$$C^{-2} = \frac{2(V_D - \frac{kt}{q} - V)}{qN_A \epsilon_S \epsilon_0 A^2} \quad (4.10)$$

$$N_A = \frac{2}{q \epsilon_S \epsilon_0 A^2 \tan \theta} \quad (4.11)$$

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_V}{N_A}\right) \quad (4.12)$$

$$E_M = \sqrt{\frac{2N_A V_0}{\epsilon_S \epsilon_0}} \quad (4.13)$$

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_S \epsilon_0 V_0}{qN_A}} \quad (4.14)$$

$$D_{it} = \frac{2}{qA} \frac{G_{cmax}/\omega}{\left(\frac{G_{cmax}}{\omega C_i}\right)^2 + \left(1 - \frac{C_c}{C_i}\right)^2} \quad (4.15)$$

Eşitlik 4.10 - 4.15’de verilen bazı temel fiziksel tanımlamalar aşağıda verilmiştir.

V_D ; difüzyon potansiyeli

kT/q ; terimi eV cinsinden termal enerji,

ϵ_S ; yarıiletkenin dielektrik sabiti,

A ; doğrultucu kontak alanı,

$\tan(\theta)$; C^{-2} - V eğrisinin doğrusal kısmının eğim

N_A ; alıcı katkı atomlarının yoğunluğu

Φ_b ; bariyer yüksekliği

E_F ; Fermi enerji seviyesi

E_m ; maksimum elektrik alanı

W_D ; tüketim tabakası genişliği

E ; Serbest hale geçen elektronun kinetik enerji

Çizelge 4.2. Farklı frekans değerlerindeki parametrelerinin karşılaştırılması

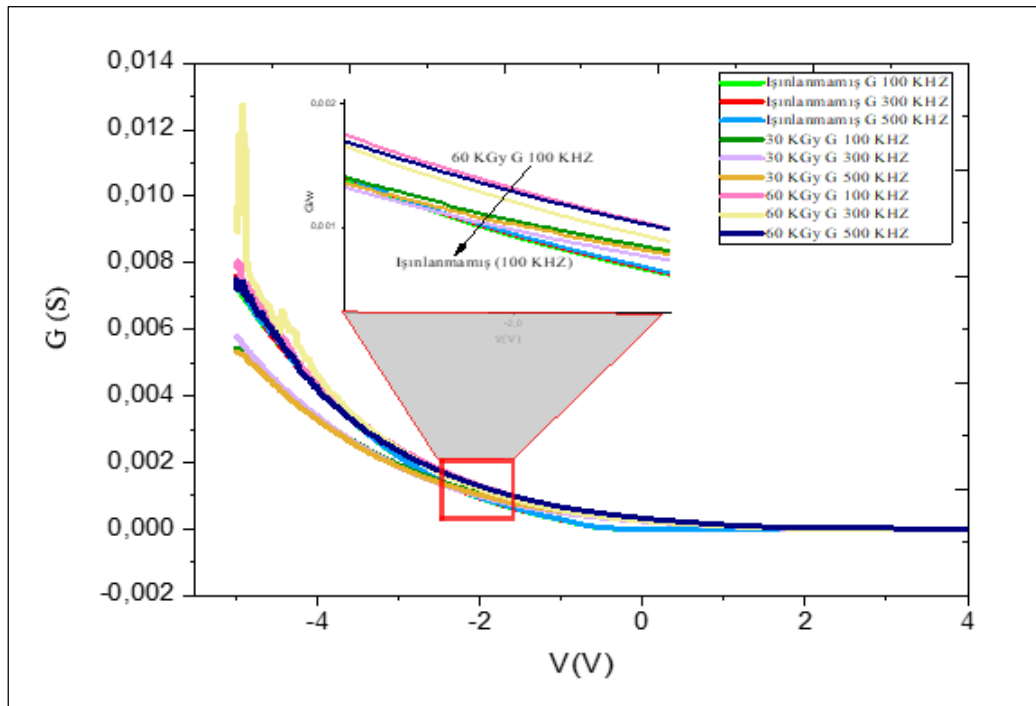
Temel Diyot Kavramları									
Işınlama doz miktarı (KGy)	Frekans (kHz)	V_0 (eV)	V_D (eV)	N_A (cm ⁻³) (x10 ¹⁶)	E_F (eV)	E_m (V/cm) (x10 ⁴)	W_D (cm) (x10 ³)	Φ_b (eV)	D_{it} (x10 ⁹) eV ⁻¹ cm ⁻²)
Işınlanmamış	100	0,645	0,67	1,33	0,12	5,23	2,57	0,80	3,75
	300	0,65	0,67	1,32	0,12	5,24	2,58	0,80	0,712
	500	0,652	0,67	1,32	0,12	5,23	2,59	0,80	0,401
	700	0,638	0,66	1,31	0,12	5,15	2,58	0,79	0,273
	800	0,833	0,85	1,59	0,12	6,48	2,65	0,98	0,236
	1000	0,797	0,82	1,56	0,12	6,27	2,63	0,94	0,186
30 kGy	100	0,819	0,84	4,89	0,09	11,3	1,50	0,94	0,257
	300	0,830	0,85	3,05	0,10	8,94	1,91	0,96	0,456
	500	0,800	0,82	5,14	0,09	11,4	1,45	0,92	0,240
	700	0,659	0,68	5,72	0,09	10,9	1,25	0,77	0,228
	800	0,642	0,66	6,72	0,14	3,72	3,60	0,81	0,161
	1000	0,493	0,49	5,36	0,09	9,01	1,10	0,58	0,018
60 kGy	100	0,84	0,86	5,28	0,09	11,8	1,46	0,95	7,08
	300	0,85	0,88	3,22	0,1	9,29	1,88	0,98	0,504
	500	0,77	0,80	5,72	0,09	11,8	1,35	0,89	0,37
	700	0,81	0,84	3,27	0,1	9,15	1,83	0,94	0,356
	800	0,84	0,87	3,00	0,1	9,37	1,94	0,97	0,211
	1000	0,86	0,89	3,24	0,1	1,66	1,89	0,99	0,053

Diyot için temel parametrelerden olan bariyer yüksekliği, difüzyon potansiyeli, alıcı katkı atomlarının yoğunluğu, maksimum elektrik alanı, tüketim tabakası genişliği ve fermi enerji seviyesi değerleri ile numune radyasyonun etkileri incelenebilir. Çizelge 4.2 incelendiğinde, farklı doz ışımalarda N_A değerlerindeki değişimler frekans artışı ile artma eğilimindedir. En büyük N_A değeri 1 MHz frekansındaki 60 kGy dozunda ışınlanmış numuneden elde edilmiştir. 30 kGy ve 60 kGy ışınlanmış numunenin Φ_b değerleri 800 kHz de görülmüştür.

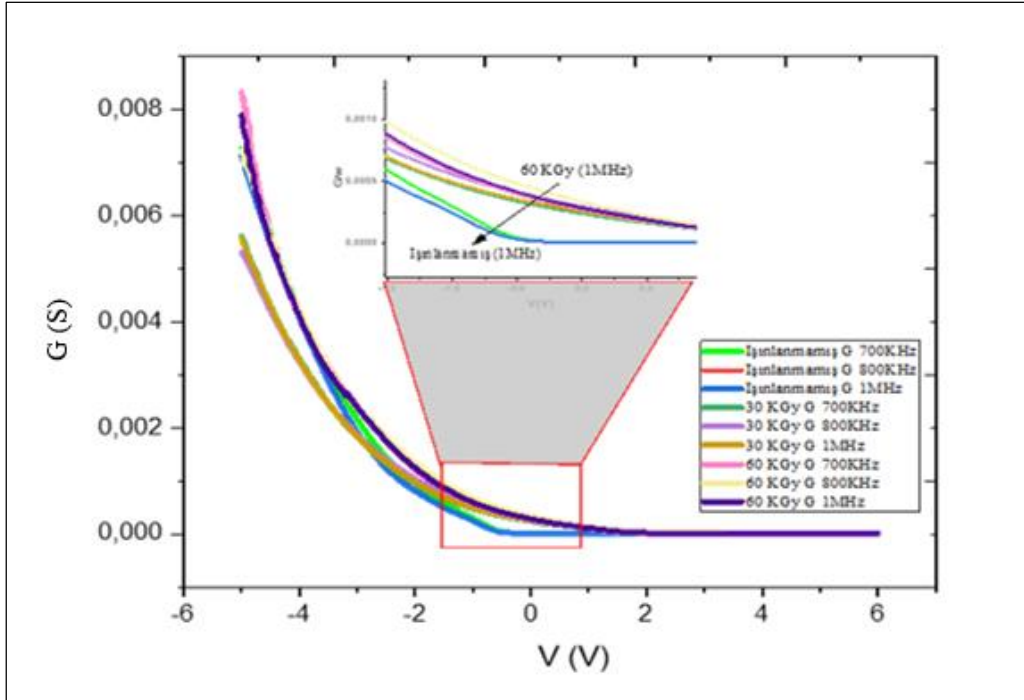
Literatürde C-V grafiğinden edinilen Φ_b değerinin radyasyonun değişimine bağlı olarak değiştiği bilinir [69,70]. Bu değişim C⁻²-V eğrilerinin kaymasıyla V_D değerlerindeki artışa dayandırılır. En büyük Φ_b değeri 1 MHz ve 60 Kgy değerinde elde edilmiştir. Yani yüksek radyasyon numune yapısındaki kusurlar ve arayüzey durumlarının dinamik dengesini etkilemektedir. Ayrıca, tüketim tabakası genişliğindeki (W_D) değişimlerin kapasitans ve

kondüktans değerlerinde bir artışa veya azalmaya neden olabilir. Bu durum ışınlama dozuna bağlı olarak karmaşık davranışlar sergileyebilir.

Karanlık ortamda ve oda sıcaklığında çeşitli frekans değerlerinde Al/ PMMA/PbO/p-Si numunesinden alınan ölçümlerle edinilen G -V karakteristikleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere C-V değerlerinde olduğu gibi G-V değerlerinin de önemli ölçüde frekansa bağlı olduğu görülmektedir. Grafikten yığılım ve tükenim bölgelerindeki yüksek frekansta radyasyonun etkisi görülmektedir.

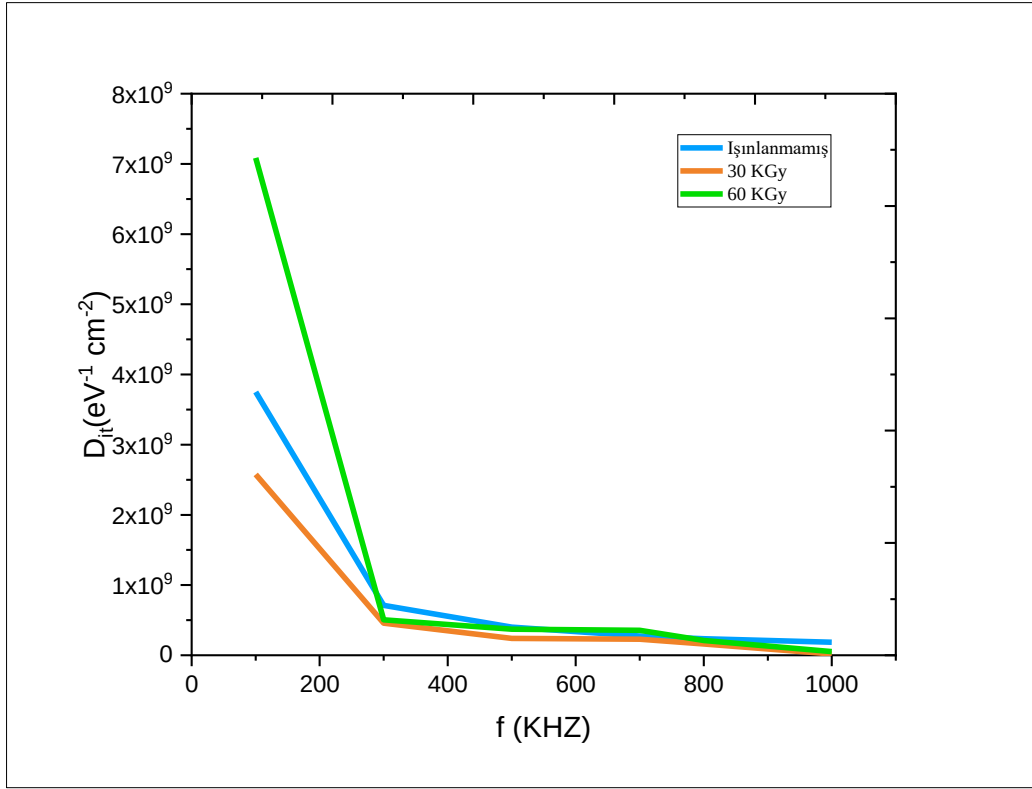


Şekil 4.9. Düşük frekansındaki ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış G-V grafiği



Şekil 4.10. Yüksek frekansındaki ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış G-V grafiği

Metal yarıiletken yapısındaki metal ile yarıiletken arasında bulunan arayüzey tabakası ve arayüzey durumları yapıyı ideallikten uzaklaştırır [71]. Bu sebeple arayüzey durumlarının irdelenmesi Schottky diyotların elektriksel karakteristiğinin ortaya konulmasında önemlidir. Hill-Coleman yöntemi ile C-V ve G-V verilerinden yararlanılarak arayüzey durum yoğunluğu (D_{it}) belirlenebilir. Bu yöntem D_{it} değerini elde etmede güvenilir, hızlı bir yol olarak bilinir. D_{it} -f verileri ile arayüzey durum yoğunlukları numunenin elektriksel davranışlarını etkileyen parametrelerdendir. Şekil 4.11’de numuneye ait ışınlama öncesi ve sonrası D_{it} -f grafiği verilmiştir.



Şekil 4.11. Işınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy dozu ışınlanmış D_{it} - f grafiği

Şekil 4.11'deki grafikte görüldüğü gibi ışınlanmamış, 30 kGy ve 60 kGy ışınlanmış numuneler için frekans artıkça arayüzey durumlarının değeri azalmaktadır. Bu tepki numune yapısındaki tuzaklarda yer alan yüklerin düşük frekanslarda AC sinyalini daha iyi takip etme yeteneğine atfedilebilir [72–75]. Aynı frekans değerlerinde en yüksek D_{it} 60 kGy ışınlanmış numuneden alınmıştır. Yüksek dozlardaki radyasyonun arayüzey durumlarının yoğunluk değeri üzerinde düşürücü etkisi gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ara yüzey tuzaklarının yüklerle dolması atıfta bulunulabilir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yarıiletken teknolojisinden polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapı olan Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin iyonize radyasyon altındaki davranışları incelenmiştir. Numune üretiminde sırasıyla Al tabaka ve P tipi silisyum alttaşının arasına termal buharlaştırma yöntemiyle oksit arayüzey olarak PbO yapısı ve dönerek kaplama yöntemi kullanılarak polimer eklenmiştir. Elde edilen olan Al/PMMA/PbO/p-Si numunesi oda sıcaklığında ^{60}Co gamma ışınına maruz bırakılmış olup ışınlama öncesi ve sonrasında yapıda meydana gelen farklılıklar hesaplamalar ile ortaya konulmuştur.

Al/PMMA/PbO/p-Si numunesi ışık olmayan ortamda ve oda sıcaklığında geniş voltaj aralığında, yüksek ve düşük frekans (100KHz, 300KHz, 500 KHz, 700KHz, 800KHz ve 1 MHz değerlerinde Akım – Gerilim (I-V) , Kapasitans – Gerilim (C-V) ve İletkenlik – Gerilim (G-V) karakterizasyonları ile elektriksel ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Üretilen numune, aynı şartlar altında farklı doz değerlerindeki ^{60}Co gamma (γ) radyasyonuna maruz bırakılmış olup ışınlama öncesinde alınan ölçümler, ışınlanmış numune üzerinden tekrar alınmıştır. Numune üzerinden alınan değerler baz alınarak n , R_s ve Φ_b hesaplanmıştır. Gamma ışınının numune üzerindeki etkisi, ışınlama öncesi ve sonrası elektriksel karakterizasyon analizlerinin kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapıların ^{60}Co gamma radyasyonuna karşı duyarlılığı araştırılmıştır. Ölçümler sonucunda I-V ölçümlerine göre radyasyon etkisi, özellikle ters beslem bölgesinden elde edilen temel parametreler üzerinde belirgin olurken ileri beslem bölgelerinde daha az düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca C-V,G-V karakteristiklerinin de radyasyona bağlı olarak bariz değişim davranışları göstermiştir.

Sonuçlar kısaca aşağıda belirtilmiştir:

Al/ PMMA/PbO/p-Si numunesinin I- V ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak üç farklı yöntem ile temel diyot parametreleri hesaplanmış ve yapılan analizlerinin kıyaslamalı olarak verilmiştir.

- Polimer ve oksit ara yüzey tabakalı numunenin gama-ışını kaynağına maruz bırakılması sonucunda ışınlama dozlarının artışı ile özellikle ters doyum akım değerlerinde de artış görülmüştür.
- Termoiyonik emisyon teorisi kullanıldığında idealite faktörü radyasyondan önce ve sonra sırasıyla 3,0847; 2,0501, engel yüksekliği ise radyasyondan önce ve sonra 0,8076; 0,7091 şeklinde bulunmuştur.
- Cheung Metodu ile yapılan hesaplamalar sonucu $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I fonksiyonları kullanılarak seri direnç değeri bulunmuştur. Sırasıyla radyasyondan önce ve sonra 73,3 k Ω , 51,7 k Ω ; idealite faktörü ise 2,9371; 1,5961 iken engel yüksekliği de 0,849; 0,905 değerleri elde edilmiştir.
- Seçilen bir diğer yöntemlerden Norde metodunda da engel yüksekliği radyasyondan önce ve 30 kGy gama ışınlanmasından sonra sırasıyla 0,862; 0,847 olarak hesaplanmıştır.
- İdealite faktörünün radyasyon etkisinden bağımsız olarak 1'den oldukça büyük olduğu görülmüştür ki bu davranışın sebebi arayüzey durumları, metal ve yarı iletken arasında oluşan doğal oksit ince arayüzey tabakasının varlığı, seri direnç ve metal-yarı iletken arayüzeyindeki engelin homojensizliği olarak ifade edilebilir.
- Radyasyonun idealite faktörü ve engel yüksekliği üzerinde düşürücü etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Radyasyona bağlı bu yapının bozulması, taşıyıcı hareketliliği tarafından Al/PMMA/PbO/p-Si arayüzey yapısındaki radyasyondan kaynaklanan kusurların düzenlenmesine, taşıyıcı konsantrasyonunda ve azınlık taşıyıcı ömründe değişikliğe neden olur. Bu durum, PMMA/PbO' daki radyasyon kusurlarının serbest taşıyıcı ve konsantrasyon hareketliliğini arttırdığını göstermektedir. Sonuç olarak tüketim tabakası genişliğinin radyasyona bağlı olarak değişmesi ve arayüzey durumlarının radyasyon etkisiyle artmasına atfedilebilir.
- Çizelge 4.1'de farklı yöntemler kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin radyasyona bağlı tepkisi gösterilmektedir. Bununla birlikte, Cheung ve Norde yöntemleriyle hesaplanan Φ_b değerleri artarken, termoiyonik emisyon yöntemiyle elde edilen Φ_b değeri azalmıştır. Bunun sebebi norde yönteminde idealite faktörünün 1 alınması diğerlerinde ise n değerinin 1 den farklı olmasıdır.
- Al/PMMA/PbO/p-Si kompozit yapısının elektriksel parametrelerinde gözlemlenen bu değişiklikler, Gama ışını ışınlamının bu malzemenin yapısal özelliklerini değiştirebileceğini göstermektedir. Bu yapısal farklılıklar, ışınlanmış malzemenin

elektiriksel özellikleri üzerinde güçlü ve doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar Al/PMMA/PbO/p-Si arayüzey yapısının radyasyona duyarlı olduğunu göstermektedir.

- Literatürde var olan çalışmalar, metal-yalıtkan-yarıiletken yapıların diyot idealite faktörleri $n=2$, $n \approx 2.2$, $n=3$, $n=3.91 \pm 0.11$, $n=4-6.9$, $n=5.47 \pm 0.69$, $n < 5.5$ ve $n=11.5$ şeklinde olabileceğini göstermektedir [59,76-80]. Elde ettiğimiz sonuçlar literatür ile uyum içerisinde.

Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin C-V ve G/V ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak üç farklı yöntem ile temel diyot parametreleri hesaplanmış ve yapılan analizlerinin kıyaslamalı olarak verilmiştir.

- C-V ve G -V eğrileri bilinen MY/MYY karakteristiğindeki, gibi terslenim, tüketim ve yığılma bölgelerinden oluşmaktadır.
- Kapasitans karakteristikleri, artan gama-ışınlama dozları ve değişen frekans değerlerine bağlı olarak farklı davranışlar sergilemiştir. Numunenin düşük frekans (100 kHz, 300 kHz ve 500 kHz) değerlerinde gerilimin artması ile kapasitans değeri azaldığı; yüksek frekans (700 kHz, 800 kHz ve 1 MHz) değerlerinde gerilim artışına karşın kapasitans değeri azaldığı gözlemlenmiştir.
- C-V verileri incelendiğinde elde edilen numunenin ışınlama ile değiştiği gözlenmiştir. Bunun sebebi, oksijen boşluklarının oluşumuna, kristal kafes kusurlarına ve artan gama ışını radyasyon dozu nedeniyle PbO/PMMA/p(100)-Si arayüzü yakınında elektron-boşluk çiftlerinin üretilmesi ya da yeniden birleşmesi olarak verilebilir. Bu durum radyasyon sensörlerinde elektiriksel etkilere neden olur.
- G-V karakteristiğinin de radyasyon ve frekansa bağlı değişim sergilediği görülmüştür.
- $D_{it} - f$ verileri incelendiğinde, literatürde var olan [79,80] benzer çalışmalardan daha düşük değerde olduğu saptanmıştır.

Literatürde var olan benzer çalışmalardan farkı Al/PMMA/PbO/p(100)-Si numunesinin polimer ve oksit ara yüzey tabakanın kalınlığı ve farklı frekans değerlerinde analizi edilmesidir. PbO nanotabaka 280 μm Si levhanın üzerine 20 nm kalınlığında kaplanmıştır. Daha sonra döndürme yöntemi kullanılarak 10 nm kalınlığındaki PMMA tabakası yapıya eklenmiştir. Mevcut çalışmalardan daha kalın hazırlanan PbO/PMMA nanotabakası, elektron-boşluk çiftinin bölgede daha fazla olmasını sağlamıştır. Aynı zamanda geniş tüketim bölgesi küçük kapasitans, düşük RC (zaman sabiti) sabiti ve yüksek tepki süresi

şeklinde yorumlanabilir. Böylelikle gelen iyonize radyasyon hakkında daha iyi bilgi alınmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak, polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapı olan Al/PMMA/PbO/p-Si numunesinin 0-60 kGy doz aralığındaki iyonize radyasyona tepki verdiği gözlemlenmiştir. C-V, G-V ve D_{it} değişimlerinden polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapının radyasyon sensörü olarak kullanılabileceği saptanmıştır. Bu özelliklerden dolayı numune radyasyon duyarlılığının önemli olduğu tıp, ilaç gibi medikal sektöründe, hastanelerin radyasyon tespitinin önemli olduğu radyoloji bölümlerinde, endüstrisi, uzay ve nükleer sanayinde tercih sebebi olabilir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde olabilecek ve böylece çalışmanın kapsamını artıracak bazı öneriler ise aşağıdaki gibidir.

1. Arayüzey tabaka kalınlığının etkisini ve radyasyona bağlı sonuçlarını daha iyi bir şekilde değerlendirebilmek adına, farklı kalınlıktaki organik ara tabakalara sahip malzemeler üretilerek aynı radyasyon dozları altında karşılaştırılabilir.
2. Radyasyon uygulandıktan sonra, belirli periyotlarla ölçümler alınarak radyasyon etkilerinin zamana bağlı olarak nasıl bir davranış sergilediği gözlemlenebilir. Radyasyon dozlarındaki değişimin yanı sıra sıcaklığa bağlı ölçümler de alınabilir ki böylece sıcaklığın ışınlanmış numuneler üzerindeki etkisi değerlendirilebilir.
3. Bu üretilen yapıların radyasyondan önce ve sonra dielektrik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Northrop, D. C. (1986). Book review: Semiconductor devices, physics and technology. New York: Springer US, 64-66.
2. Nicollian, E.H., and Goetzberger, A. (1965). Lateral ac current flow model for metal-insulator-semiconductor capacitors. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Electron Devices*, 12(3), 108–117.
3. Rideout, V. L. (1978). A review of the theory, technology and applications of metal-semiconductor rectifiers. *Thin Solid Films*, 48(3), 261–291.
4. Tan, S. O. (2018). Schottky yapılar üzerine inceleme ve analiz çalışması. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 977–989.
5. Altindal, S., Sari, B., Unal, H.I., and Yavas, N. (2009). Electrical characteristics of Al/polyindole Schottky barrier diodes. I. temperature dependence. *Journal of Applied Polymer Science*, 113(5), 2955–2961.
6. Crowell, C. R., and Sze, S. M. (1966). Current transport in metal-semiconductor barriers, *Solid-State Electronics*, 1035–1048.
7. Castagné, R., and Vapaille, A. (1971). Description of the SiO₂-Si interface properties by means of very low frequency MOS capacitance measurements. *Surface Science*, 28(1), 157–193
8. Tang, C. W., and VanSlyke, S. A. (1987). Organic electroluminescent diodes. *Applied Physics Letters*, 51(12), 914–915.
9. Tung, R. T. (2001), Recent advances in Schottky barrier concepts. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 35(1–3), 1–138.
10. Gupta, R., Misra, S. C. K., Malhotra, B. D., Beladakere, N. N., and Chandra, S. (1991). Metal/semiconductive polymer Schottky device. *Applied Physics Letters*, 58(1), 51–52
11. Tang, C. W., and VanSlyke, S. A. (1987). Organic electroluminescent diodes. *Applied Physics Letters*, 51(12), 913.
12. Stübinger, T., and Brütting, W. (2001). Exciton diffusion and optical interference in organic donor–acceptor photovoltaic cells. *Journal of Applied Physics*, 90(7), 3632.
13. Dökme, I., Altindal, Ş., Tunç, T., and Uslu, I. (2010). Temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes. *Microelectronics Reliability*, 50(1), 39–44.
14. Güllü, O., and Türüt, A., (2009). Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/ semiconductor diode structures. *Journal of Applied Physics*, 106(10), 1-6.

15. El-Sayed Abdo, A., Ali, M. A. M., and Ismail, M. R. (2003). Natural fibre high-density polyethylene and lead oxide composites for radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 66(3), 185–191.
16. El-Sayed Abdo, A., Ali, M. A. M., and Ismail, M. R. (2003). Natural fibre high-density polyethylene and lead oxide composites for radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 66(3), 185–195.
17. Akay, D., Gokmen, U., and Ocak, S. B. (2020). Ionizing radiation influence on rubrene-based metal polymer semiconductors: direct information of intrinsic electrical properties. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 72(6), 2391–2397.
18. Eisa, M. H. (2020). Effects of beta-ray irradiation on optical properties of PbO thin films, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 110, 1-6.
19. Issa, S. A. (2016). Effective atomic number and mass attenuation coefficient of PbO–BaO–B₂O₃ glass system. *Radiation Physics and Chemistry*, 120, 33–37.
20. Yazdani Darki, S., Eslami-Kalantari, M., and Zare, H. (2020). New methode for synthesis of PbO nano-rods and its application in ionizing radiation shielding. *Iranian Journal of Physics Research*, 20(4), 649–655.
21. SLi, S., Yang, W., Chen, M., Gao, J., Kang, J., and Qi, Y. (2005). Preparation of PbO nanoparticles by microwave irradiation and their application to Pb(II)-selective electrode based on cellulose acetate. *Materials Chemistry and Physics*, 90(2–3), 262–269.
22. Morales, J., Petkova, G., Cruz, M., and Caballero, A. (2006). Synthesis and characterization of lead dioxide active material for lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*, 158, 831–836.
23. Ghasemi, S., Karami, H., Mousavi, M. F., and Shamsipur, M. (2005). Synthesis and morphological investigation of pulsed current formed nano-structured lead dioxide. *Electrochemistry Communications*, 7(12), 1257–1264.
24. Karami, H., Karimi, M. A., and Haghdar, S. (2008), Synthesis of uniform nano-structured lead oxide by sonochemical method and its application as cathode and anode of lead-acid batteries. *Materials Research Bulletin*, 43(11), 3054–3065.
25. Ma, W., Zhang, J., Wang, X., and Wang, S. (2007), Effect of PMMA on crystallization behavior and hydrophilicity of poly(vinylidene fluoride)/poly(methyl methacrylate) blend prepared in semi-dilute solutions. *Applied Surface Science*, 253(20), 8377–8388.
26. Pleshko, N. L., Boskey, A. L., and Mendelsohn, R. (1992). An infrared study of the interaction of polymethyl methacrylate with the protein and mineral components of bone. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 40(9), 1413-1417.
27. Stiegler, J. O. (1987). Materials science and engineering at ORNL. *JOM-Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 39(10), 44-45.

28. Donya, M., Radford, M., ElGuindy, A., Firmin, D., and Yacoub, M.H., (2014). Radiation in medicine: Origins, risks and aspirations. *Global Cardiology Science and Practice*, 2014(4), 441–448.
29. L'Annunziata, M. F. (2007). Radioactivity. Tucson: Elsevier Science B.V., 187–215.
30. Brown, P. D., Fay, M., Bock, N., Marlafeke, S., Cheng, T. S., Novikov, S. V., Davis, C. S., Campion, R. P., and Foxon, C. T. (2002). Structural characterisation of Al grown on group III-nitride layers and sapphire by molecular beam epitaxy. *Journal of Crystal Growth*, 234 (2-3), 384–390.
31. Yüksel, Ö. F., Selçuk, A. B., and Ocak, S. B. (2008). Investigation of diode parameters using I–V and C–V characteristics of In/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Physica B: Condensed Matter*, 403(17), 2690–2697.
32. Orak, İ., Koçyiğit, A. (2017). Al/Si₃N₄/p-Si aygıtının C-V karakteristikleri üzerine metal ile yarıiletken kontak arasındaki yalıtkan tabakanın kalınlık etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 536–542.
33. Bilkan, Ç., Zeyrek, S., San, S. E., and Altındal, Ş. (2015). A compare of electrical characteristics in Al/p-Si (MS) and Al/C₂₀H₁₂/p-Si (MPS) type diodes using current–voltage (I–V) and capacitance–voltage (C–V) measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32, 137–144.
34. Parlaktürk, F. (2007). *Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/n-Si yapıların hazırlanması, elektriksel ve dielektrik özelliklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19–60.
35. Bilkan, Ç. (2013). *Perilensiz ve perilenli Al/p-Si schottky engel diyotların elektriksel özelliklerinin oda sıcaklığında karşılaştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21–33.
36. Tung, R. T. (2001). Recent advances in Schottky barrier concepts. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 35(1–3), 1–138.
37. Kaya, İ. (2010). *Metal-yarıiletken schottky diyotların elektriksel karakteristiklerin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10–34
38. Demirezen, S., and Altındal Yerişkin, S. (2020). A detailed comparative study on electrical and photovoltaic characteristics of Al/p-Si photodiodes with coumarin-doped PVA interfacial layer: the effect of doping concentration. *Polymer Bulletin*, 77(1), 49–71.
39. Akın, B. (2015). *Au/ZnO/n-GaAs (MIS) Schottky engel diyotların (SBDs) elektriksel karakteristiklerinin frekans ve voltaja bağlı incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7–25.
40. Yüksel, Ö. F., Selçuk, A. B., and Ocak, S. B. (2008). Investigation of diode parameters using I–V and C–V characteristics of In/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Physica B: Condensed Matter*, 403(17), 2691–2695.

41. Holloway, P. H., Kim, T. J., Trexler, J. T., Miller S., Fijola, J. J. Lampert W. V., and Haas, T. W. (1997). Interfacial reactions in the formation of ohmic contacts to wide bandgap semiconductors. *Applied Surface Science*, 117-118, 362-372.
42. Sharma, B. (1984). *Metal-semiconductor Schottky barrier junctions and their applications*. New York: Springer US, 112-124.
43. İnternet: Explainer: what is the electromagnetic spectrum? Web: <https://theconversation.com/explainer-what-is-the-electromagnetic-spectrum-8046>, Son Erişim Tarihi: 15.08.2022.
44. Ahmed, S. N. Physics and engineering of radiation detection. (2007). *Choice Reviews Online*, 45(02), 45-0892-45-0892.
45. İnternet: Explainer: what is the electromagnetic spectrum? Web: <https://physics.info/em-spectrum/>, Son Erişim Tarihi: 04.09.2022.
46. Güllü, Ö., Çankaya, M., Biber, M., and Türüt, A. (2008). Gamma irradiation-induced changes at the electrical characteristics of organic-based Schottky structures. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41(13), 135103.
47. Kaya, A. (1998). $55 \leq Z \leq 92$ bölgesinde bazı elementlerin γ X-ışını üretim tesir kesitlerinin ve alt tabaka floresans verimlerinin ölçülmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 14-32.
48. Qiao, C. K., Wei, J. W., and Chen, L. (2021). An overview of the compton scattering calculation. *Crystals*, 11(5), 525.
49. Luo, M. C., Deal, K. R., Akhunov, E. D., Akhunova, A. R., Anderson, O. D., Anderson, J. A., ... Dvorak, J. (2009). Genome comparisons reveal a dominant mechanism of chromosome number reduction in grasses and accelerated genome evolution in Triticeae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), 15780-15785.
50. Srour, J. R., Marshall, C. J., and Marshall, P. W. (2003). Review of displacement damage effects in silicon devices. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Nuclear Science*, 50 III(3), 653-670.
51. Dökme, I., and Altındal, Ş. (2012). The effect of gamma irradiation on electrical and dielectric properties of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si Schottky diode at room temperature. *Current Applied Physics*, 12(3), 860-864.
52. Badila, M., Godignon, P., Millan, J., Berberich, S., and Brezeanu, G. (2001). The electron irradiation effects on silicon gate dioxide used for power MOS devices. *Microelectronics Reliability*, 41(7), 1015-1018.
53. Benedetto, J. M., and Boesch, H. E. (1984). Mosfet and mos capacitor responses to ionizing radiation. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Nuclear Science*, 31(6), 1461-1466.
54. An, Y., Behnam, A., Pop, E., and Ural, A. (2013). Metal-semiconductor-metal photodetectors based on graphene/p-type silicon Schottky junctions. *Applied Physics Letters*, 102(1), 013110.

55. Efil, E., Kaymak, N., Seven, E., Orhan, E., Bayram, Ö., Ocak, S. B., and Tataroglu A. (2008). Current-voltage analyses of Graphene-based structure onto Al₂O₃/p-Si using various methods. *Vacuum*, 2020(181), 109654.
56. Card, H. C., and Rhoderick E. H. (1971). Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4(10), 1589-1601.
57. Chattopadhyay, P. (2016). Capacitance technique for the determination of interface state density of metal-semiconductor contact. *Solid State Electron*, 39(10), 1491-1493.
58. Krawczyk, S. K., Jakubowski, A., and Żurawska, M. (1981). Effect of temperature on electrical and photoelectrical properties of silicon MIS solar cells. *Physica Status Solidi (A)*, 67(1), 313-323.
59. Kaymak, N., Efil, E., Seven, E., Tataroğlu, A., Ocak S. B., and Oz Orhan E. (2018). Electrical characteristics analyses of zinc-oxide based MIS structure grown by atomic layer deposition. *Materials Research Express*, 6(2), 026309.
60. Norde, H. (1979). A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50(7), 5052.
61. Bohlin, K. E. (1998). Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *Journal of Applied Physics*, 60(3), 1223.
62. Turut, A. (2012). Determination of barrier height temperature coefficient by Norde's method in ideal Co/n-GaAs Schottky contacts. *Turkish Journal of Physics*. 36(2), 235-244.
63. Payne, D. J., Egde, R. G., Law D. S. L., Glans, P., Learmonth, T., Smith, K. E., Guo, J., Walsh, A., Watson, G. W., and Mater, J. (2007). Experimental and theoretical study of the electronic structures of α -PbO and β -PbO₂. *Journal of Materials Chemistry*, 17(3), 267-277.
64. İnternet: Chemical Book. (2022). Lead Monoxide. Web: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4119629.htm, Son Erişim Tarihi: 15.08.2022
65. Graeve, O. A. (2008). Ceramic and glass materials, structure, properties and processing. J. Shackelford, R. Doremus (Eds.), *Ceramic and glass materials*. New York: Springer US, 14-24.
66. Kalayci, E., and Ozan Avinç, O., Yavaş, A. (2015). Yüksek performanslı PBO (poli-p-fenilenbenzobisoksazol) lifleri. *Tekstil ve Muhendis*, 22(98), 63-83.
67. İnternet: Poly(methyl methacrylate) or PMMA. Web: <https://pslc.ws/modelhtmls/pmmadb.htm>, Son Erişim Tarihi: 27.06.2022.
68. Schué, F. (2004). Radiation effects on polymers for biological. H Kausch. (Ed.). *Advances in polymer science* vol 162. Berlin: Springer-Verlag, 65-78.

69. Altindal, Ş., Tataroğlu, A., and Dökme, I. (2005). Density of interface states, excess capacitance and series resistance in the metal-insulator-semiconductor (MIS) solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 85(3), 345-358.
70. Feteha, M. Y., Soliman, M., Gomaa, N. G., and Ashry, M. (2002). Metal-insulator-semiconductor solar cell under gamma irradiation. *Renewable Energy*, 26(1), 113-120.
71. Türüt, A., and Sağlam, M. (1992). Determination of the density of Si-metal interface states and excess capacitance caused by them. *Physica B: Physics of Condensed Matter*. 179(4), 285-294.
72. Altindal, Ş., Kanbur, H., Yücedağ, I., and Tataroğlu, A. (2008). On the energy distribution of interface states and their relaxation time and capture cross section profiles in Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 85(7), 1495-1501.
73. Morita, M., Ohmi, T., Hasegawa, E., Kawakami, M., and Ohwada, M. (1998). Growth of native oxide on a silicon surface. *Journal of Applied Physics*, 68(3), 1272.
74. Hill, W. A., and Coleman, C. C. (1980). A single-frequency approximation for interface-state density determination. *Solid-State Electronics*, 23(9), 987-993.
75. Terman, L. M. (1962). An investigation of surface states at a silicon/silicon oxide interface employing metal-oxide-silicon diodes. *Solid-State Electronics*, 5(5), 285-299.
76. Wang, C. X., Yang, G. W., Liu, H. W., Han, Y. H., Luo, J. F., Gao, C. X., and Zou, G. T. (2004) Experimental analysis and theoretical model for anomalously high ideality factors in ZnO/diamond p-n junction diode. *Applied Physics Letters*, 84, 2427.
77. Breitenstein, O., Altermatt, P., Ramspeck, K., and Schenk, A. (2006, September). The origin of ideality factors $n > 2$ of shunts and surfaces in the dark IV curves of Si solar cells. In *Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference* Munich: WIP, 625-628.
78. Shah, J. M., Li, Y. L., Gessmann, T., and Schubert, E. F. (2003). Experimental analysis and theoretical model for anomalously high ideality factors ($n \gg 2.0$) in AlGaIn/GaN pn junction diodes. *Journal of Applied Physics*, 94(4), 2627-2630.
79. Akay, D., Ocak, S. B., and Gökmen, U. (2020). Ionizing radiation influence on rubrene based metal polymer semiconductors (MPSS): Direct information of intrinsic electrical properties. *Journal of the Minerals Metals Materials Society*. 72, 6.
80. Gökmen, U. (2021) Investigation of radiation-associated deformation in the electrical properties of metal- polymer semiconductor. *Physica Scripta*, 69, 1-9.



Gazili olmak ayrıcalıktır