



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Au/SnO₂/n-Si/Au SCHOTTKY DİYOTLARDA AKIM-
GERİLİM KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE GAMA
RADYASYONUNUN ETKİSİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**Fatime Duygu AKGÜL
182108008**

2021

GİRESUN

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

**Au/SnO₂/n-Si/Au SCHOTTKY DİYOTLARDA AKIM-
GERİLİM KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE GAMA
RADYASYONUNUN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı Soyadı : Fatime Duygu AKGÜL
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.08.2021

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU

**Ekim 2021
GİRESUN**

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Au/SnO₂/n-Si/Au SCHOTTKY DİYOTLARDA AKIM-
GERİLİM KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE GAMA
RADYASYONUNUN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatime Duygu AKGÜL

Enstitü Anabilim Dalı

: Fen Bilimleri Enstitüsü

Bu tez 17/09/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğrt. Üyesi
Ümmühan Akın
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr. Serkan
Eymur
Üye**

**Prof. Dr. Nihat
Tuğluoğlu
Üye**

**Doç Dr. Bahadır
Koz
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatime Duygu AKGÜL

13/10/2021

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasının her aşamasında, her tŸrlŸ bilimsel desteği ile bŸyŸk ilgi ve yardımlarını gŸrmŸř bulunduğum Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Nihat TUğLUOğLU'na teőekkŸr ederim. Ayrıca desteklerini benden esirgemeyen arkadaşlarıma ve maddi, manevi yardımlarıyla bŸtŸn hayatımda yanımda olan anne ve babama teőekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELERVE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) Yapı.....	5
2.2. İdeal MOS Yapısı	6
2.2.1. Yığılım	9
2.2.2. Tükenim.....	10
2.2.3. Tersinim	11
2.3. Gerçek MOS Yapısı	12

2.3.1. Sabit oksit ve arayüzey yükleri.....	13
2.3.2. Hareketli iyonlar.....	14
2.3.3. İyonize tuzaklar.....	14
2.4. Arayüzey Durum Yoğunluğu.....	15
2.5. Termiyonik Emisyon Teorisi	16
2.6. Seri Direnç Hesabı.....	18
2.6.1. Norde yöntemi.....	18
2.6.2. Cheung yöntemi.....	21
2.7. Radyasyon Madde ve Etkileşimi.....	22
2.7.1. Radyasyon çeşitleri.....	22
2.7.2. Gama ışınları.....	23
2.8. MOS Yapılarda Radyasyon Madde Etkileşimi.....	25
 BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Silisyum Kristalinin Kimyasal Temizlemesi.....	28
3.2. Omik Kontakın Oluşturulması.....	29
3.3. Yalıtkan Kalay Oksit (SnO_2) Tabakanın Oluşturulması.....	30
3.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması.....	31
3.5. Akım- Voltaj Ölçüm Sistemi.....	32

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA VE BULGULARI.....	33
4.1. Au/SnO ₂ /n-Si Schottky Diyotu Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri...	33
4.2. Seri Direnç Hesabı.....	35
4.2.1. Norde yöntemi ile seri direnç hesabı.....	36
4.2.2. Cheung yöntemi ile seri direnç hesabı.....	37
4.3. Kapasite-Voltaj Yöntemi İle Arayüzey Tabaka Kalınlık Hesabı.....	40
4.4. Arayüzey Durumlarının Hesaplanması.....	41
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

A	: Alan
A^*	: Richardson sabiti
C	: Kapasitans
C_{ox}	: Oksit tabakanın kapasitansı
C_{sc}	: Uzay yükü kapasitansı
d_{SnO_2}	: Oksit tabaka kalınlığı
E_v	: Valans bandı enerji seviyesi
E_c	: İletkenlik bandı enerjisi
E_F	: Fermi enerji seviyesi
E_i	: Saf Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletken yasak enerji aralığı
K	: Kelvin sıcaklık birimi
H	: Planck sabiti
I_0	: Doyma akımı
k	: Boltzman sabiti
m^*	: Elektronun etkin kütlesi
N_A	: Alıcı yoğunluğu
N_{ss}	: Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	: Uzay yükü bölgesindeki toplam yük
Q_M	: Metal yüzeydeki toplam yük
q	: Elektrik yükü
R_s	: Seri direnç
T	: Mutlak sıcaklık
n	: İdeallik faktörü
V	: Volt
V_{ox}	: Oksit tabakaya düşen gerilim
V_d	: Difüzyon potansiyeli
V_G	: Metal plakaya uygulanan gerilim

W_D	: Tüketim tabakasının kalınlığı
Φ_B	: Engel yüksekliği
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
δ	: Arayüzey tabakası kalınlığı
ϵ_i	: Arayüzey katmanı dielektrik sabiti
ϵ_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_{ox}	: Oksit tabakanın dielektrik sabiti
χ	: Elektron yakınlığı

Kısaltmalar

I-V	: Akım-Voltaj
C-V	: Kapasite-Voltaj
MS	: Metal-Yarıiletken
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	: Metal-Oksit-Yarıiletken

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) yapısı.....	6
Şekil 2.2. $V=0$ 'da ideal MOS yapının enerji band diyagramı a) p-tipi yarıiletken b) n-tipi yarıiletken.....	7
Şekil 2.3. MOS kapasitesinin eşdeğer devresi.....	9
Şekil 2.4. p-tipi ve n-tipi eklemlerin yığılım durumunda enerji band diyagramları.....	10
Şekil 2.5. p-tipi ve n-tipi eklemlerin tükenim durumunda enerji band diyagramı	11
Şekil 2.6. p-tipi ve n-tipi eklemlerin tersinim duruunda band diyagramları....	11
Şekil 2.7. Yığılım, tükenim ve tersinim durumları için MOS kapasitenin eşdeğer devresi.....	12
Şekil 2.8. İdeal olmayan MOS yapısında ara yüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.9. Termoiyonik emisyon terorisinin düz beslem üzerinde akım-iletim enerji-bant diyagramı (Bobby, Shiwakoti, Gupta, & Antony, 2016).....	16
Şekil 2.10. Radyasyon çeşitlerinin iyonlaştırma türüne sınıflandırılması.....	22
Şekil 2.11. Radyasyonun iyonlaştırma, frekans ve dalga boyu arasındaki ilişkisi a) iyonlaştırma durumuna göre, b) frekans ve dalga boyuna göre (2019).....	23
Şekil 2.12. Fotoelektrik Olayın Şematik Gösterimi (Bilge & Tuğrul, 1990)....	24
Şekil 2.13. Compton Olayı Şematik Gösterimi (Bilge & Tuğrul, 1990).....	25

Şekil 2.14. Çift Oluşumu Şematik Gösterimi (L'Annunziata, 2003).....	25
Şekil 2.15. Yarıiletken yapılarda iyonlaştırıcı madde etkileşimi sonucunda oluşan durumlar.....	26
Şekil 3.1. Omik ve Doğrultucu Kontak yapımında kullanılan, Edward Buharlaştırma Sisteminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.2. Omik Kontak Oluşturulurken Kullanılan Maske.....	30
Şekil 3.3. SnO ₂ tabakasının oluşturulmasında kullanılan püskürtme düzeneği.....	31
Şekil 3.4. Doğrultucu Kontak Yapımında Kullanılan Maske.....	32
Şekil 3.5. Au/SnO ₂ /n-Si/Au (MOS) yapının şematik gösterimi.....	32
Şekil 4.1. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası lnI-V grafiği.....	35
Şekil 4.2. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası F(V)-V grafiği.....	36
Şekil 4.3. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası dV/dln(I)-I grafiği.....	388
Şekil 4.4. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası H(I)-I grafiği.....	388
Şekil 4.5. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyotunun 1 MHz'de Kapasite-Voltaj grafiği.....	40
Şekil 4.6. Au/SnO ₂ /n-Si/Au Schottky diyotun ısınlanma öncesi ve ısınlanma sonrası Nss-(Ec-Ess) grafiği.....	42

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Radyasyondan önce ve sonra hesaplanan idealite faktörü (n), ters doygunluk akımı (I_0) ve engel yüksekliği (Φ_B) değerleri34

Tablo 4.2. Işınlanmadan önce ve sonra Norde yöntemi ile hesaplanan idealite faktörü (n), seri direnç (R_S), engel yüksekliği (Φ_B) sonuçları.....37

Tablo 4.3. Işınlanmadan önce ve sonra Cheung yöntemi ile hesaplanan idealite faktörü(n), seri direnç (R_S), engel yüksekliği(Φ_B) sonuçları.....39

Au/SnO₂/n-Si/Au SCHOTTKY DİYOTLARDA AKIM-GERİLİM KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE GAMA RADYASYONUN ETKİSİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında metal-yarıiletken arasına püskürtme yöntemi ile kalay oksit (SnO₂) tabaka büyütülerek bir Au/SnO₂/n-Si Schottky yapı elde edildi. Schottky diyot yapının radyasyon öncesi ve sonrasında akım-voltaj (I-V) ölçümleri alındı. Üretilen diyot 10kGy ⁶⁰Co gama ışınına maruz bırakıldı. Radyasyon öncesi ve sonrası doyma akımı (I₀), idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) , seri direnç (R_s) ve ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) gibi diyot parametreleri termiyonik emisyon teorisi kullanılarak hesaplandı.

Hesaplanan parametreler I₀, n, Φ_B sırasıyla 0 kGy’de 2,33x10⁻⁶ A, 3,49, 0,627 eV olarak, 10 kGy’ de ise 2,70x10⁻⁷A, 2,45 ve 0,683 eV olarak hesaplanmıştır. Radyasyondan sonra idealite faktörünün azalırken engel yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Cheung ve Norde yöntemleri kullanılarak seri direnç hesabı yapılmıştır. Norde yöntemi ile R_s ve Φ_B değerleri sırasıyla 0 kGy’de 1,37 kΩ ve 0,641 eV olarak, 10 kGy de; 2,20 kΩ ve 0,686 eV olarak bulunmuştur. Radyasyondan sonra seri direnç değerinin arttığı görülmüştür. Radyasyondan önce ve sonra ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), E_C-E_{ss} enerji aralığında belirlenmiştir. Işınlama öncesi 0 kGy için bu değerler: E_C-0,498 eV’de 4,14x10¹² cm⁻²eV⁻¹’den; E_C-0,606 eV’de 7,56x10¹¹ cm⁻²eV⁻¹’e azaldığı görülmüştür. Işınlama sonrası 10 kGy’de ise N_{ss} değerleri, E_C-0,496 eV’de 2,84x10¹² cm⁻²eV⁻¹’den; E_C-0,610 eV’de ise 4,10x10¹¹ cm⁻²eV⁻¹’e azaldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kalay oksit, Schottky diyot, gama radyasyonu, akım-voltaj, idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç, ara yüzey durum yoğunluğu

EFFECT OF GAMMA RADIATION ON CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS IN Au/SnO₂/n-Si/Au SCHOTTKY DIODES

SUMMARY

In this thesis, an Au/SnO₂/n-Si Schottky structure was obtained by growing the tin oxide (SnO₂) layer between metal-semiconductor by sputtering method. The current-voltage (I-V) measurements of the Schottky diode structure were taken before and after radiation. The produced diode was exposed to 10 kGy ⁶⁰Co gamma rays. Diode parameters such as pre- and post-radiation saturation current (I_0), ideality factor (n), barrier height (Φ_B), series resistance (R_s) and interface state density (N_{ss}) were calculated using thermionic emission theory.

The calculated parameters I_0 , n , Φ_B were calculated as 2.33×10^{-6} A, 3.49, 0.627 eV at 0 kGy, and 2.70×10^{-7} A, 2.45 and 0.683 eV at 10 kGy, respectively. It was observed that the barrier height increased while the ideality factor decreased after radiation. The series resistance was calculated using the Cheung and Norde methods. By Norde method, R_s and Φ_B values were found as 1.37 k Ω and 0.641 eV at 0 kGy, 2.20 k Ω and 0.686 eV at 10 kGy, respectively. It was observed that the series resistance value increased after radiation. The interfacial state density (N_{ss}) before and after radiation was determined in the E_C - E_{ss} energy range. These values for 0 kGy before irradiation were observed to decrease from 4.14×10^{12} cm⁻² eV⁻¹ at E_C -0.498 eV, to 7.56×10^{11} cm⁻² eV⁻¹ at E_C -0.606 eV after irradiation, N_{ss} values decreased from 2.84×10^{12} cm⁻² eV⁻¹ at E_C -0.496 eV and 4.10×10^{11} cm⁻² eV⁻¹ at E_C -0.610 eV at 10 kGy.

Keywords: Tin oxide, Schottky diode, gamma radiation, current-voltage, ideality factor, barrier height, series resistance, interface state density

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Schottky diyot, elektrik akımının bir yönde geçişine izin veren, p-n diyotlara göre güç kayıpları az, düşük akım ve voltaj değerlerinde ilettime geçen diyotlardır. Alman fizikçi Walter H.Schottky tarafından bulunan, bir güç elektroniği elemanı olarak kabul görülen, Schottky diyotu, bilinenin dışında sıcaklık taşıyıcı diyot olarak bilinir. Schottky diyotunu diğer diyotlardan ayıran en önemli özellikleri şunlardır; düşük seviyede ileri gerilim düşümü ve hızlı anahtarlama özelliğidir. Örneğin; akım geçen bir p-n diyottan, diyot üzerine düşen gerilim 0.6V-1.7V arasında değişkenlik gösterirken, bu değerler Schottky diyotlarda, 0.15V-0.45V arasında daha dar aralıkta değer göstermektedir. Bunun sonucu olarak Schottky diyotların anahtarlama hızı daha yüksektir. 0.15V değerinde bile kolayca ilettime geçebilirler (URL 2, 2018). Bu özelliklerinden dolayı Schottky yapılar geniş kullanım alanına sahiptir (Chand & Kumar, 1997).

Metal/yarıiletken (MS) yapılar Shottky diyot olarak da bilinmektedir. Metal ve yarıiletken yapıların arasına yalıtkan tabaka biriktirilmesi ile oluşan yapılara, yalıtkan tabaka kalınlığına göre, metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ve metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapı denmektedir. MOS yapı hazırlanmasında kullanılan yarıiletken kristalin n-tipi ve p-tipi olmasına göre farklı metal seçimleri yapılabilmektedir. Yarıiletken olarak; silisyum (Si), germanyum (Ge) , galyum arsenit (GaAs) tercih edilirken, metal olarak ise çoğunlukla altın (Au) ve alüminyum (Al) kullanılmaktadır. Yalıtkan tabaka olarakta silisyum dioksit (SiO_2) ve kalay dioksit (SnO_2) , titanyum dioksit (TiO_2) İndium oksit (In_2O_3) ve çinko oksit (ZnO) vb. yalıtkanlar tercih edilmektedir (Nortrop & Rhoderick, 1978).

MOS yapı hazırlanmasında birçok yöntem vardır. Bu yöntemler arasında en yaygın olanları; püskürtme yöntemi, spin kaplama, kimyasal buhar ile biriktirme yöntemleridir. Püskürtme yöntemi kaplanacak malzemenin hemen hemen bütünü eritebilmesine ve alt tabakaya çok fazla ısı işlem uygulamadan kullanıma geçme özelliği ile diğer yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır (Değirmenci, 2019).

MOS yapılar geniş kullanım alanına sahip olmakla birlikte, geçmişten günümüze kadar birçok çalışmalar üzerine konu olmuştur. MOS yapılarda bulunan oksit tabakanın varlığı, yük kapasitörü özelliğini oluşturmaktadır. 1959 yılında John L. Moll tarafından, orijinal MOS yapı voltaj-kontrollü kapasitans olarak önerilmiştir (Moll, 1959).

Schottky diyotların en temel elektriksel parametrelerini belirlemek için kullanılan yöntemlerden birisi termiyonik emisyon (TE) teorisidir. Termiyonik emisyon teorisi ile idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) ve akım yoğunluğu (J_0) gibi diyot parametrelerini hesaplamak mümkündür. Farklı MOS yapılar üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda idealite faktöründe değişiklik gözlemlenmiştir. Diyotun homojen yapısının belirlenmesi için gerekli bir parametre olan idealite faktörünün 1'den büyük olması ideal diyottan uzaklaşıldığının ispatıdır. MOS yapılarda engel yükseliği, metal-yarıiletken arayüzey özelliklerine bağlıdır. (Akgül, 2015). Engel yükseliği ve idealite faktörünü hesaplamak için ayrıca Cheung yöntemi (Cheung & Cheung, 1986) ve Norde yöntemi (Norde, 1979) kullanılmaktadır.

Schottky diyot parametrelerini etkileyecek dış etkenlerden biri iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılan alfa, beta ve gama radyasyonlarıdır. Radyasyon, taşınabilen enerji olarak bilinen veya kütlesi olan, yüklü ve yüksüz parçacıklardan oluşan ışın olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon enerjisine ve türüne göre sınıflara ayrılmaktadır. Enerjisine göre; düşük ve yüksek enerjili radyasyon, türüne göre ise parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyonu başlıkları altında ayrılmaktadır. Radyasyon parçacıkları; elektronlar, protonlar, nötronlar, alfa, beta parçacıkları ve gama/X ışınlarından oluşmaktadır. Radyasyonun madde üzerindeki etkileşimi; maddeyi iyonize edip etmemesine göre, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak da sınıflandırılmaktadır. Radyasyonun madde üzerindeki etkileşimi, maddenin cinsine, atom numarasına, gelen parçacığın yüküne, kinetik enerjisine ve kütlesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Radyasyon madde etkileşimi sonunda madde üzerinde kalıcı ve kalıcı olmayan hasar bırakabilmektedir. MIS/MOS yapılar ışınlama sonrasında, ara yüzey tabaka içinde yer alan tuzaklar iyonize olur. Bunun sonucunda elektron-deşik çiftleri oluşmaktadır. Oluşan elektron-deşik çiftlerinin sayısı yarıiletken malzemenin ve ışınlama yapılan

radasyon ışının özelliğine bağlıdır. Radyasyonun yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde diğer bir etkisi ise oksit yükleri ve arayüzey durumları oluşturmaktadır (Knoll, 2000; Chauhan & Chakrabarti, 2002).

Dulkadir ve arkadaşları (Dulkadir, Uslu Tecimer, Parlaktürk, & Karal, 2020), bir $\text{Au}/(\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SiO}_2)/\text{n-Si}$ (MFIS) yapının elektriksel parametleri üzerinde radyasyon etkisini belirlemek amacıyla $^{60}\text{Co}-\gamma$ ışınına maruz bırakmışlar ve yapının idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) değerlerini termiyonik emisyon (TE) teorisi, Cheung ve Norde fonksiyonları kullanılarak; 0 kGy, 5kGy ve 22 kGy’de hesaplamışlardır. Artan radyasyon dozlarına maruz kalan diyot için idealite faktörünün değerleri belirgin bir artış gösterirken, engel yüksekliği değerleri azalmıştır. Seri direnç etkisinde de radyasyon artışıyla azalma olduğu ve radyasyonun elektriksel parametreler üzerinde etkisi açıkça gözlemlenmiştir.

Salari ve arkadaşları (Salari, Sağlam, & Güzeldir, 2019), $\text{Zn}/\text{n-Si}$ doğrultucu kontaklardaki çinko oksit (ZnO) arayüzey tabakasının gama radyasyonuna karşı etkisini belirlemek amacıyla $\text{Zn}/\text{n-Si}/\text{Au-Sb}$ ve $\text{Zn}/\text{ZnO}/\text{n-Si}/\text{Au-Sb}$ diyotlarını üç farklı radyasyon kaynağına (barium-133, americium-241 and cobalt-60) maruz bırakmışlardır. $\text{Zn}/\text{n-Si}/\text{Au-Sb}$ ve $\text{Zn}/\text{ZnO}/\text{n-Si}/\text{Au-Sb}$ diyotlarının, ideallik faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) değerleri gibi elektriksel parametreleri radyasyon öncesinde ve sonrasında hesaplamışlar ve parametreler üzerinde farklı radyasyon etkileri gözlemlenmiştir.

Laha ve arkadaşları (Laha, Banerjee, Barhai, Das, Bharaskar, & Mahapatra, 2012) 6-MeV elektron ışınlaması sonucunda $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{n-Si}$ MOS kapasitörlerinin elektriksel parametlerini incelemişlerdir. 12 adet üretilen kapasitör üzerinde ışınlama öncesi ve 10 kGy, 20 kGy ve 30 kGy ışınlama sonrasında diyot parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar doğrultusunda arayüzey durumlarının radyasyon ile kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Umana-Membreno ve arkadaşları (Umana-Membreno, Dell, Parish, Nener, Faraone, & Mishra, 2003) gama radyasyon ışınlarının Nikel/ n-GaN Schottky diyotlar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Gama ışınlarının Schottky diyotlar üzerindeki etkilerini incelemek için kapasite-voltaj (C-V), akım-voltaj (I-V) ve derin seviye

geçiş spektroskopisi (DLTS) ölçümlerinden yararlanmışlardır. Bu çalışmada kaçak akım ve engel yüksekliği değerinin radyasyon ile arttığı, ileri beslem akımlarında radyasyona bağlı önemli bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir.

Verma ve arkadaşları (Verma, Praveen , Bobby, & Kanjilal, 2014) Au/n-Si Schottky diyotun gama ışınları ile elektriksel özelliklerinin iyileştiğini gösteren bir çalışma yapmışlardır. İdealite faktörünün radyasyona bağlı olarak 17 Mrad'a kadar azaldığı ve daha sonra radyasyon dozunun artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir.

Tataroğlu ve Altındal, (Tataroğlu & Altındal, 2007) I-V ölçüm değerlerini kullanarak $^{60}\text{Co}-\gamma$ ışınına maruz kalan Au/SnO₂/n-Si (MIS) yapının elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Üretilen MIS yapı oda sıcaklığında saatte 2.12 kGy ışınlama ile 0-300 kGy arasında değişen farklı radyasyon doz ışınlarına maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarında, artan radyasyon ile idealite faktörü ve arayüzey durumları azaldıkça, engel yüksekliğinin arttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca Cheung yöntemi ile bulunan seri direnç değerlerinin de radyasyon ışınyla artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

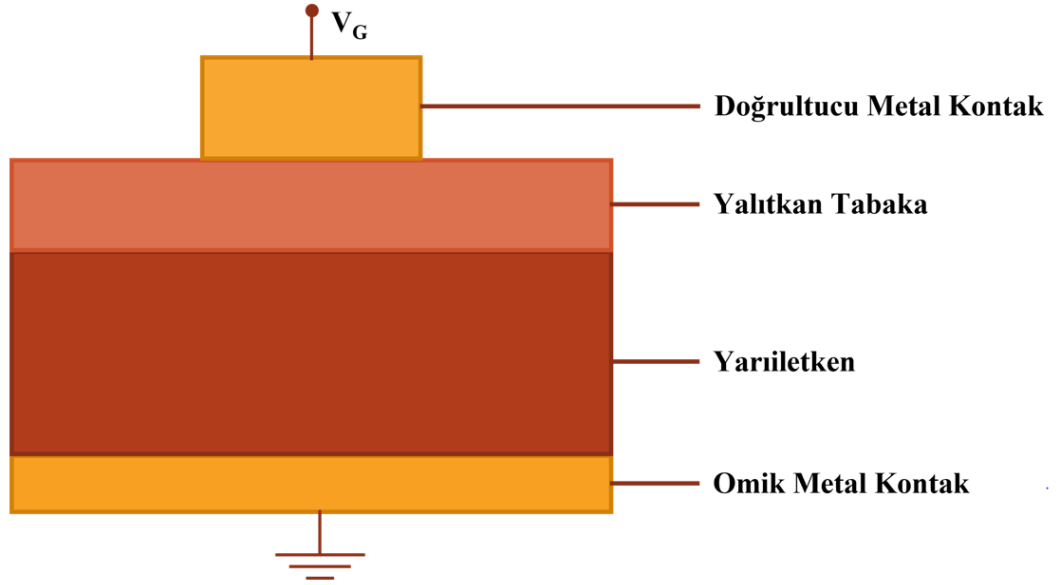
Bu tez çalışmasında fosfor katkılı n-tipi silisyum kristali, 20 Ω -cm öz dirençli, (100) yönelimli, 380 μm kalınlığa sahip kristal kullanılmıştır. Püskürtme yöntemi ile 132nm kalınlığında SnO₂ tabakası büyütülerek oksit tabaka elde edilmiştir. 200 nm kalınlığında altın metali kullanılarak omik ve doğrultucu kontaklar hazırlanarak Au/SnO₂/n-tipi/Au MOS tipi Schottky diyot elde edilmiştir. Elde edilen MOS yapı $^{60}\text{Co}-\gamma$ ışınına maruz bırakılmıştır ve 0 kGy ile 10 kGy radyasyon altındaki idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B), seri direnci (R_s), doyma akımı (I_0) ve ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) Yapı

MOS yapılar, metal tabaka, oksit tabaka ve yarıiletkenden oluşan Schottky diyotlardır (Hacıismailoğlu, 2005). Şekil 2.1.'de MOS yapısının şematik gösterimi verilmiştir. MOS yapılarda kontaklar; doğrultucu kontak ve omik kontak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrultucu ve omik kontaklar, metalin iş fonksiyonuna (Φ_m) ve yarıiletkenin iş fonksiyonuna (Φ_s) bakılarak belirlenir. Kullanılan yarıiletken n-tipi bir yarıiletken ise, $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak, $\Phi_s > \Phi_m$ durumunda ise omik kontak olarak belirtilir. P-tipi yarıiletkenler için durum tam tersidir. $\Phi_s > \Phi_m$ durumunda doğrultucu kontak, $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda omik kontak oluşur. Burada, Φ_m metalin iş fonksiyonunu, Φ_s ise yarıiletkenin iş fonksiyonunu simgelemektedir (Aydemir, 2009).

Metalin iş fonksiyonunu (Φ_m); bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum enerji seviyesine çıkarmak için ihtiyaç duyulan minimum enerji seviyesidir. Yarıiletken iş fonksiyonu (Φ_s); Fermi seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki farkın değeridir. Fermi enerji seviyesi, metallerde mutlak sıcaklık değerinin sıfır olduğu durumda tabandan itibaren başlayan en üst düzeydeki doluluk seviyesinin enerjisidir. Yarıiletkenlerde ise iletkenlik ve valans bandında bulunan taşıyıcı yoğunluğuna bağlı göreceli enerji seviyesi olarak tanımlanır. Vakum enerji seviyesi ise; bir elektronu yüzeyden koparıp serbest hale getirilmesi için ihtiyaç duyulan minimum enerji seviyesi olarak adlandırılmaktadır. (Nurtan, 2010; Sönmez, 2012).



Şekil 2.1. Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) yapı.

Metal plakaya uygulanan V_G voltajına göre yön tayini belirlenir. Omik kontağa göre metale pozitif voltaj uygulanırsa eğer MOS yapıya uygulanan voltaj pozitif voltajdır. Omik kontağa göre metale negatif voltaj verildiğinde ise MOS yapıya negatif voltaj uygulanmış olur (Gökçen, 2003).

2.2. İdeal MOS Yapı

Bir MOS yapıya ideal MOS yapı demek için bazı özellikleri taşıması gerekir. Bunlar:

1)Metale voltaj verilmeden önce; metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin iş fonksiyonları farkı sıfıra eşittir.

$$\text{n-tipi yarıiletken için : } \Phi_{m \rightarrow s} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \Psi_B \right) = 0 \quad (2.1)$$

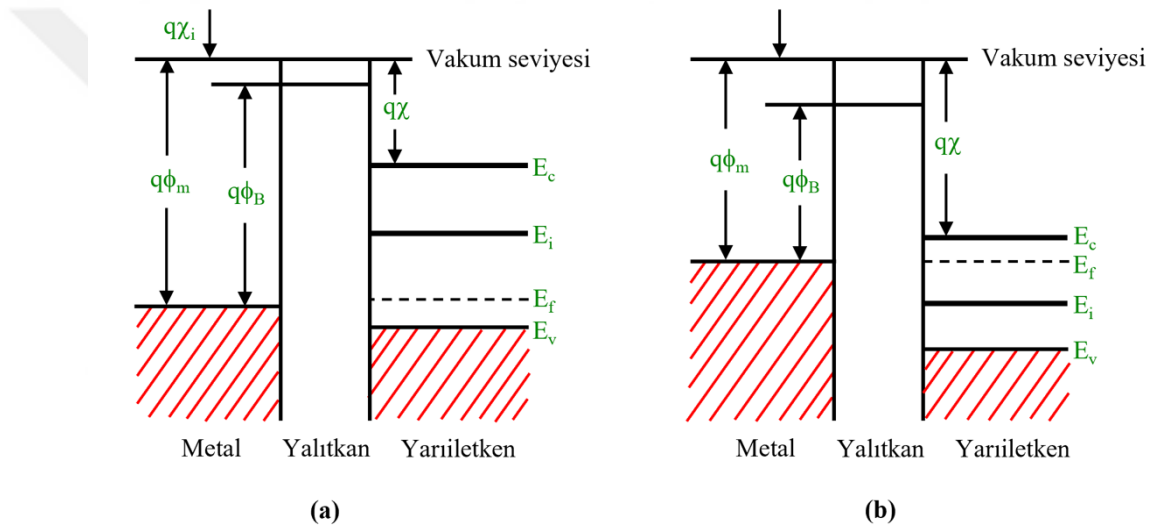
(Eg yasak enerji-band aralığını, Ψ_B Fermi seviyesi ile saf Fermi seviyesi arasındaki farkı simgeler.)

2)Oksit içinde ve oksit ara yüzeyinde; iyonize tuzaklar, hareketli iyonlar, sabit yüzey yükleri ve ara yüzey durumları bulunmaz. Yani oksit kaliteli yalıtkan görevini yerine getirir.

3)Metale DC beslem uygulandığı zaman oksitin direnci sonsuz olur.

4)Herhangi bir voltaj altında, arasında oksit tabaka bulunan metal ve yarıiletkenlerin yükleri birbirine zıt ve eşit uzaklıktadır (Akgül, 2015; Gökçen, 2003; Nurtan, 2010).

İdeal MOS yapının gerilim uygulanmadan önce enerij-band diyagramı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. $V=0$ 'da ideal MOS yapının enerji band diyagramı a) p-tipi yarıiletken b) n-tipi yarıiletken.

Φ_m = Metalin iş fonksiyonu

Φ_s =Yarıiletkenin iş fonksiyonu

Φ_B =Engel yüksekliği

χ = Yarıiletkenin elektron yakınlığı

χ_i =Yalıtkanın elektron yakınlığı

E_v =Valans bandı enerji seviyesi

E_i =Saf Fermi enerji seviyesi

E_F =Fermi enerji seviyesi

İdeal MOS yapıya voltaj uygulandığı zaman yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Metal içindeki serbest yük yoğunluğu yarıiletkene göre daha fazladır ve uygulanan voltaj değerine göre değişiklik gösterir. Uygulanan voltaj sonucunda yarıiletkenin arayüzey bölgesinde bandların bükülmesine sebep olan uzay yükleri (Q_{sc}) oluşur (Nicollian & Brews, 1982). Yapıya uygulanan voltaj:

$$V_G = V_{ox} + \Psi_s \quad (2.2)$$

V_G metal plakaya uygulanan voltaj, V_{ox} oksit tabakaya düşen gerilim ve Ψ_s ara yüzey voltajıdır. Bu bilgiler sonucunda toplam yük:

$$Q_M + Q_{sc} = 0 \quad (2.3)$$

eşitliği ile gösterilmektedir. Q_M metal yüzeydeki toplam yük, Q_{sc} ise uzay yükü bölgesinde biriken toplam yükü temsil eder.

MOS yapılarda yarıiletken ile metal arasında yer alan oksit tabakanın varlığı, yarıiletken ve metal arasında kapasite oluşturur. Buna MOS kapasitesi adı verilir. MOS kapasite yapısını, oksit ve oksit yarıiletken arayüzeyi belirlemektedir. Kapasite arayüzeyin dielektrik sabitine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Şekil 2.3.'te MOS kapasitesinin eşdeğer devresi gösterilmektedir. C_{ox} oksitin kapasitesini, C_{sc} uzay yükü kapasitesini ifade etmektedir. C_{ox} ve C_{sc} hesapları ise:

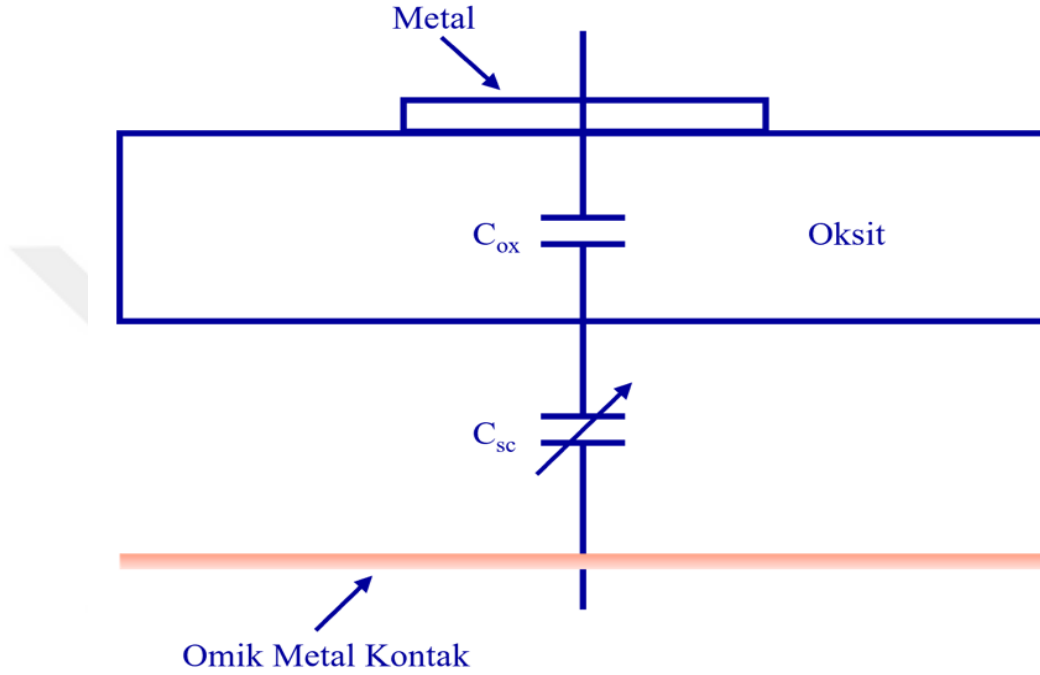
$$C_{ox} = \frac{dQ_M}{d\Psi_{sc}} A_{ox} \quad (2.4)$$

$$C_{sc} = - \frac{dQ_{sc}}{d\Psi_{sc}} A_{ox} \quad (2.5)$$

A_{ox} , oksit tabakanın alanını simgelemektedir. Oksit tabakanın kapasitesi ise şu şekildedir:

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} A_{ox} \quad (2.6)$$

ϵ_{ox} oksit tabakanın dielektrik sabiti, d_{ox} oksit tabakanın kalınlığını simgeler. Bu ifade sabit bir eşitliktir. Çünkü bütün değerler MOS yapı içinde sabit değerlerdir ve değişkenlik göstermezler. Verilen bilgiler doğrultusunda MOS yapının kapasitesini sadece uzay yükü kapasitesinin belirleyeceği sonucuna varılmaktadır. Uygulanan voltaj sonucunda oluşan durumlar aşağıda açıklanmıştır.



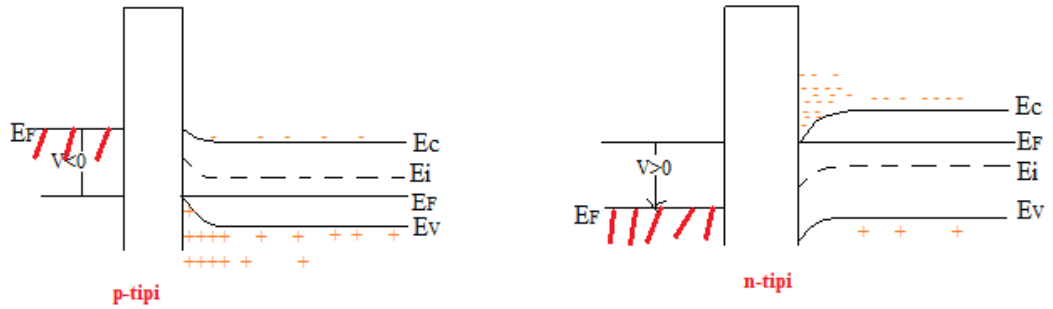
Şekil 2.3. MOS kapasitesinin eşdeğer devresi.

2.2.1. Yığılım

Metal plaka, negatif voltaj altında oluşan elektrik alan etkisiyle yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcılarını (n-tipi için elektronlar çoğunluk yük taşıyıcısıdır.) yarıiletkenin arayüzey bölgesine doğru çeker. İdeal bir diyot için yük akışı söz konusu değilse; Fermi enerji seviyesi yarıiletkende sabit kalmaktadır. Taşıyıcı yoğunluğunun, enerji farkına bağımlı olması, bant bükülmesine ve yarıiletken yüzeyinin yakınlarında çoğunluk taşıyıcıların yığılımına neden olmaktadır. Yani metal plaka ters beslem altında, metalde oluşan hareketlilikten kaynaklanan enerji bandında Fermi seviyesine yaklaşması durumunda n-tipi ve p-tipi yarıiletken türüne göre bantlar aşağı ve yukarı bükülmektedir. Bükülme sonucunda çoğunluk yük taşıyıcısının arayüzeyde birikmesi durumuna ‘yığılım’

adı verilmektedir (Fonash, 1975). Şekil 2.4.'te p-tipi ve n-tipi eklemlerin yığılım durumunda enerji band diyagramları verilmiştir.

Bu durumda arayüzeyde biriken yükün yüzey yükü olması sebebi ile $C_{sc} \rightarrow \infty$, dolayısıyla $C \rightarrow C_{ox}$ olur (Demir, 2007).



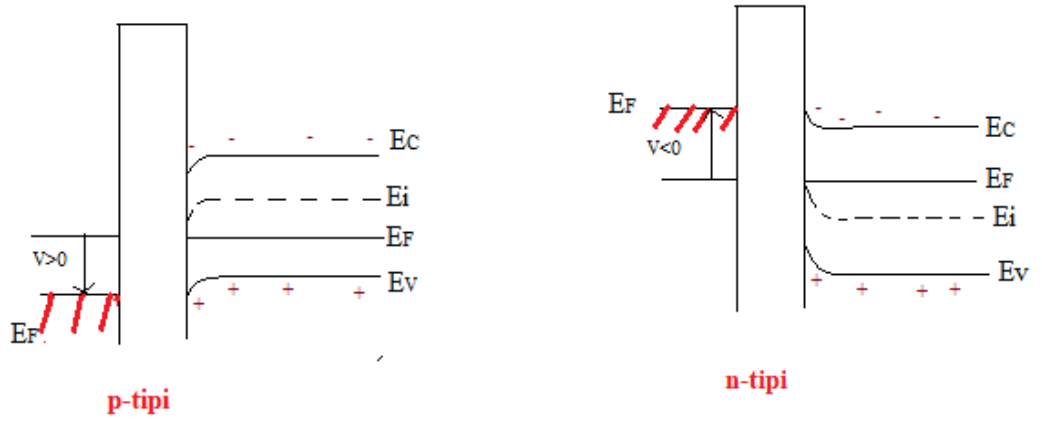
Şekil 2.4. p-tipi ve n-tipi eklemlerin yığılım durumunda enerji band diyagramları.

2.2.2. Tükenim

Metal plaka pozitif voltaj altında, oksit tabaka içinde oluşan elektriksel alan sebebiyle deşikler yüzeyden uzaklaşma eğilimi göstermektedir. Yarıiletken yüzeyinde oluşan deşiklerin yoğunluğu, bu durumun etkisiyle yarıiletken yüzeyinde deşik sayısı azalma göstererek, iç kısımlara doğru itilecektir. Bu durum sonucunda banlar aşağı doğru bükülür. Yarıiletkenin yüzeyine yakın yerde bulunan iletim bandında elektron yoğunluğu artış gösterir. Yarıiletken tabakasinda voltaja bağlı olarak değişen W_D genişliğinde bir bölgede, deşiklerin azalma durumundan dolayı tükenim bölgesi meydana gelir. Bu bölgeye tükenim bölgesi, gerçekleşen olaya ise tükenim olayı adı verilir. Şekil 2.5.'te p-tipi ve n-tipi eklemlerin tükenim durumunda enerji band diyagramı verilmiştir.

Tükenim tabakası genişliği denklem 2.7'de ifade edilmektedir.

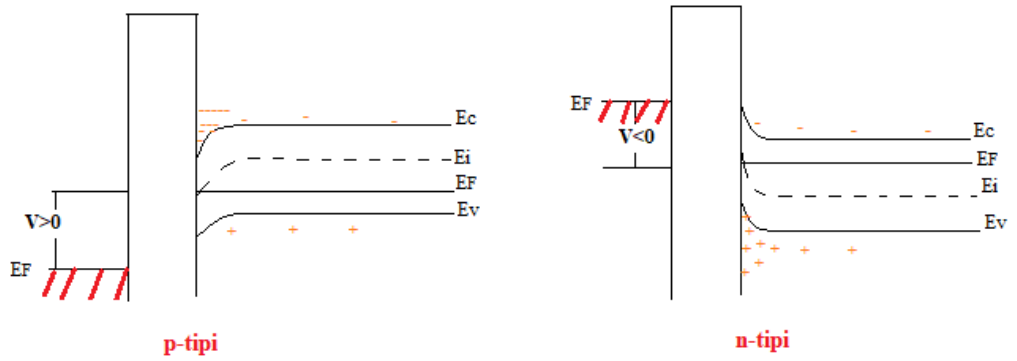
$$W_D = \epsilon_s A_{ox} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (2.7)$$



Şekil 2.5. p-tipi ve n-tipi eklemlerin tükenim durumunda enerji band diyagramı.

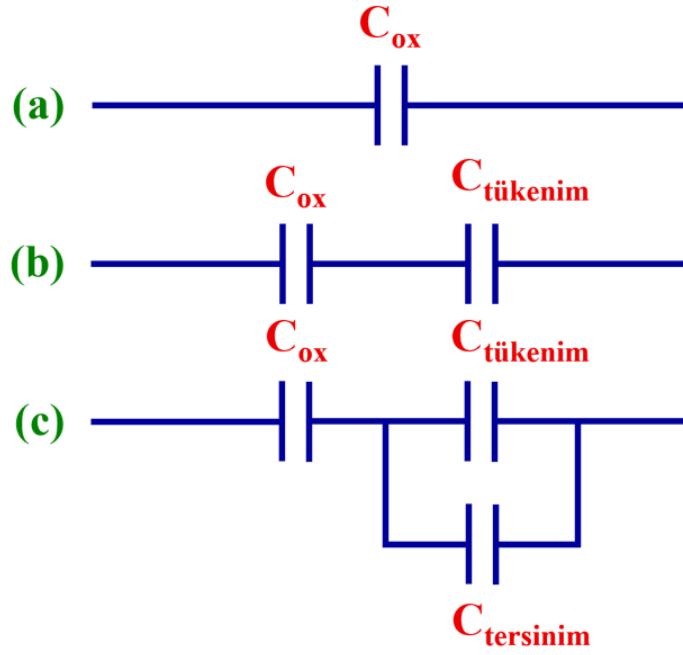
2.2.3. Tersinim

Metal plakaya uygulanan voltaj değerini arttırıldığında bandlar bükülür ve saf Fermi seviyesi (E_i) seviyesi, Fermi seviyesinin (E_F) altına düşer ve yarıiletkenin yüzeyinde azınlık taşıyıcısı olan elektronlar artmaya başlar. Bu durum da p-tipi yarıiletken n-tipi özelliğini gösterir. Bu durum n-tipi yarıiletken için de tam tersi olacaktır. Bu olaya tersinim adı verilir (Gökçen, 2003). Şekil 2.6.'da p-tipi ve n-tipi eklemlerin tersinim durumunda band diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 2.6. p-tipi ve n-tipi eklemlerin tersinim durumunda band diyagramları.

Yukarıda bahsedilen gerilime bağlı olarak oluşan yarıiletken-oksit arayüzey bölgesinde gerçekleşen; yığılma, tükenim ve tersinim olayları için MOS kapasitenin eşdeğer devresi Şekil 2.7.'de verilmiştir.

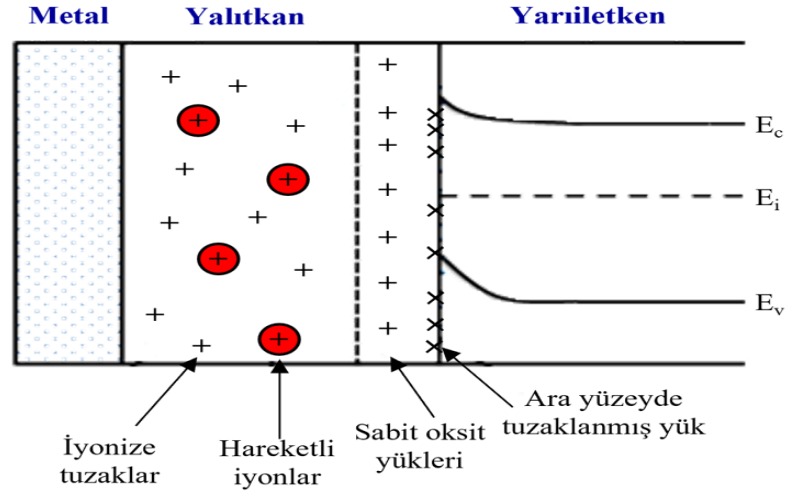


Şekil 2.7. Yığılım, tükenim ve tersinim durumları için MOS kapasitenin eşdeğer devresi.

2.3. Gerçek MOS Yapı

İdeal bir yalıtkanda; metal ve yarıiletken tabakanın birleştiği kısımda, herhangi bir hareketlilik söz konusu değildir. Gerçek MOS yapılarında ise elektriksel yükler nötr olmaz. Gerçek MOS yapıda birçok yükler ve durumlar oluşarak ideallikten sapma oluşur (Sze & Kwog, 2007). Bu durumların şematik gösterimi Şekil 2.8.'de verilmiştir. Bunlar;

- Numuneye uygulanan radyasyon sonrası oluşan, iyonize tuzaklar.
- Oksit tabakanın içinde oluşan, hareketli iyonlar.
- Yarıiletken yüzeyinde veya yakınlarında bulunan, uygulanan elektrik alan altındaki sabit yüzey yükler.
- Yalıtkan-yarıiletken ara yüzeyinde, enerji band aralığında oluşan enerji seviyeleri olarak bilinen arayüzey durumlarıdır.



Şekil 2.8. İdeal olmayan MOS yapısında ara yüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması.

2.3.1. Sabit oksit ve arayüzey yükleri

Sabit oksit ve arayüzey yükleri yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi içinde bulunurlar. Oksit ve yarıiletkenin, kristal yapılarının farklı olmasından dolayı yüklenme sonucunda, kristal bozukluklar ve yerel yükler oluşur. Yerel yükler, oksit-yarıiletken tabakaya uygulanan gerimlimin yük durumlarından bağımsızdır (Dökme & Altındal, 2007). Sabit oksit arayüzey yükleri; C- V_G eğrilerinin, ideal C- V_G eğrilerinden kaymasına sebep olur (Gökçen, 2003). Bu kayma sonucunda yalıtkan tabakanın içindeki sabit pozitif yük yoğunluğu ΔQ_{OX} , oksit-yarıiletken arayüzeyinde oluşan toplam yük ΔQ_{eff} ara yüzey yoğunluğu ΔQ_{ss} ile hesaplanır (Aydemir, 2009; Sze, 1981). Buna göre ; ΔV_{MG}

$$\Delta Q_{OX} = \frac{\Delta V_{MG} C_{OX}}{q} \quad (\text{cm}^{-2}) \quad (2.8)$$

$$\Delta Q_{eff} = \frac{\Delta V_{FB} C_{OX}}{q} \quad (\text{cm}^{-2}) \quad (2.9)$$

$$\Delta Q_{ss} = \Delta Q_{eff} - \Delta Q_{OX} \quad (\text{cm}^{-2}) \quad (2.10)$$

QV_{MG} : gerçek ve ideal C- V_G eğrilerinin bant ortasındaki gerilim kayması, ΔV_{FB} : düz bant durumunda gerilim kaymasıdır.

2.3.2. Hareketli iyonlar

Oksit yükün bir başka diğer yükü ise hareketli iyonlardır. Hareketli iyonlar metal-oksit arayüzeyinde veya oksit-yarıiletken ara yüzeyinde bulunabilirler (Aydın, 2013). Bu iyonlar genel olarak; Na^+ , K^+ , Li^+ , H^+ , H_3O^+ iyonlardır (Gren, King, & Schewchun, 1974). Böyle iyonlar düşük sıcaklıkta dahi hareketlenmeler olacağından sürüklenme yaratabilirler. Hareketli iyonlar ara yüzeylerde gidip gelebilir ve iyonik akım oluşturabilir. Hareketli iyonlar, kullanılan kimyasal maddelerin bu iyonları içinde bulundurması, mekanik parlatma esnasında çıplak elle temaslar, oksitleme fırını, kuartz tutucuların kirli olması ve oksitleme gazlarında bulunan safsızlıklar gibi nedenlerden dolayı oksit içinde yer alabilirler (Aydemir, 2009; Aydın, 2013). Hareketli iyon yükleri elektrik alan altında hareket halinde olduğundan MOS yapının kararlılığını büyük ölçüde bozarlar (Gökçen, 2003).

2.3.3. İyonize tuzaklar

Kimyasal yapı bozuklukları ve radyasyona bağlı olarak iyonlaşmış tuzaklar oluşur ve oksit tabakada yer alırlar. Yarıiletken ara yüzeyi ile yük alışverişi yapabilme durumundan kaynaklanan bir, oksit-yarıiletken ara yüzeyinde, yk oluşturur. İyonlaşmış tuzakların elektron yakalaması ile yüksüz hale geçmeleri mümkündür (Aydın, 2013). İyonize tuzakların C-V eğrisine etkisi büyüktür. Voltajı negatif değerden pozitif değere doğru çeken kapasitans değeri ile gerilimi pozitif değerden negatif değere çeken kapasitans değerinin farkından kaynaklanan durum sonucunda kapasite-voltaj (C-V) eğrisinde histerisis gözlemlenir (Gökçen, 2003; Aydemir, 2009). C-V eğrisinde iki yönde de görülen bu kaymalar oksit içindeki tuzakların miktarını verir. Buna göre;

$$\Delta Q_{His} = \frac{\Delta V_{HisFB} C_{OX}}{q} \text{ (cm}^{-2}\text{)} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılır. ΔQ_{HisFB} düz banttaki kayma miktarıdır.

2.4. Arayüzey Durum Yoğunluğu

Ara yüzey durumları bir kristalin ara yüzeyinin periyodik örgü yapılarının kesilmesi ile oluşur ve yasaklanmış bant aralığı içinde kendini göstermiştir (Nurtan, 2010). Ara yüzey durumları, ara yüzeydeki yasak bant içindeki girilebilir enerji seviyeleridir. Verici ve alıcı tip olarak ikiye ayrılırlar. Alıcı tip; enerji seviyeleri dolu ise negatif, boş ise yüksüzdür (Altındal, Karadeniz, Tuğluoğlu, & Tataroğlu, 2003). Verici tipte ise enerji seviyeleri dolu ise yüksüz boş ise pozitif yüklüdür (Tezcan, 2019). MOS yapıya bir gerilim uygulandığı zaman Fermi enerji seviyesi geride sabit kalırken, ara yüzey tuzak seviyeleri iletkenlik ve valans bantları ile beraber aşağı ve yukarı doğru takip ederek hareket ederler (Nurtan, 2010; Nicollian & Brews, 1982).

Ara yüzey durumları temizleme işlemi, kristal temizleme ve deneysel işlemler gibi birçok sebepten dolayı oluşabilirler. Ara yüzey tabakasının kalınlığı ince bir kalınlık olsa dahi diyotun parametrelerini olumsuz yönde etkileyerek diyotun ideallikten sapmasına neden olacaktır.

Ara yüzey durum yoğunluğu N_{ss} ile gösterilir. Yarıiletkenin ara yüzey durum dağılımlarını belirlemek için birkaç yöntem bilinmektedir. Kapasite – iletkenlikten yararlanılarak bulunan ara yüzey hesabı en çok kullanılan hesaplama yöntemidir. Diğer bir yöntem ise I-V hesaplarından yola çıkılarak elde edilir (Akgül, 2015).

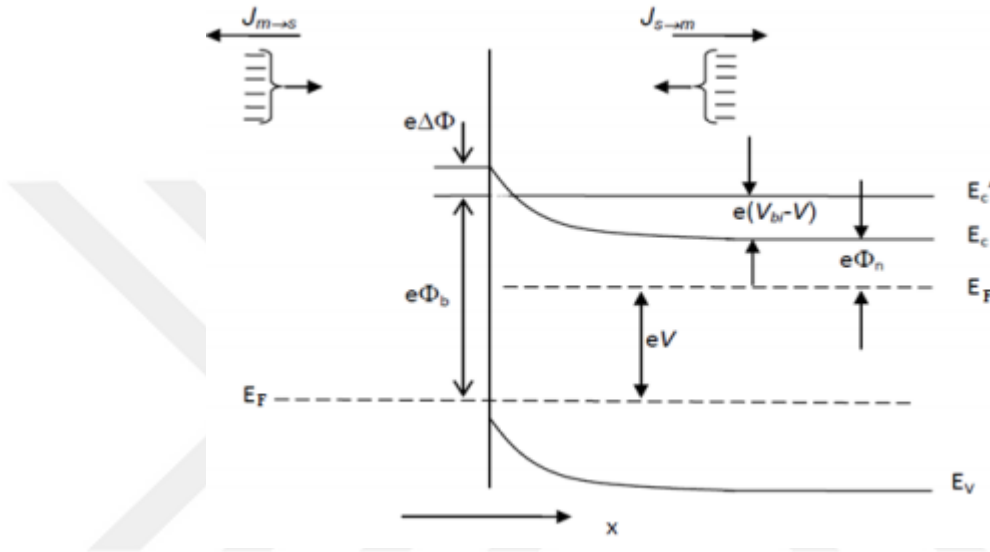
İdealite faktörünün ara yüzey durumlarına ve ara yüzey tabakanın kalınlığına bağlı olduğu bilgisinden yola çıkarak N_{ss} bağıllığını belirten formül (Sze S. , 1981):

$$\frac{1}{n} = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i + q^2 N_{ss} \delta} \quad (2.12)$$

olarak verilmektedir. n ideallik faktörü, q elektron yükü, δ ara yüzey tabakası kalınlığını, ϵ_i ara yüzey katmanı geçirgenliğini ifade etmektedir.

2.5. Termoionik Emisyon Teorisi

Metal/yarıiletken arasında gerçekleşen, metalden yarıiletkene, yarıiletkeniden metale doğru oluşan akım sistemini açıklayan iletim mekanizmasıdır (Akgül, 2015). n-tipi yarıiletken için bu taşıma sistemi elektronlar tarafından gerçekleşirken, p-tipi yarıiletkende deşikler tarafından gerçekleştirilir. Teorinin düz beslemdeki enerji bant diyagramı Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Termoionik emisyon teorisinin düz beslem üzerinde akım-iletim enerji-bant diyagramı (Bobby, Shiwakoti, Gupta, & Antony, 2016).

Yarıiletken tarafındaki elektronlar için uygulanan voltaj ile engel yüksekliğini değiştirir fakat bu durum metal tarafında ki elektronlar için bu durum söz konusu değildir. Metalde ki elektronlar için engel yüksekliğinde değişme olmaz. Bu durum bize metalden yarıiletkene geçen akımda değişiklik olmadığını gösterir (Sharma, 1984).

Termoionik emisyon teorisinin bazı varsayımları vardır. Bunlar;

- 1)Engel yüksekliğinin değeri kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- 2)Engel bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmaz.
- 3)Görüntü kuvvetlerin etkisi ihmal edilir ve engel yüksekliğinin biçimi önemli değildir.

J_{sm} yarıiletken den metale doğru akan akım yoğunluğu iken J_{ms} ise metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğunu simgeler. Engel yüksekliğini aşarak metale ulaşmaya çalışan elektronların akım yoğunluğu:

$$J_{sm} = \int_{E_c}^{\infty} qV_x d_n \quad (2.13)$$

şeklinde dir. V_x elektronların hızı, d_n küçük bir enerji aralığındaki elektron yoğunluğu, E_c metale termoiyonik enerji için gerekli olan enerjiyi simgeler. Bu ifade yardımıyla:

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT}\right] \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.14)$$

denkle mde verilen k Boltzman sabiti A^* Richardson sabitidir ve;

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \quad (2.15)$$

burada m^* taşıyıcının etkin kütlesi, h ise Planck sabitidir. Metalden yarıiletkene geçen akım yoğunluğu denkleminde, gerilimin etkisi görülmez. Bu yüzden denklem;

$$J_{ms} = -A^* T^2 \exp\left[\frac{-q(\Phi_B)}{kT}\right] \quad (2.16)$$

şeklinde olur. Bu durumda net akım yoğunluğunu bulmak istediğinde iki bölgenin akım yoğunluğunu toplamak yeterli olacaktır. Denklem 2.17 de ifade edilmiştir.

$$J = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q(\Phi_B)}{kT}\right) \left[\exp\frac{qV}{kT} - 1 \right] \quad (2.17)$$

(Ray, Mabrook, & Nabook, 1998). Doyma akım yoğunluğu:

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left[\frac{-q(\Phi_B)}{kT}\right] \quad (2.18)$$

Toplam akım yoğunluğu:

$$J=J_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.19)$$

Denkeleminden hesaplanır.

2.6. Seri Direnç Hesabı

Schottky diyotlarda seri direnç, yarıiletken kristal tabakanın ve metal kontağın, tükenim bölgesi dışında kalan bölgenin diyot akımına katkı gösterdiği dirençtir (Cheung & Cheung, 1986). Diyotlarda seri direnç oluşmasına neden olan birkaç faktör neden olabilmektedir. Bunlar;

- a) Yarıiletken tabakada oluşan gövde direnci
- b) Yarıiletken tabakaya temas ettirilen omik kontak
- c) Doğrultucu kontak üzerinde elektriksel ölçümler yapılmak için kullanılan teller
- d) Metal-yarıiletken arasına yerleştirilmiş oksit tabaka
- e) Yarıiletken-metal kontak arayüzeyinde oluşan tüketme tabakası

gibi nedenler seri direnç oluşumuna sebep olur (Asubay, 2011). Seri direncin etkisini birkaç yöntemle azaltmak mümkündür. Omik kontakın ısıtma işlemi ile çöktürülmesi veya ölçüm esnasında seri direncin değerinin düşürülmesi gibi yöntemlere başvurulabilmektedir. Seri direncin hesaplanmasında I-V grafiğinden ve ölçüm değerlerinden yararlanılarak hesaplamalar yapılır.

2.6.1. Norde yöntemi

Norde yöntemi, $F(V)$ fonksiyonu ile Schottky diyotun engel yüksekliğini ve seri direncini bulmayı hedefler. Bu değerleri bulmak için tek bir sıcaklıktaki I-V grafiğini baz alarak hesap yapmak yeterli olacaktır. Çünkü seri direnç ve engel yüksekliği sıcaklığa bağlı olarak değişen değerler değildir. Termionik emisyon teorisinden bulunan akım yoğunluğu denklemi diyotun etkin alanı ile çarpıldığı zaman toplam akım değeri:

$$I=AA^*T^2\exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right)\left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)-1\right] \quad (2.20)$$

olur. Diyota uygulanan gerilimin bir kısmı da seri direnç üzerine düşer. Seri direnç etkisi denklemden çıkarılarak diyota uygulanan gerilimin net sonucu bulunur.

$$I=AA^*T^2\exp\left(\frac{q\Phi_B}{kT}\right)\left[\exp\left(\frac{q(V-IR)}{nkT}\right)-1\right] \quad (2.21)$$

Yüksek seri dirençli diyetun lineer bölgesi sınırlıdır. Bundan dolayı eğrinin değerlendirilmesi daha zorlaşır. Seri derneç hesabı aşağıdaki Norde (Norde, 1979) fonksiyonu ile hesaplanır.

$$F(V)=\frac{V}{2}-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{1}{AA^*T^2}\right) \quad (2.22)$$

Denklem 2.21 ifadesinin her iki tarafında ln'i alınır ve denklem 2.22'de yerine konduğunda;

$$F(V)=\left(\frac{n-2}{2n}\right)V+\frac{IR}{n}+\Phi_B \quad (2.23)$$

ifadesine ulaşılır. İdeal durumunda R=0 olacağından dolayı bu durum söz konusu olduğunda F(V)-V grafiğinin eğimi (n-2)/2n olur ve F(V) lineer doğrusunu voltaj eksenini sıfırda kestiği nokta ile engel yüksekliğini buluruz. Fakat seri direnç sıfırdan farklı olur ve ideallikten sapılırsa F(V) fonksiyonu minimumdan geçer ve denklem;

$$F(V)=F_R(V)=\frac{V}{2}-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{V}{AA^*T^2R}\right) \quad (2.24)$$

şeklini alır. Denklem 2.24' te V'ye göre türevi alınıp denklem 2.22'de yerine konduğunda,

$$\frac{\partial F(V)}{\partial V}=\frac{n-2+\beta IR}{2(n+\beta IR)} \quad (2.25)$$

İfadesi elde edilir. Burada $\beta = kT/q$ 'dur. $\partial F(V)/\partial(V)=0$ olduğunda ise:

$$n-2+\beta IR=0 \quad (2.26)$$

denkleminde ulaşırız. Bu sayede bu denklemden seri direnç ve engel yüksekliği:

$$R_s = \frac{(2-n)kT}{Iq} \quad (2.27)$$

$$\Phi_B = F(V)_{\min} + \left(\frac{2-n}{2n} \right) \frac{V_0}{2} - \frac{kT}{q} \quad (2.28)$$

V_0 ve $F(V)$ fonksiyonunun minimum değerleridir. Bu aşamaya kadar idealite faktörünün 1'e eşit olduğu durumlar incelendi. İdealite faktörünün 1'den büyük olduğu durumda ise; $V/2$ ifadesindeki 2'nin yerini γ terimi alır. γ , idealite faktöründen büyük olan ilk tam sayıdır. Bu sayede 1'den büyük olan idealite faktörü durumunda I-V grafiğinde seri direnç (R_s), engel yüksekliği (Φ_B) ve idealite faktörünün (n)'nin daha sağlıklı sonuçlarına ulaşılmasını sağlar. Bu durumda güncel Norde (Norde, 1979; Kaya, Duman, Barış, & Gürbulak, 2021) denklemimiz:

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (2.29)$$

Denklem 2.15'nin her iki tarafının $\ln$ 'i alınarak denklem 2.23'te yerine yazıldığında;

$$F(V) = F_R(V) = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{n} \right) V + \Phi_{Bn} + \frac{IR}{n} \quad (2.30)$$

şeklini alır. Seri direncin sıfır olduğu durumda $F(V)$ eğrisinin eğimi $(n - \gamma/\gamma)$ olur.

Seri direnç sıfırdan farklı olduğu durumda ise denklem 2.29 ifadesi daha açık yazılırsa;

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{V}{RAA^*T^2} \right) \quad (2.31)$$

şeklini alır. Denklem 2.31 ifadesinin V 'ye göre türevi alınıp gerekli düzenlemeleri yaptığımızda, seri direnç ve engel yüksekliği:

$$\Phi_B = F(V_0) - \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{n} \right) V_0 - \frac{(\gamma-n)}{(\beta n)} \quad (2.32)$$

$$R_s = \left(\frac{\gamma-n}{\beta I_0} \right) \quad (2.33)$$

denklemlerine ulaşırız.

2.6.2. Cheung yöntemi

1986'da Cheung tarafından (Cheung & Cheung, 1986) MOS yapının seri direnç hesabını I - V fonksiyonunu kullanarak olanın dışında bir yöntem üretmiştir. Bu yöntemde denklem 2.17'de verilen denklemin her tarafında $\ln$ 'i alınıp gerekli düzenleme yapıldığında:

$$V = \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) + n\Phi_B + IR_s \quad (2.34)$$

şeklinde olur. Bu denklemin de her iki tarafın $\ln I$ 'ya göre türevi alındığı zaman:

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (2.35)$$

elde edilir. $dV/d(\ln I)$ ifadesi I 'ya karşı çizilirse bir doğru elde edilir (Tuğluoğlu, Koralay, Bengin Akgül, & Çavdar, 2016; Cheung & Cheung, 1986). Bu doğrunun eğimini alarak seri direnci R_s 'yi, eğrinin düşey eksenini kestiği nokta ile idealite faktörünü, verir. Cheung yönteminde engel yüksekliğini bulmak için;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (2.36)$$

$H(I)$ fonksiyonu kullanılır. Engel yüksekliğini bulmak için denklem 2.34 ve denklem 2.36 denklemlerini kullanarak:

$$H(I)=n\Phi_B+IR_s \quad (2.37)$$

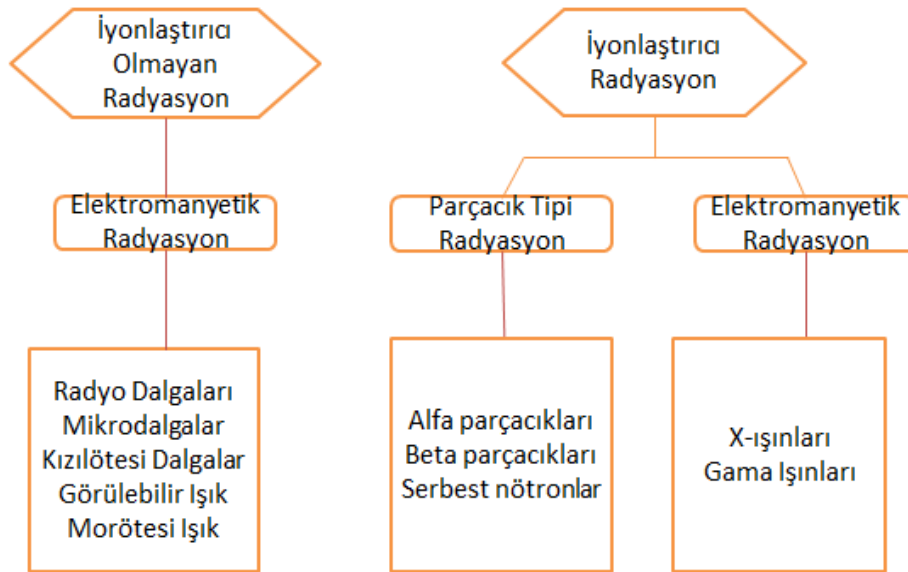
şeklinde bir denklem oluşur. $H(I)$ 'nın I 'ya göre grafiği çizildiğinde bir doğru oluşturulacaktır. Elde edilen doğrunun eğimi seri direnci, $H(I)$ 'nın eksenini kestiği nokta ise engel yüksekliğinin değeri elde edilir.

2.7. Radyasyon Madde Etkileşimi

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar halinde enerji yayımı veya aktarımıdır (URL 1, 2011). Radyasyon elektromanyetik dalga tipi ve parçacık tipi olarak ikiye ayrılmaktadır.

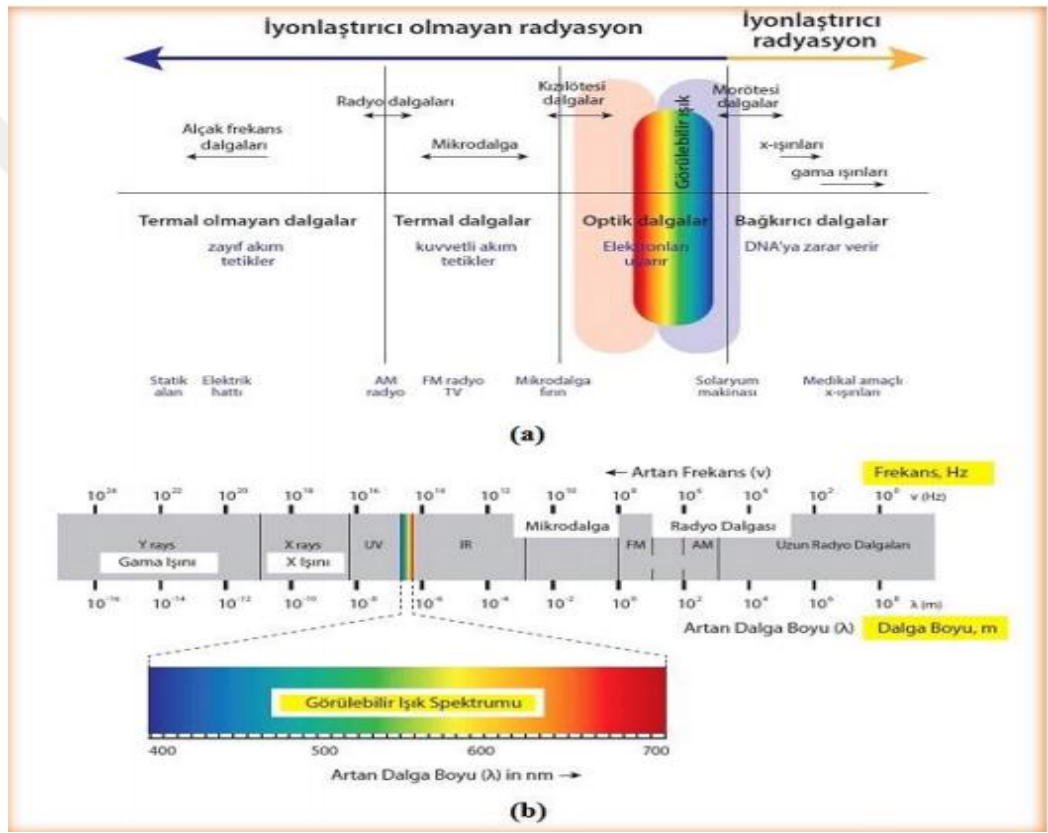
Elektromanyetik radyasyon; kütlesi olmayan, elektrik ve manyetik dalgalar şeklinde yayılan bir radyasyon tipidir. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tipleri olarak alt başlık halinde ikiye ayrılmaktadır. Parçacık tipi radyasyonun kütlesi vardır ve büyük miktarda enerjisi olan bir radyasyon tipidir ve iyonlaştırıcı radyasyon türleri arasında yer almaktadır (Kaymaz, 2020).

2.7.1. Radyasyon çeşitleri



Şekil 2.10. Radyasyon çeşitlerinin iyonlaştırma türüne sınıflandırılması.

İyonlatıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri Şekil 2.10'da verilmiştir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, bir molekülü hareket ettirmeye ve titretme özelliğine sahipken bir elektronun atomdan kopmasını sağlayacak enerjiye sahip değildir. Bu noktada iyonlaştırıcı radyasyondan ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon ise atomdan elektronu koparacak enerjiye sahip bir radyasyon türüdür (Kaymaz, 2020).



Şekil 2.11. Radyasyonun iyonlaştırma, frekans ve dalga boyu arasındaki ilişkisi a) iyonlaştırma durumuna göre, b) frekans ve dalga boyuna göre (URL 3, 2019).

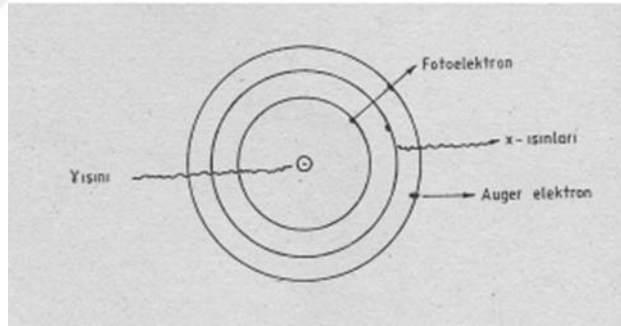
2.7.2. Gama Işınları

Gama ışınları, elektromanyetik bir radyasyon türüdür ve dalga boyları çok küçük fakat enerji seviyeleri çok yüksektir. Gama ışınları, alfa ve beta parçacıklarına göre madde üzerinde daha derine etki edebilme gücüne sahiptir. Gama ışınları, kütsüz ve yüksüz yapıda olduğundan dolayı elektrik ve manyetik alanda saptırılmazlar ve

yüksek enerjili yapıya sahip oldukları için ışık hızı kadar çabuk hareket edebilirler (Baran, 2015). Kağıt, tahta, ince alüminyum gibi malzemelerden geçebilme özelliğine sahiptir. Bundan dolayı bu tip ışınların etki alanları çok geniştir. İnsan sağlığına zararı olabileceği gibi elektromanyetik cihazlarında çalışmalarını etkileyecek güce sahiptir. Bu yüzden gama ışınları ile çalışılırken kullanılacağı yere göre dozuna dikkat edilmeli ve doğru ayarlanmalıdır (URL 3, 2019).

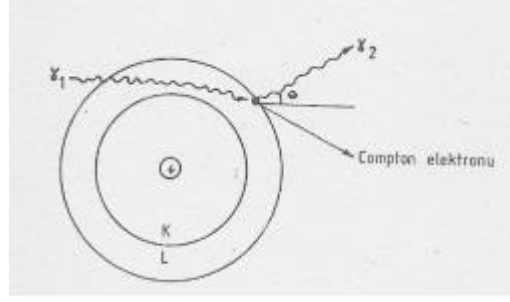
Gama ışınları madde içerinden geçerken üç farklı şekilde madde ile etkileşim sağlamaktadır. Bu etkileşimler; Fotoelektrik olay, Compton saçılması ve Çift oluşumdur (Knoll, 2000). Bu olaylar aşağıda verilen şekillerde de şematik olarak gösterilmiştir.

Fotoelektrik olay: Enerji seviyeleri 70 keV'un altında olan fotonlar fotoelektrik etki özelliğini taşırlar. Atom gönderilen fotonu absorbe eder, emilen foton atomun yörüngedeki elektronlarından birinin fotoelektron olarak aksedilmesine neden olmaktadır. Bu olay sonucunda, bir elektron ve bir pozitif iyon yani elektron deşik çiftleri oluşur.



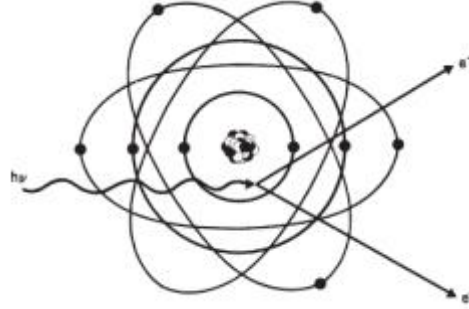
Şekil 2.12. Fotoelektrik Olayın Şematik Gösterimi (Bilge & Tuğrul, 1990).

Compton olayı: Enerji seviyeleri 70 keV ile 20 MeV fotonlar için, hakim olan mekanizma Compton saçılması olarak bilinir. Bu olayda, gönderilen foton tümüyle soğurulmaz. Enerjisinin bir kısmını hedef atomdan kopan yani ulaştığı elektrona iletilip saçılıma uğrar. Atomdan kopan bu elektron, Compton elektronu olarak isimlendirilmektedir. Böylece düşük enerjili Compton fotonu ile birlikte elektron-deşik çiftleri oluşur.



Şekil 2.13. Compton Olayı Şematik Gösterimi (Bilge & Tuğrul, 1990).

Çift oluşumu: Bu olayın oluşması için gönderilen fotonun enerji seviyesi 1,02 MeV'den büyük olmalıdır. Çarpışma esnasında, iletilen foton tümüyle yok olarak zıt elektrik yüklü parçacıklar olan elektron-pozitron çiftinin oluşmasına sebep olurlar (Uyar, 2016).

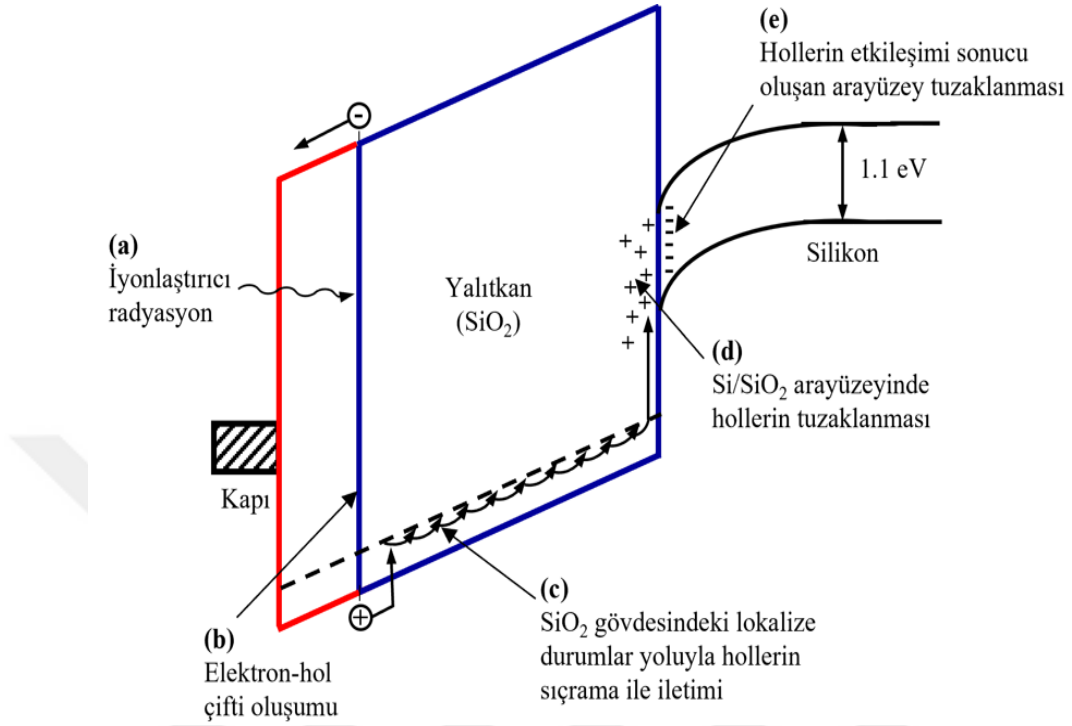


Şekil 2.14. Çift Oluşumu Şematik Gösterimi (L'Annunziata, 2003).

2.8. MOS Yapılarda Radyasyon Madde Etkileşimi

MOS yapılara uygulanan radyasyon ışınlamaya en duyarlı tabaka oksit tabakadır. Radyasyon, MOS yapılarda kalıcı ve geçici hasarlara sebep olabilir (Güllü, Çankaya, Biber, & Türüt, 2008). MOS yapı radyasyon ışınlamaya maruz bırakıldığında oksit tabaka içinde elektrom-deşik çifti oluşmaktadır. Elektron-deşik çiftinin oluşumu geçici bir etki olarak gözlemlenirken, kristal yapının bozulması ise kalıcı hasar olarak gözlemlenmiştir. Radyasyona bağlı kusurlar, kristal yapıda bozulmalar ve arayüzey tuzakları gibi kalıcı hasar sonucunda MOS yapının performansı ışınlamaya bağlı olarak etkilenmiştir. (Garcia, Duenas, Castan, Gomez, & Balion, 2009; Badila,

Godignon, Millan , Berberich, & Brezeanu, 2001). Şekil 2.15’de MOS yapının radyasyon altındaki etkisi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.15. Yarıiletken yapılarda iyonlaştırıcı madde etkileşimi sonucunda oluşan durumlar.

MOS yapının metal tabakası düşük dirençli bir yapıya sahipse elektron-deşik çiftlerinin yok olduğu durumlar gözlenmiştir. Oksit tabakada bulunan elektron-deşik çiftlerinin boyutlarındaki farklılık; birbirinden farklı davranış şekilleri göstermektedir. (Tataroğlu & Altındal, 2008). Işınlama sonrasında oluşan elektron-deşik çiftlerinin bir kısmı daha sonra ayrılır ve tekrar birleşmektedir. Birleşmeyen çiftler ise oksite uygulanan elektrik alan ile birbirinden ayrılırlar. Düz beslem altında elektronlar metale doğru yönelim gösterirken, deşikler oksit-yalıtkan arayüzeyine doğru hareket ederler. Arayüzey yakınlarında bulunan fakat oksit tabaknın içinde yer alan sabit oksit yükleri, (Şekil 2.15.’te durum e de gösterildiği gibi) tuzaklanmaktadır. İyonlaştırıcı gama ışınları ile oksit tabakanın arayüzeyinde ara yüzey tuzakları oluşur.

Işınlama sonrası oluşan elektronlar deşiklerden daha hareketli bir yapıya sahiptir. Elektronlar, oksit-yarıiletken tabakanın arayüzey bölgesinde hareket ederek arayüzey tuzakların oluşmasına sebep olurlar. Deşikler tükenim bölgesinde bulunan alan,

altındaki gövdeye doğru hareket ederler. Arayüzey bölgesinin yakınlarında biriken fazlalık elektronlar arayüzey potansiyelinin azalmasına sebep olurlar (Chauhan & Chakrabarti, 2002).

İyonlaştırıcı radyasyon, oksit tabakanın içinde tuzaklanmış yüklerin sayısında artış yarattığı gibi, oksit-yarıiletken arayüzey bölgesinde ise arayüzey tuzaklarının sayısında artış yaratır. Elektronik cihazlar üzerinde radyasyonun, iyonlaştırıcı etki ve yerdeğiştirme hasarı olarak iki farklı etki yaratabilir. Radyasyon ışını madde ile etkileştiğinde enerjinin bir kısmı iyonlaşma etki, diğer kısmı yerdeğiştirme hasarı tarafından tüketilir. Bundan dolayı, radyasyon ışını elektronik cihazın elektriksel parametrelerini değiştirebilir (Chauhan & Chakrabarti, 2002; Baran & Tataroğlu, 2013)

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezde deneysel işlemlerinde ilk olarak numune (MOS yapı) hazırlığı ile başlanılmaktadır. Numune hazırlığı 4 aşamadan oluşmaktadır.

- 1)Kristal temizleme
- 2)Omik kontağın oluşturulması
- 3)Oksit tabakanın (SnO_2) oluşturulması
- 4) Doğrultucu kontağın oluşturulmasıdır.

Numune hazırlıklarının aşamaları detaylı olarak aşağıda anlatılmaktadır.

3.1. Silisyum Kristalinin Kimyasal Temizlenmesi

İyi bir MOS yapı elde etmek isteniyorsa: yarıiletken kristal yüzeyi çok iyi temizlenmelidir. Kullanılan kristalin yanında deneyde kullanılacak bütün alet ve edevatlarında iyi bir şekilde kimyasal temizlemeden geçirilmesi gereklidir. Bundan dolayı ilk adımda deney içinde kullanılacak beher, cımbız vb. deney araçlarımız aseton ile yıkanıp, de-iyonize suda durularak etüv’de 100 dereceye yakın sıcaklıkta ısıtılmıştır. Sonrasında kristal temizleme işlemine başlanmıştır.

Deney için kullanılan kristal (100) doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci 20Ω , kalınlığı $380\mu\text{m}$ olan fosfor katkılı n- tipi silisyum yarıiletkeni aşağıdaki aşamalardan geçirilerek temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

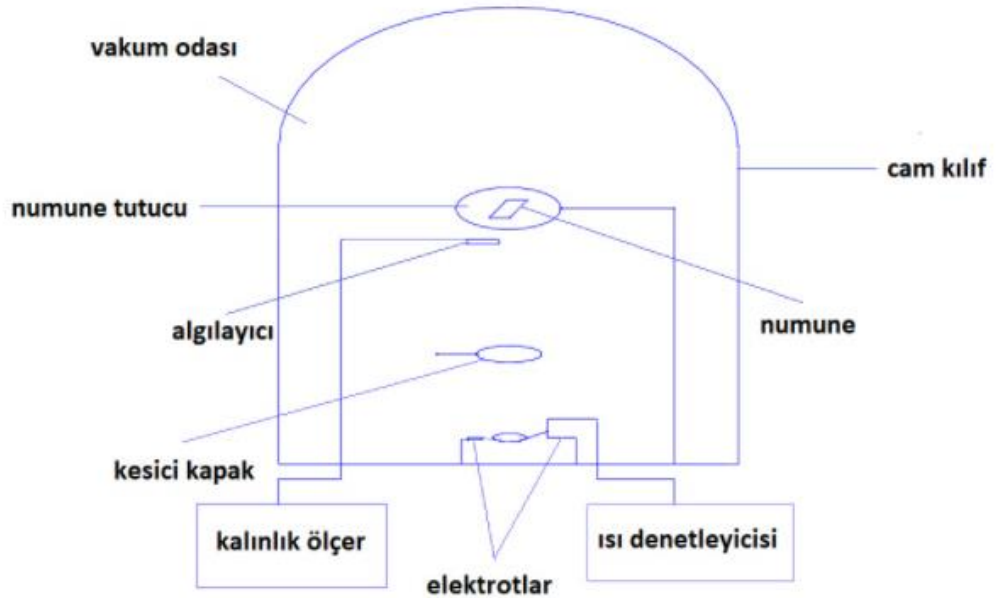
Yarıiletken kristal, triklor-etilen, aseton ve metanol içinde altı dakika boyunca ultrasonik olarak de-iyonize suda 10 dakika yıkanmıştır. Sülfirik asit (H_2SO_4) ve hidrojen peroksit (H_2O_2)’nin 10ml hacmindeki karışımında 10 dakika boyunca ultrasonik banyoda çalkalanmıştır. Karışımdan alınan yarıiletken kristal de-iyonize suda 15 dakika ultrasonik olarak durulanmıştır. Daha sonra 20 ml de-iyonize su ve 2 ml hidroflorik asit (HF)’den oluşan karışımında 30 sn boyunca çalkalama yapılmıştır. De-iyonize suda 15 dakika durulanmıştır. 30:10:50ml oranında nitrik asit (HNO_3) ,

hidroflorik asit (HF) ve de-iyonize sudan oluşan karışımda 10 dakika boyunca ultrasonik banyoda yıkanmış ve de-iyonize suda durulanmıştır. Hidroflorik asit + de-iyonize suda (10:1) 30sn boyunca ultrasonik yıkama yapılmıştır. Son yıkama adımında kristal, de-iyonize suda 15 dakika boyunca ultrasonik olarak yıkanarak, durulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yıkama işlemleri bittikten sonra, kristal, kuru azotla (N₂) kurulanmış ve hemen sonrasında vakum ortamına yerleştirilmiştir.

3.2. Omik Kontağın Oluşturulması

Temizlenen kristalin omik kontak yapım aşamasında kristalin mat yüzeyi kullanılır. Bunun için ısısal buharlaştırma sistemi kullanılmıştır. Bu sistem şematik olarak Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.

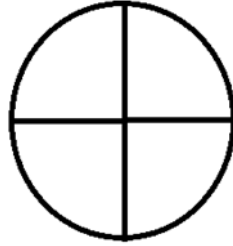


Şekil 3.1. Omik ve doğrultucu kontak yapımında kullanılan, EDWARDS marka buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.

Şekilde 3.1'de verilen sistemin elektrotları arasına omik kontak yapımında kullanılacak olan altın (Au) yerleştirilir. Daha sonra numune tutucu kısma silisyum

kristal (mat yüzeyi aşağıda olacak şekilde) bakır maske üzerine sabitlenir (Şekil 3.2). Fanus kapatılarak vakum alma işlemine geçilir ve sistem yaklaşık 10^{-6} Torr basınca düşürülür. Ve altın buharlaştırılarak, kristalin mat yüzeyi altın metal (Au) ile kaplanmış olur.

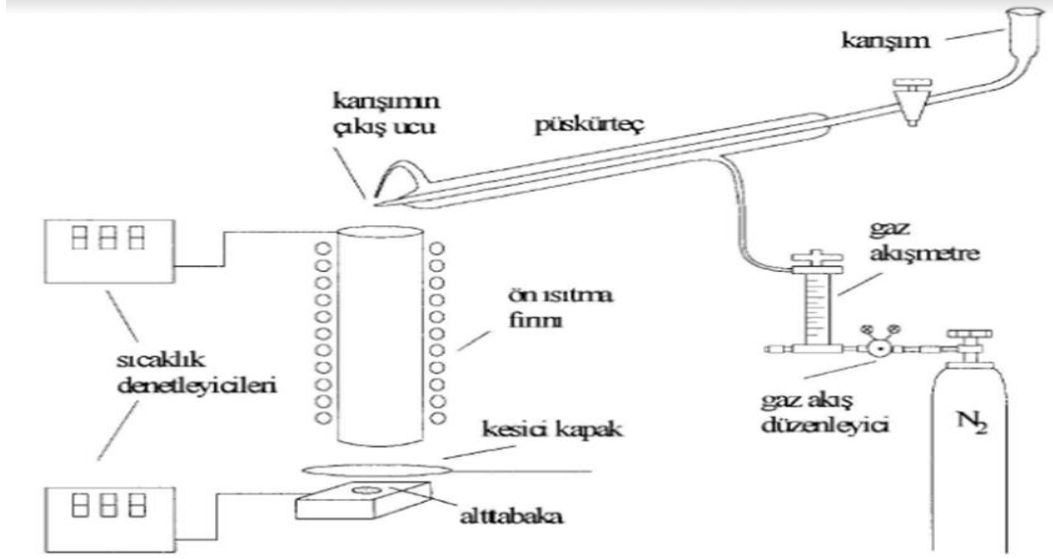
Yüzey metal ile kaplandıktan sonra sistemdeki anot ve katot arasındaki pota sökölerek, sisteme düz bir flaman (tungsten) yerleştirilir. Bu defa sisteme altın yüzey ile kaplanan taraf üst tarafa bakacak şekilde tungsten üzerine bırakılır. Tekrar sistem vakuma alınır ve anot-katot arasına akım verilerek tungsten akkor hale gelir. Isınan yüzey altını kristal yüzeyde yavaş yavaş çöktürmeye başlar. Altın ile kaplanan yüzey matlaşmaya başladıysa çöktürme işlemi başarılı olmuştur ve omik kontak işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.2. Omik kontak oluşturulurken kullanılan maske.

3.3. Yalıtkan Kalay Dioksit (SnO_2) Tabakasının Oluşturulması

Temizlenen kristalin parlak yüzeyi üzerinde SnO_2 yüzeyini oluşturmak için püskürtme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde hacimce %27,4 kalay klorür ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), %32,2 etil alkol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) , %40,4 de-iyonize su manyetik karıştırıcıda yarım saat boyunca karıştırılmıştır. Karışım elde edildikten sonra Şekil 3.3'deki şematik püskürtme sisteminde karışım kabına yerleştirilmiştir.

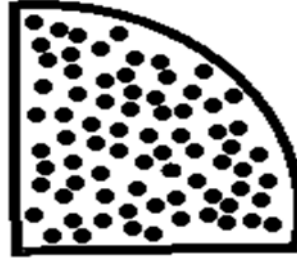


Şekil 3.3. SnO₂ tabakasının oluşturulmasında kullanılan püskürtme düzeneği.

Sistemde yaklaşık 200 derecede ön ısıtma yapılarak alt tabaka arasındaki sıcaklık farkı kapatılmıştır. Numune metal (Au) ile kaplanan yüzeyi alt tarafa gelecek şekilde ve kristalin parlak yüzeyi üst tarafa bakacak şekilde numune tutucuya yerleştirilir. Sistemde vana açılmadan hemen önce kuru azot (N₂) devrede akışı sağlanarak vana açılarak ve solüsyon gaz akışıyla birlikte püskürteçe yönelir. İlk püskürtmede oluşabilecek safsızlığı önlemek için kesici kapak hemen açılmamıştır. İstenilen zamanda kesici kapak açılarak kristal üzerine yaklaşık üç dakika boyunca püskürtme yapılmıştır. Daha sonra kapak hızlıca kapatılarak numune alınır ve vakum ortamında soğumaya bırakılır.

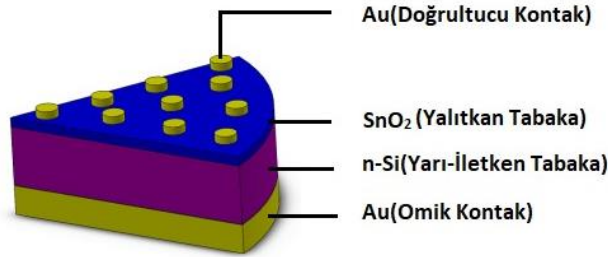
3.4. Doğrultucu Kontak Yapımı

Numune tekrardan Şekil 3.1’de verilen vakum sistemine tekrardan alınır. Sistem içerisine kaplanmak malzeme (Au) potaya yerleştirilir. Kristalimiz kalaydioksit (SnO₂) ile kaplanan tabaka aşağıya bakacak şekilde 1mm çapında Şekil 3.4’te gösterilen maske üzerine sabitlenmiştir.



Şekil 3.4. Doğrultucu kontak yapımında kullanılan maske.

Fanus kapatılarak, vakum sistemindeki altın parçacıklarını buharlaştıracak basınç (10^{-6} Torr) değerine sistem ayarlanmıştır. Temizlenmiş olan altın parçacıkları buharlaşarak maskenin 1mm çapındaki deliklerine birikme yaparak doğrultucu kontak elde edilmiştir. Hazırlanan MOS yapı Şekil 3.5'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Au/SnO₂/n-Si/Au (MOS) yapının şematik gösterimi.

3.5. Akım-Voltaj Ölçüm Sistemi

Bu deneyde hazırlanmış olan Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotunun elektriksel karakteristiklerinin verilerine ulaşabilmek için, akım-voltaj (I-V) karakteristikleri numuneye radyasyon ışınlaması yapılmadan önce ve ışınlama sonrası voltaj verilerek akım değerleri ölçülmüştür. Elektriksel karakteristiklerini elde edebilmek için Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında yapılan akım-voltaj ölçümleri Keithley 2410 ölçüm sistemi ile alınmış ve diyota -2V ile +2V arasında voltaj vererek akım değerlerine ulaşılmıştır. Diyota uygulanan radyasyon ışınlaması ise; Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda oda sıcaklığı şartlarında 10 kGy'lik ışınlamaya maruz bırakılmıştır.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Au/SnO₂/n-Si Schottky Diyot Akım-Voltaj (I-V) Karakteristiği

Bu çalışmada hazırlanan Au/SnO₂/n-Si/Au (MOS) Schottky diyotun radyasyon öncesi ve radyasyon sonrası akım-voltaj ölçümleri alınmıştır. Alınan I-V ölçümü ile diyotun 0 kGy ve 10 kGy'de ⁶⁰Co gama radyasyon ışınına maruz bırakıldıktan sonra, idealite faktörü, engel yüksekliği ve doyma akımı değerleri hesaplanmıştır.

Au/SnO₂/n-Si/Au MOS yapının radyasyon ışını öncesi ve sonrası için düz beslem ve ters beslem altındaki akım-voltaj ln(I)-V karakteristikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Ölçümler -2 V ile 2V arasında, 20 mV artışla akım değerleri de ve $V > 3kT/q$ bölgesinde hesaplama yapılmıştır. Akım ve voltaj arasındaki ilişki aşağıdaki formül ile tanımlanır.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (4.1)$$

Burada; V diyot gerilimidir. q elektron yükü ve değeri $1,60 \times 10^{-19}$ C'dur. k ise Boltzman sabitidir ve değeri $1,38 \times 10^{-23}$ J/K'dir. T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. T=300 K olarak alınmıştır. n ise idealite faktörüdür ve I₀ ters doyma akımıdır. Şekil 4.1' de verilen eğrilerin V=0'da ln(I) ekseninin kesme noktasından ln(I₀) değeri elde edilmektedir. Aşağıda verilen formül ile de I₀ değerine ulaşılır:

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

Verilen parametrelerde; A diyotun doğrultucu kontak alanını, Φ_B engel yüksekliğini, A* Richardson sabitini belirtmektedir. n-Si yarıiletken için Richardson sabiti $120 \text{ A/K}^2 \text{ cm}^2$ değerindedir.

İdealite faktörü; sıcaklığa, gerilime, ara yüzey durumlarına ve seri dirençe bağlıdır. İdealite faktörünün 1'den büyük bir değerde bulunması, MOS yapının ideal bir MOS yapıdan uzaklaştığının kanıtıdır. Aynı zamanda idealite faktörü, mevcut yük taşıma

mekanizmasının, ideal termoiyonik emisyon teorisinden saptığını belirten parametredir.

İdealite faktörü Şekil 4.1 grafiğinden faydalanılarak $\ln(I)$ -V eğrisinin eğimi alınarak elde edilir. İdealite faktörünün hesabı için kullanılan ifade, denklem 4.3’de tanımlanmaktadır.

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

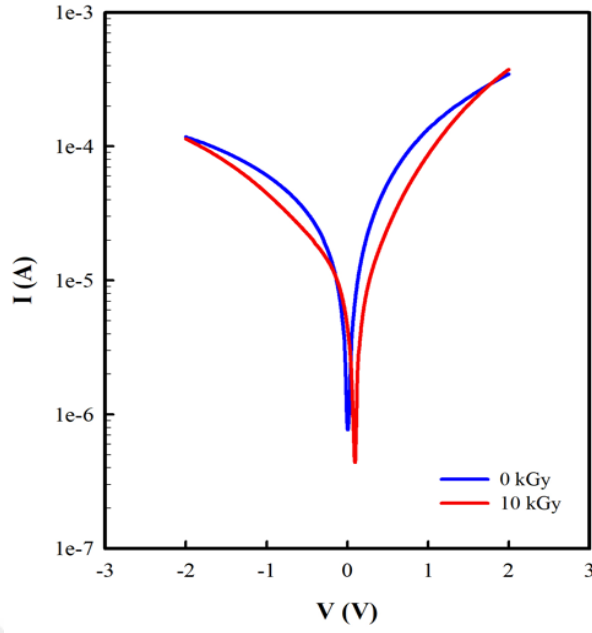
Yarıiletken-oksit arayüzeyinde oluşan engel yüksekliğinin hesabı denklem 4.4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{A A^* T^2}{I_0} \right] \quad (4.4)$$

Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyotu ⁶⁰Co γ -ışını 10 kGy doz ışınlamaya maruz bırakılmıştır. Işınlama öncesi ve sonrası ters beslem ve düz beslemdeki akım-voltaj ($\ln(I)$ -V) grafiği Şekil5.1’de verilmiştir. Au/SnO₂/n-Si Schottky diyetunun hesaplanan, n, Φ_B , I₀ değerleri radyasyon öncesi ve sonrası Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Radyasyondan önce ve sonra hesaplanan idealite faktörü (n), ters doygunluk akımı (I₀) ve engel yüksekliği (Φ_B) değerleri.

Işınlama(kGy)	n	I ₀ (A)	Φ_B (eV)
0	3,49	2,33x10 ⁻⁶	0,627
10	2,45	2,70x10 ⁻⁷	0,683



Şekil 4.1. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışıınıını öncesi ve sonrası lnI-V grafiğı.

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi idealite faktörü, engel yüksekliğı ve doyma akımı radyasyondan etkilenmiştir. İdealite faktörü radyasyon ile azalma gösterirken, engel yüksekliğinde artış söz konusudur. İdealite faktörü 3,49 ‘dan, 10kGy ⁶⁰Co γ -ışınına maruz kaldıktan sonra 2,45’e azalırken; engel yüksekliğı 0,627 eV’den 0,683 eV’ye yükselmiştir. Sonuç olarak radyasyondan sonra diyot parametreleri değışikliğe uğramış radyasyon diyot parametrelerine olumlu etki yapmıştır.

4.2. Seri Direnç Hesabı

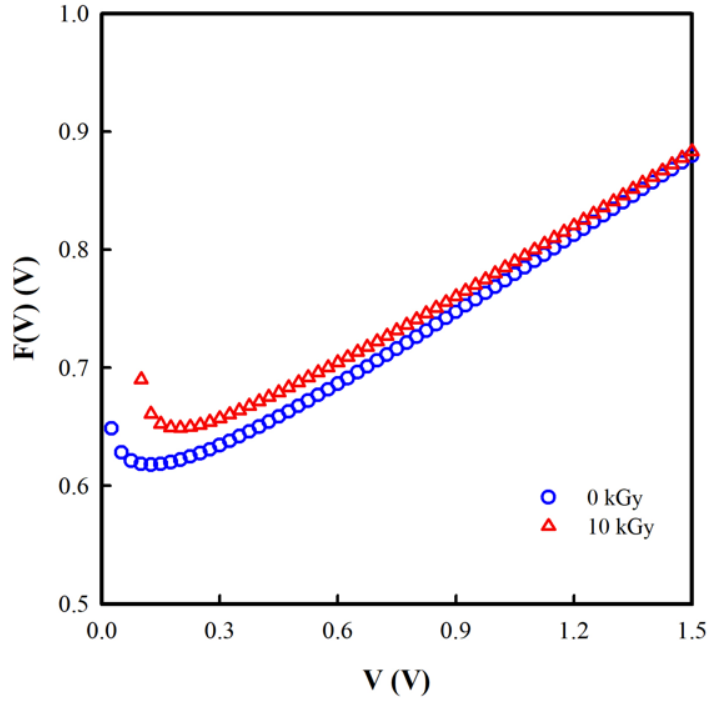
Schottky diyotların performansını etkileyen bir diğır parametre de seri dirençdir. Seri direnç (R_s) etkisi, yüksek voltajlarda ve ln(I)-V eğrisinin linnerlikten saptığı bölgede görülür (Tezcan, 2019). Seri direnç birçok yöntemle hesaplanabilmektedir. Au/SnO₂/n-Si Schottky diyodunun seri direnç hesabı, Norde yöntemi (Norde, 1979) ve Cheung yöntemi (Cheung & Cheung, 1986) kullanılarak yapılmıştır.

4.2.1. Norde yöntemi ile seri direnç hesabı

Üretilen Au/SnO₂/n-Si/Au diyotunun radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası seri direnç ve engel yüksekliği Norde yöntemi ile hesaplanmıştır. Şekil 4.2’de radyasyon öncesi ve sonrası F(V)-V eğrileri gösterilmiştir. İlgili Norde fonksiyonları denklem 4.5 ve denklem 4.6’de ifade edilmiştir.

$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{qI_{\min}} \quad (4.5)$$

$$\Phi_B = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.6)$$



Şekil 4.2. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyot radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası F(V)-V grafiği.

Tablo 4.2. Işınlamadan önce ve sonra Norde yöntemi ile hesaplanan seri direnç (R_s) ve engel yüksekliği (Φ_B) sonuçları.

Işınlama(kGy)	$F(V)_{\min}(V)$	$V_{\min}(V)$	$I_{\min}(A)$	$\Phi_B(eV)$	$R_s(k\Omega)$
0	0,618	0,125	$9,55 \times 10^{-6}$	0,641	1,37
10	0,648	0,200	$5,94 \times 10^{-6}$	0,685	2,20

Denklem 4.6’da verilen $F(V_{\min})$ Şekil 5.2 numaralı grafikte gösterilen minimum $F(V)$ değeridir. $V_{\min}$ değeri $F(V)$ - V grafiğinde minimum voltaj değerine, $I_{\min}$ ise $V_{\min}$ değerine karşılık belirlenir. Au/SnO₂/n-Si diyotunun $F(V_{\min})$, $I_{\min}$ ve $V_{\min}$ değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Hesaplanan seri direnç ve engel yüksekliği değerleri de ayrıca Tablo 4.2’de verilmiştir. Norde yöntemi ile hesaplanan seri direnç değeri ışınlama öncesi 1,37 k Ω ’iken ışınlama sonrası 2,20 k Ω değerine yükselmiş ve seri direnç etkisinin arttığı gözlemlenmiştir. Engel yüksekliği değeri; 0 kGy’de 0,641 eV iken 10 kGy’de değerin 0,685 eV’ye yükseldiği görülmüştür.

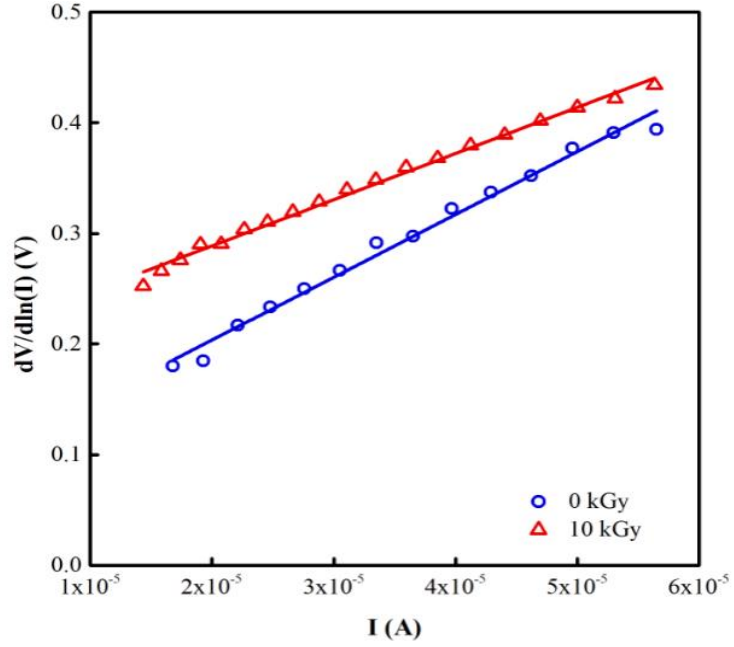
4.2.2. Cheung yöntemi ile seri direnç hesabı

Au/SnO₂/n-Si Schottky diyodunun Cheung yönteminden faydalanarak seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleri hesaplanmıştır. Chenug yönteminde $dV/d\ln(I)$ ve $H(I)$ fonksiyonları kullanılarak iki ayrı seri direnç hesabı yapılmaktadır (Norde, 1979)(Cheung & Cheung, 1986). Cheung yöntemi için tanımlanan fonksiyonlar denlem 4.7 ve denklem 4.8’de belirtilmektedir.

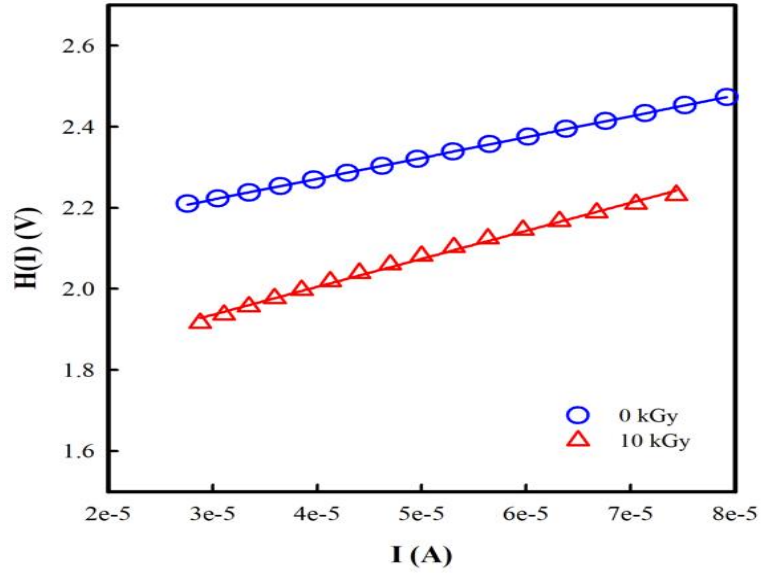
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \left(\frac{kT}{q} \right) + IR_s \quad (4.7)$$

$$H(I) = n\Phi_B + IR_s \quad (4.8)$$

Au/SnO₂/n-Si Schottky diyodunun ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası için, $dV/d\ln I(V)$ - I ile $H(I)$ - I fonksiyonlarının eğrileri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyet radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası $dV/d\ln(I)$ - I grafiği.



Şekil 4.4. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyet radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası $H(I)$ - I grafiği.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ‘te görüldüğü gibi eğrilerde lineerlik söz konusudur. Verilen bu grafiklerde akım değerinin sıfır noktasına ($I=0$) karşılık gelen, $dV/d\ln I$ eksenini kestiği değerden diyotun ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası için n değerleri bulunmuştur. Işınlanma öncesi 4,67 bulunan idealite faktörü radyasyon sonrasında 7,99 değerine yükselmiştir. $dV/d\ln I$ - I grafiğinin eğiminden 0 kGy ve 10 kGy’de seri direnç hesaplanmıştır ve 0 kGy de seri direnç 4,94 k Ω , 10 kGy’de 5,17 k Ω olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.4’te verilen $H(I)$ - I grafiğinden faydalanılarak bulunan engel yüksekliği ve seri direnç değerleri Tablo 5.3’te belirtilmiştir. Seri direnç değeri radyasyon ışınlamı öncesinde 5,45 k Ω , radyasyon ışınlamı sonrasında ise 7,37 k Ω değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. $H(I)$ - I fonksiyonu kullanılarak bulunan engel yüksekliği değerleri 0 kGy’de 0,602 eV iken 10 kGy ışınlamı sonrası hesaplanan değer 0,697 eV değerine yükselmiştir.

Tablo 4.3. Işınlanmadan önce ve sonra Cheung yöntemi ile hesaplanan idealite faktörü(n), seri direnç (R_s), engel yüksekliği (Φ_B) sonuçları sonuçları.

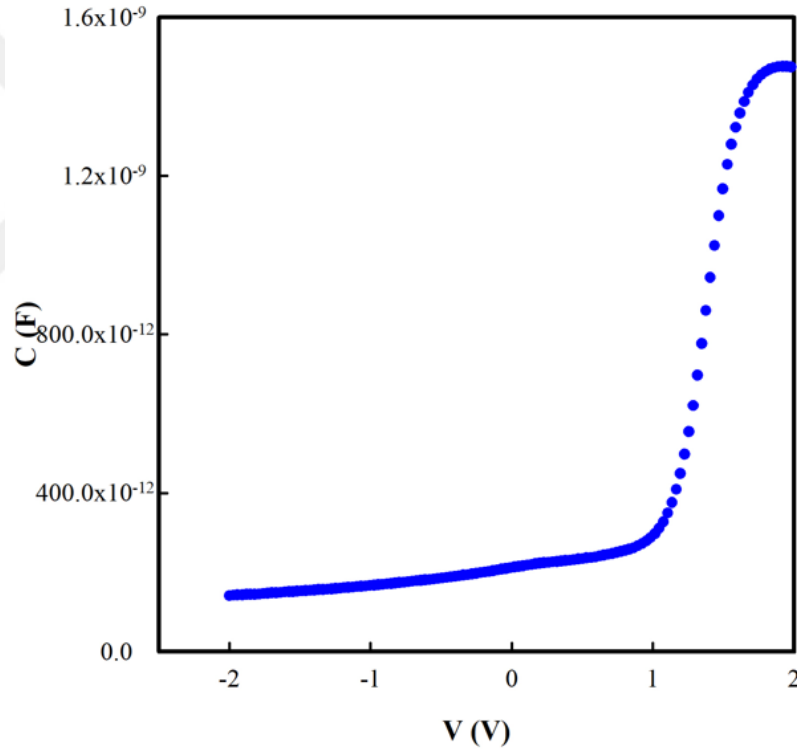
Işınlanma (kGy)	$dV/d\ln(I)$ - I		$H(I)$ - I	
	n	$R_s(k\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(k\Omega)$
0	4,67	4,94	0,602	5,45
10	7,99	5,17	0,697	7,37

Tablo 4.3.‘te görüleceği gibi ışınlama sonrası seri direnç değerlerinde artış olmuştur. I - V ölçümlerinden bulunan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin, $dV/d\ln(I)$ - I ölçümleri ile hesaplanan Cheung yöntemi kullanılarak bulunan, idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sebep olarak; iki metod içinde, I - V verileri kullanılmasına rağmen, eğrinin farklı kısımlarında hesap yapılması değer farklılığına yol açmıştır. I - V grafiğinden faydalanılarak hesaplanan değerler grafiğin $V>3kT/q$ doğrusal eğri aralığında, Cheung yöntemi ile hesaplanan değerler ise grafiğin yüksek voltaj değerlerinde, grafiğin sapma gösteren bölgesinde hesaplanmıştır. Ayrıca n değerinin farklı değerlerde çıkmasında bir diğer etken de farklı voltaj değerlerinde yapılan hesaplardır.

4.3. Kapasite-Voltaj Yöntemi İle Arayüzey Tabaka Kalınlık Hesabı

Numunede püskürtme yöntemi ile oluşturulan SnO₂ oksit tabaka diyotta kapasitör görevi görür ve oksit tabaka kapasitesi C_{ox} olarak gösterilir. SnO₂ oksit tabakanın kalınlığı ise Şekil 4.5’ te verilen C-V grafiğinden yararlanılarak C_{ox} hesabından bulunmaktadır ve SnO₂ tabaka kalınlığı aşağıda verilen denklem 4.9’da ki ifadede bulunmuştur.

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{SnO_2} A}{d_{SnO_2}} \quad (4.9)$$



Şekil 4.5. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyotunun 1 MHz’de Kapasite-Voltaj grafiği.

Denklemde verilen; ϵ_{SnO_2} dielektrik sabiti 7 olarak alınmıştır (Tuğluoğlu, 2007). Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyot alanı 0,00785cm² ‘dir ve kalınlık hesabı için C_{ox} değeri 1,47x10⁻⁹ F alınarak d_{SnO2} değeri 1,32x10⁻⁵ (132 nm) olarak bulunmuştur.

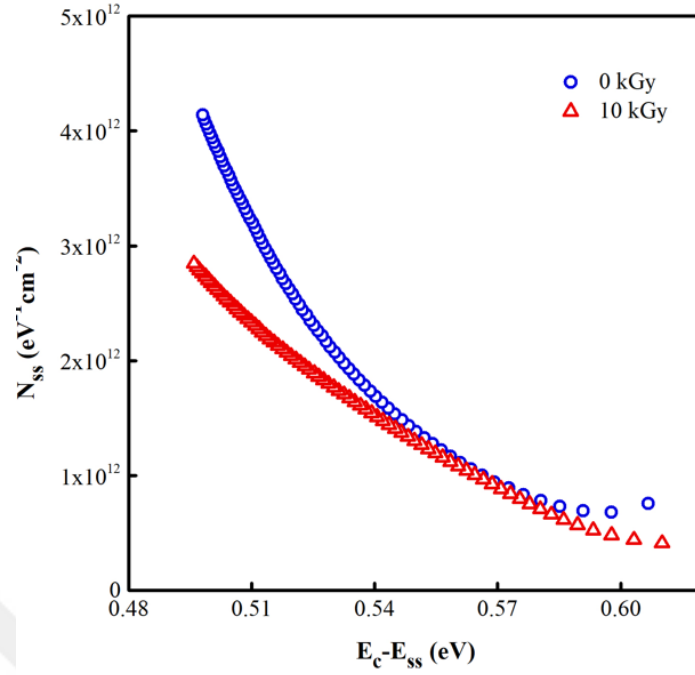
4.4. Arayüzey Durumlarının Hesaplanması

MOS yapılar da arayüz durumları, engel yüksekliği ve cihazların diğer karakteristik parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), engel yüksekliği Φ_B değeri ve enerjinin E_C-E_{ss} fonksiyonları baz alınarak, düz beslemde yapılan I-V ölçümlerinden elde edilmiştir (Dulkadir, Uslu Tecimer, Parlaktürk, & Karal, 2020). Card ve Rhoderick, n-tipi Schottky diyot için n ve N_{ss} arasındaki korelasyon şu şekilde ifade edilmiştir (Badali, Azizian-Kalenderagh, Akhlaghi, & Altındal, 2020; Shah, Iqbal, Rasool, Makhdoom, & Iqbal, 2020):

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left(\frac{\epsilon_i}{d_{SnO_2}} (n(V)-1) - \frac{\epsilon_s}{w_D} \right) \quad (4.10)$$

Burada verilen ifadede; w_D tükenme tabakası genişliği, d_{SnO_2} arayüz katmanı kalınlığıdır. ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir ve Silisyum için 11,8 değerini almaktadır. ϵ_i ise arayüzey tabakanın dielektrik sabitidir ve n-tipi yarıiletkenlerde, enerji yoğunluğu dağılımı (E_C-E_{ss}) şu şekilde tanımlanır:

$$E_C-E_{ss}=q(\Phi_B-V) \quad (4.11)$$



Şekil 4.6. Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyotun ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası N_{ss} -(E_c - E_{ss}) grafiği.

Fonksiyonlarda verilen V , tüketme katmanı boyunca uygulanan voltaj düşüşünü ifade eder. Şekil 4.6.'da Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotun 0 kGy ve 10 kGy radyasyon dozaşları için N_{ss} enerji dağılım eğrileri görülmektedir. Şekil 4.6'da grafik eğrilerinin, silisyum yarıiletkenin orta boşluğundan, iletim bandına doğru N_{ss} değerine üssel bir artış görülmektedir. N_{ss} değeri 0 kGy ve 10 kGy için E_c -0,49 eV ile E_c -0,61 eV arasında değişmektedir. Işınlama öncesi 0kGy için bu değerler: E_c -0,498 eV'de $4,14 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 'den; E_c -0,606 eV'de $7,56 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 'e saptığı görülmüştür. Işınlama sonrası 10kGy'lik dozajında ise N_{ss} değerleri, E_c -0,496 eV'de $2,84 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 'den; E_c -0,610 eV'de ise $4,10 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 'e voltajla katlanarak azalma göstermiştir. N_{ss} değerleri radyasyon öncesi ve 10kGy'lik γ -gama ışını sonrasında azalmıştır. Bu davranış SnO₂ katmanının varlığına ve rekombinasyon merkezindeki azalmaya yorumlanır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, 20 Ω -cm öz dirençli, (100) yönelimli, 380 μ m kalınlığa sahip n tipi Silisyum kristali kullanılmıştır. Püskürtme yöntemi ile 132 nm kalınlığında SnO₂ tabakası büyütülerek oksit tabaka elde edilmiştir. 200 nm kalınlığında ise omik ve doğrultucu kontak sırasıyla büyütülerek Au/SnO₂/n-Si/Au Schottky diyotu elde edilmiştir. Üretilen diyot 10 kGy ⁶⁰Co gama radyasyon ışınlamına maruz bırakılmıştır. Radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrası Au/SnO₂/n-Si diyotunun elektriksel parametrelerini hesaplamak için oda sıcaklığında I-V değerleri alınmıştır.

Üretilen Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotu I-V ölçümleri oda sıcaklığında +2V ve -2V değer aralığında alınmıştır. lnI-V eğrisi incelendiğinde lineerlikten sapmalar olduğu gözlemlenmiştir. lnI-V grafiği değerlerinden, Au/SnO₂/n-Si diyotu için önemli olan, engel yüksekliği, doyma akımı ve idealite faktörü gibi elektriksel parametreler termoiyonik emisyon teorisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotunun 0 kGy ve 10 kGy radyasyon ışınlamı dozlarında bulunan idealite faktörü değerleri sırasıyla 3,49 ve 2,45 olarak hesaplanmıştır. Engel yüksekliği değerleri, 0 kGy’de 0,627 eV; 10 kGy’de 0,683 eV bulunmuştur. Doyma akımı değerleri ise ışınlam öncesi 2,33x10⁻⁶ A ışınlam sonrası değer 2,70x10⁻⁷ A olarak hesaplanmıştır.

Termoiyonik emisyon teorisine göre ideal diyotlarda idealite faktörünün değeri 1 olması gerekmektedir. Hesapladığımız idealite faktörü değerinin 1’den büyük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni arayüzey tabakasının varlığına, arayüzey durum yoğunluklarına ve seri direnç etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Radyasyon ışınlamı etkisiyle birlikte idealite faktörü değeri azalırken engel yüksekliği ve doyma akımı değeri artmaktadır. Radyasyon üretilen Schottky diyot üzerinde olumlu etki yaratmıştır.

Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotunun, lnI-V grafinde yüksek voltaj bölgelerinde ideallikten sapmalar olması sonucunda eğrilerde bükülmeler gözlemlenmiştir. Bu bükülmelerin sebebi seri direnç etkisinden kaynaklanmaktadır. Yapılan bu çalışmada Au/SnO₂/n-Si Schottky diyotunun radyasyon öncesi ve sonrası seri direnç değerleri Norde yöntemi ve Cheung yöntemi ile hesaplanmıştır. Norde yöntemi kullanılarak bulunan seri direnç değeri 0 kGy 'de 1,37 kΩ; 10 kGy'de 2,20 kΩ olarak hesaplanmıştır. Cheung yöntemi ile hesaplanan seri direnç $dV/d\ln(I)-I$ fonksiyonu ile 0 kGy 'de 4,97 kΩ; 10 kGy'de 5,17 kΩ değerleri bulunmuş olup $H(I)-I$ fonksiyonu ile bulunan seri direnç değerleri ise 0 kGy 'de 5,45 kΩ; 10 kGy'de 7,37 kΩ olarak bulunmuştur. Radyasyon dozu arttıkça seri direnç değeri de artmıştır çünkü; yasak bant içindeki enerji seviyeleri ve ara yüzey durumlarının oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen Schottky diyotunun arayüzey durum yoğunluğu parametresi, düz beslem altındaki I-V ölçümlerinden, engel yüksekliği'nin değeri esas alınarak, enerjinin (E_C-E_{ss}) bir fonksiyonu olarak radyasyon öncesi ve sonrası değerleri elde edilmiştir. Ara yüzey durum yoğunluğu radyasyon ışınlamı öncesi ve sonrasındaki eğrilerinin yarıiletkenin enerji bant aralığında iletim bandına doğru üssel bir artışı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda arayüzey durum yoğunluğu ışınlama öncesi 0 kGy için bu değerler; $E_C-0,498$ eV'de $4,14 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 'den; $E_C-0,606$ eV'de $7,56 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 'e azaldığı görülmüştür. Işınlama sonrası 10 kGy'de ise, $E_C-0,496$ eV'de $2,84 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 'den; $E_C-0,610$ eV'de ise $4,10 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 'e azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak Au/SnO₂/n-Si Schottky diyot parametreleri I-V ölçümleri kullanılarak, 10 kGy ⁶⁰Co γ-ışını radyasyonundan önce ve sonra araştırılmıştır. Hesaplanan diyot parametreleri sonuçları, radyasyondan sonra, engel yüksekliği ve seri direnç değerlerinin arttığını, ancak arayüzey durum yoğunluğunun ve idealite faktörünün azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akgül, K. B. (2015). Aynı Şartlar Altında Üretilen Özdeş Au/n-Si (100) Schottky Diyotlarda Karakteristik Parametrelerin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., & Tataroğlu, A. (2003). The Role of Interface States and Series Resistance on the I-V C-V characteristics in Al/SnO₂/p-Si Schottky Diodes. *Solid State Electron*, Vol.47 1847-1854.
- Asubay, S. (2011). The Electrical Characteristics of Al/p-InP Schottky Contacts. *Microelectronic Engineering*, Vol 88, 109-112.
- Aydemir, U. (2009). Au/SrTiO₃/n-Si (MFS) Schottky Diyotların Elektriksel Parametrelerinin I-V, C-V VE DLTS Metodu İle İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, S. B. (2013). Al/TiO₂/p-Si Schottky Diyotların Akım-Voltaj(I-V) Ve Kapasitans-Voltaj(C-V) Karakteristikleri. Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Badali, Y., Azizian-Kalandaragh, Y., Akhlaghi, E., & Altındal, Ş. (2020). Ultrasound-Assisted Method for Preparation of Ag₂S Nanostructures: Fabrication of Au/Ag₂S-PVA/n-Si Schottky Barrier Diode and Exploring Their Electrical Properties. *J. Electron. Mater.*, Vol.49, 444.
- Badila, M., Godignon, P., Millan, J., Berberich, S., & Brezeanu, G. (2001). The electron irradiation effects on silicon gate dioxide used for power MOS devices. *Microelectronics Reliability*, 1015-1018.
- Baran, H. M. (2015). MOS Kapasitörün Elektriksel Özellikleri Üzerine Gama Radyasyonunun Etkileri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, H. M., & Tataroğlu, A. (2013). Determination of interface states and their time constant for Au/SnO₂/n-Si (MOS) capacitors using admittance measurements. *Chinese Physics B*, Vol.22 0473303.
- Bilge, A. N., & Tuğrul, B. (1990). Endüstriyel Radyografinin Esasları. *İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi*.

- Bobby, A., Shiwakoti, N., Gupta, P., & Antony, B. (2016). Barrier Modification of Au/n-GaAs Schottky Structure by Organic Interlayer. *Indian Journal of Physics*, Vol.90 307-312.
- Chand, S., & Kumar, J. (1997). Electron transport and barrier inhomogeneities in palladium silicide Schottky diodes. *Applied Physics A*, Vol.65 , 497-503.
- Chauhan, R., & Chakrabarti, P. (2002). Effect of ionizing radiation on MOS capacitors. *Microelectronic Journal*, Vol.33 197-203.
- Cheung, S., & Cheung, N. (1986). Extraction of Schottky Diode Parameters From Forward Current-Voltage Characteristics. *Applied Physics Letter*, Vol.49,85-87.
- Değirmenci, G. (2019). Plazma Püskürtme Yöntemi İle Üretilen Zirkonyum Oksit Kaplamaların Mikroyapı Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Son Yüzey İşlemlerinin Ekisi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Demir, Ş. (2007). RF Püskürtme Metodu İle Hazırlanan SiO₂ Arayüzeyli Metal-Yarıiletken Kontaklarda Parametrelerin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Dökme, İ., & Altındal, Ş. (2007). The C-V-f and G/w-V-f Characteristics of Au /SiO₂/n-Si Capacitors. *Physica B: Condensed Matter*, 59-64.
- Dulkadir, S., Uslu Tecimer, H., Parlaktürk, F., & Karal, Ö. (2020). The effect of radiation on the forward and reverse bias current-voltage (I-V) characteristics of Au/(Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂)/n-Si (MFIS) structures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* , 12514-12521.
- Fonash, S. J. (1975). The role of the interfacial Layer in Metal-Semiconductor Solar Cells. *J. Appl. Phys.*, 1286-1289.
- Garcia, H., Duenas, S., Castan, H., Gomez, A., & Balion, L. (2009). Irradiation effect on dielectric properties of hafnium and gadolinium oxide gate dielectrics. *Journal Of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics And Nanometer Structures*, 416.
- Gökçen, M. (2003). MOS Yapılarda Kapasitans-Voltaj(C-V) Ve İletkenlik-Voltaj(G/w-V) Karakteristiklerinin Frekans Ve Radyasyona Bağlı

- İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Gren, M., King, F., & Schewchun, J. (1974). Minority carrier MIS tunnel diodes and their application to electron and photo-voltaic energy conversion-I. Theory. *Solid State Electron*, Vol.17, 551-561.
- Güllü, Ö., Çankaya, M., Biber, M., & 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.
- Hacıismailoğlu, M. C. (2005). Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) Kapasitörlerin Elektriksel Özelliklerinin Oksit Tabakası Kalınlığına Bağlı Değişimlerinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaya, F., Duman, S., Barış, O., & Gürbulak, B. (2021). Calculation of characteristics parameters of Au/methyl green/n-Si/Ag diodes from the current-voltage measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol.121, 105325.
- Kaymaz, A. (2020). Organik Arayüzey Tabanlı Metal-Yarıiletken Yapıların Elektriksel Özelliklerinin Radyasyona Bağlı İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.
- Knoll, G. (2000). Radiation Detection and Measurement. New York: Wiley.
- Laha, P., Banerjee, I., Barhai, P., Das, A., Bharaskar, V., & Mahapatra, S. (2012). Effects of 6 MeV electron irradiation on the electrical properties and device parameters of Al/Al₂O₃/TiO₂/n-Si MOS capacitors. *Nuclear Instruments And Methods In Physics Research, Section B: Beam*, 283: 9-14.
- L'Annunziata, M. F. (2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*. . ABD: Elsevier Science, 2nd Ed.
- Moll, J. (1959). Variable capacitance with large capacitance . *Ire Wescon (Western Convention and Show) Record* (s. part 3: 32-36). içinde
- Nicollian, E., & Brews, J. (1982). *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology* (s. 362-390). içinde New York: John Wiley & Sons.

- Nicollian, E., & Brews, J. (1982). Experimental evidence for interface trap properties. *MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) Physics and Technology* (s. 285-318). içinde New York: John Wiley and Sons,.
- Norde, H. (1979). Modified forward I-V plot for shottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, Vol.50, 5052-5054.
- Nortrop, D., & Rhoderick, E. (1978). The physics of shoottky barriers in impedance Devices. *Solid State Electron*, Vol.4, 37-38.
- Nurtan, Y. (2010). Au/SiO₂/n-Si MOS Yapıların C-V-f Ve G-V-f Karakteristiklerinin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü,Fizik ABD,Yüksek Lisans Tezi.
- Ray, W., Mabrook, M., & Nabook, A. (1998). Transport mechanism in porous silicon. *J. Applied Physics*, Vol.84, 3232-3235.
- Salari, M. A., Sağlam, M., & Güzeldir, B. (2019). The protection from the effects of gamma rays of metal-semiconductor diodes by means of ZnO thin interface layer. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.165, 108416.
- Shah, Y., Iqbal, M., Rasool, K., Makhdoom, A., & Iqbal, Y. (2020). Space charge limited current conduction in thermoelectric electrospun NaCo₂O₄ nanofibers. *Appl. Phys. A*, Vol.126, 376.
- Sharma, B. (1984). Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their applications. *Physics of Schottky Barrier Junctions*, 1-56.
- Sönmez, Z. (2012). Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (Al/SiO₂/p-Si) Yapıların Elektrik Ve Dielektrik Özelliklerinin Frekans Ve Potansiyele Bağlı İncelenmesi . Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi .
- Sze, M., & Kwog, K. (2007). *Physics of Semiconductor Devies, Third Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Sze, S. (1981). *Physics Of Semiconductor Devices* (s. 362-390). içinde New York: John Wiley & Sons.
- Tataroğlu, A., & Altındal, Ş. (2007). Analysis of interface states and series resistance at MIS structure irradiated under 60Co g-rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 1588-1593.
- Tataroğlu, A., & Altındal, Ş. (2008). Characterization of interface states at Au/SnO₂/n-Si (MOS) structures. *Vacuum*, Vol.82 1203-2021.

- Tezcan, A. O. (2019). Au/BOD-Z-EN/n-Si/In Schottky Diyotunun Farklı Aydınlatma Şiddetleri Altında Elektriksel Parametrelerinin Araştırılması. Giresun Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Tuğluoğlu, N. (2007). 60Co c-ray irradiation effects on the interface traps density of tin oxide films of different thicknesses on n-type Si (1 1 1) substrates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 118-124.
- Tuğluoğlu, N., Koralay , H., Bengin Akgül, K., & Çavdar, Ş. (2016). r, Detailed Analysis of Device Parameters byMeans of Different Techniques in Schottky Devices. *Journal of Electronic Materials*, Vol.45,3859.
- Umana-Membreno, G., Dell, J., Parish, G., Nener, B., Faraone, L., & Mishra, U. (2003). 60Co Gamma Irradiation Effects on n-GaN Schottky Diodes. *IEEE Transactions On Electron Devices*, 2326-2334.
- (URL 1, 2011). Şubat 9, 2020 tarihinde <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm> adresinden alındı
- (URL 2, 2018). Ocak 15, 2021 tarihinde <http://www.derstagram.com/schottky-diyot-nedir> adresinden alındı
- (URL 3, 2019). Şubat 11, 2020 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir> adresinden alındı
- Uyar, R. E. (2016). Silisyum Nitrat Arayüzey Yalıtkan Tabakalı MIS Yapının Elektrik ve Dielektrik Parametreleri Üzerine Gama Radyasyonunun Etkileri. Gazi Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Fizik ABD,Doktora Tezi.
- Verma, S., Praveen , K., Bobby, A., & Kanjilal, D. (2014). Recovery of electrical characteristics of Au/n-Si schottky junction under 60Co gamma irradiation. *IEEE Transactions On Device And Materials Reliability*, 721-725.

ÖZGEÇMİŞ

Fatime Duygu Akgül İlk, orta ve lise eğitimini Malatya’da tamamladı. 2014 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nü 2018 yılında bitirdi. 2018 yılında Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Giresun Üniversitesinde eğitimine devam etmektedir.

Yayınları

1- **Fatime Duygu Akgül**, Serkan Eymur, Ümmühan Akın, Ömer Faruk Yüksel, Hande Karadeniz, Nihat Tuğluoğlu. Investigation of Schottky Emission and Space Charge Limited Current (SCLC) in Au/SnO₂/n-Si Schottky Diode with Gamma-Ray Irradiation. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 32, 15857-15863, (2021).