



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Sn/p-Si METAL YARIİLETKEN SCHOTTKY YAPILARIN
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN RADYASYON
VE SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ**

MEHMET EMİN FIRAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sn/p-Si METAL YARIİLETKEN SCHOTTKY YAPILARIN
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN RADYASYON
VE SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ

MEHMET EMİN FIRAT

Bu tez,
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mehmet Emin FIRAT tarafından hazırlanan “Sn/P-Si Metal Yarıiletken Schottky Yapıların Elektriksel Karakteristiklerinin Radyasyon Ve Sıcaklığa Bağlı Olarak İncelenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 31/01/2018 tarihinde oy birliği ile Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ (DANIŞMAN)

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

.....

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Kani ARICI

Fen Edebiyat Fakültesi

.....

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Yrd. Doc. Dr. İsmail TİYEK

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

.....

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKEİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet Emin FIRAT



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:**2017/4-16 YLS**

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

**Sn/p-Si METAL YARIİLETKEN SCHOTTKY YAPILARIN ELEKTRİKSEL
KARAKTERİSTİKLERİNİN RADYASYON VE SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK
İNCELENMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

MEHMET EMİN FIRAT

ÖZET

Bu tez çalışmasında; Sn/p- Si Schottky bariyer diyotların elektriksel özellikleri sıcaklık ve radyasyona bağlı olarak akım-voltaj (I-V) ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümleri kullanarak incelendi. [100] yönelimli ve 10^{14} cm^{-3} taşıyıcı yoğunluğuna sahip p-tipi Si kristalinin doğrultucu tarafına kalay (Sn) buharlaştırılarak Sn/p-Si Schottky diyot oluşturuldu. Schottky bariyer diyotların elektriksel özellikleri sırasıyla; oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklığında ve ^{60}Co radyasyon kaynağı ile 500 kGy gamma (γ) ışınları ile incelendi. İdealite faktörleri (n), bariyer yükseklikleri (Φ_{bo}), seri direnç (R_s) ve arayüz durumlarının yoğunluğu (N_{ss}) gibi temel parametreler oda sıcaklığında, 400 K sıcaklığında 500 kGy gamma (γ) radyasyonunda akım-voltaj (I-V) ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümleri kullanılarak elde edildi. İdealite faktörü ve seri direnç gibi temel parametreler sıcaklığın artması ile azalırken, aynı değerler radyasyona bağlı olarak ise artış gösterdi. Deneysel sonuçlar gösterdi ki Sn/p-Si Schottky yapı sıcaklığa ve radyasyona bağlı olarak hassastır. Bu durum iyonlaşmış takviye konsantrasyonunun sıcaklık ile azalmasına atfedilmiştir. Ayrıca arayüzey durum yoğunluklarının enerjiye bağlı değişimleri de akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon ölçümleri, ^{60}Co γ -ışını, Bariyer yüksekliği, Seri direnç.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak/2018

Danışman: Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ

Sayfa sayısı: 32

INVESTIGATION DEPENDENCE OF TEMPERATURE AND IRRADIATION OF THE ELECTRICAL CHARACTERIZATIONS OF Sn/p-TYPE Si SCHOTTKY DIODE

(M.Sc. THESIS)

MEHMET EMİN FIRAT

ABSTRACT

In this study, we have examined effects of temperature and irradiation on the electrical properties of the Sn/p- Si Schottky barrier diodes by using the forward bias current–voltage (I–V) and capacitance–voltage (C–V) measurements. The Sn/p-type Si Schottky barrier diodes have been prepared by evaporating tin (Sn) on oxidized bulk (1 0 0) *p*-type Si wafers with a carrier concentration of 10^{14} cm^{-3} . The electrical properties of the Schottky barrier diode have been investigated at 300 K (room temperature), 400 K temperature and after under 500 kGy gamma irradiation with fluency ^{60}Co gamma (γ)-rays, respectively. The main parameters such as barrier heights (Φ_b), ideality factors (n), and series resistances (R_s) were calculated using the I–V measurements. The main parameters such as ideality factor and series resistance determined from the current–voltage data decreases with increasing temperature, whereas the same values increases with increasing gamma irradiation. It has been seen that the device is sensitive to temperature and to gamma irradiation. This has been attributed to decrease in ionized dopant concentration with temperature. Furthermore, the interface state densities (N_{ss}) as a function of energy distribution ($E_{ss} - E_v$) were extracted from the forward-bias I–V measurements.

Keywords: Radiation measurements, ^{60}Co γ -ray; Barrier heights, Series resistances.

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering, January/2018

Supervisor: Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ

Page Numbers:32

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmamın her aşamasında sağladığı bilimsel katkılardan dolayı Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ' a, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandığım tüm bölüm hocalarıma, tüm çalışmalarım süresince değerli görüş ve fikirlerini benimle paylaşan ve bana her konuda destek olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, bu günlere gelmemde her türlü maddi ve manevi desteklerini gördüğüm aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2018

Mehmet Emin FIRAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Önceki Çalışmalar.....	2
1.2. Metal Yarıiletken (MS) Kontaklar.....	3
1.2.1. Metal – p tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar.....	3
1.2.2. Metal – p tipi yarıiletken omik kontaklar.....	6
1.3. Radyasyon Çeşitleri.....	7
1.3.1. İyonlaştırıcı radyasyonlar.....	7
1.3.1.1. Alfa ışınları.....	7
1.3.1.2. Beta ışınları.....	7
1.3.1.3. Gama ışınları.....	8
1.3.1.4. Radyasyon doz birimleri.....	8
2. MATERYAL VE METOT.....	9
2.1. Kimyasal Temizleme Süreci.....	9
2.2. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotları Hazırlanması.....	9
2.3. Ölçüm Araçları.....	11

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	15
3.1. Sn/p-Si Schottky Yapının Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	15
3.2. Sn/p-Si Schottky Yapının Kapasitans-Voltaj (C-V) Karakteristikleri.....	17
3.3. Akım-Voltaj Karekteristiklerinde Cheung ve Norde Fonksiyonlarının Kullanılması.....	20
3.4. Sn/p-Si Schottky Yapının Ara yüzey Durum Yoğunlukları.....	24
4. SONUÇLAR.....	27
KAYNAKLAR.....	28
ÖZGEÇMİŞ.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Bir Schottky kontağın şematik görünümü.....	3
Şekil 1.2. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-band diyagramı...	4
Şekil 1.3. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel alçalması.....	5
Şekil 1.4. Doğrultucu kontak oluşturulmasında kullanılan 1 mm çaplı deliklere sahip paslanmaz çelik maske.....	5
Şekil 1.5. Metal p- tipi yarıiletken omik kontağın enerji-bant diagramı.....	6
Şekil 1.6. Radyasyon çeşitleri.....	7
Şekil 2.1. Ultrasonik Temizleme Cihazı.....	10
Şekil 2.2. Omik kontak termal işlemi için fırın ve sıcaklık kontrol ünitesi.....	10
Şekil 2.3. Omik kontak ve tavlama için kullanılan fırın sistemin fotoğrafı.....	11
Şekil 2.4. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı.....	12
Şekil 2.5. HP 4192 LF empedans analizörü.....	12
Şekil 2.6. Janis vpf-475 kriyostat.....	13
Şekil 2.7. Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemi.....	13
Şekil 2.8. Deneysel ölçüm sisteminin fotoğrafın görünümü.....	14
Şekil 2.9. Deneysel radyasyon (^{60}Co γ ışın kaynağı) ölçüm sisteminin görünümü.....	14
Şekil 3.1. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel doğru belsem ve ters belsem akım-voltaj eğrileri.....	16
Şekil 3.2. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel doğru belsem ve ters belsem kapasitans-voltaj (C^{-2} -V) eğrileri.....	19
Şekil 3.3. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel C^{-2} -V eğrileri.....	20
Şekil 3.4. Cheung fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının $dV/d\ln(I)$ -I grafiği.....	22
Şekil 3.5. Cheung fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının $H(I)$ -I grafiği.....	22
Şekil 3.6. Norde fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının $F(V)$ -V grafiği.....	24
Şekil 3.7. Sn/p-Si yapının ara yüzey durum yoğunluklarının (N_{ss}) ara yüzey hal enerjisine ($E_{ss}-E_v$) bağlı grafiği.....	25

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Sn/p-Si Schottky diyodunun I-V ve C-V karakteristiklerinden elde edilen temel parametreler.....	26
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Φ_B	Schottky engel yüksekliği
n	İdealite faktörü
R_s	Seri direnç
Φ_{Bo}	Sıfır beslem engel yüksekliği
I_o	Ters beslem doyma akımı
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
C	Kapasitans
E_F	Fermi seviyesi
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
ϵ_o	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
Hz	Frekans birimi (Hertz)
K	Kelvin cinsinden sıcaklık
k	Boltzmann sabiti
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Si	Silisyum
E	Elektrik alan
$\Delta\Phi$	Schottky engel düşmesi
q	Elektrik yükü
A^*	Richardson sabiti
$I-V$	Akım-voltaj
$C-V$	Kapasitans- voltaj
MS	Metal-Yarıiletken
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
SBH	Schottky Engel Yüksekliği
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım

1.GİRİŞ

Metal yarıiletken malzemeler on dokuzuncu yüzyılın başlarına kadar elektriksel iletkenliğe göre iletken ve yalıtkan malzemeler olarak bilinirdi. Elektronikte yarıiletken malzemenin kullanımıyla büyük bir sanayi oluşmuş ve yarıiletken teknolojisi gelişmiştir. Yarıiletken olarak silisyum ve germanyum önemli ölçüde kullanılmış ancak zaman içinde silisyum kullanımı hakim olmuştur. Schottky diyotlar olarak adlandırılan metal-yarıiletken yapılar da elektronik endüstrisinde en çok kullanılan doğrultucu kontaklar olarak bilinir [1]. Çünkü Schottky kontaklar Schottky engel yüksekliğini ve yarıiletken aygıtın elektriksel özelliğini kontrol etmede önemli rol oynar. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasında doğal ya da yapay olarak oluşturulan ara yüzey tabakanın varlığı bu yapıların elektriksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür [1-8]. Bu yapılarda yarıiletken p-tipi veya n-tipi olmasına göre metal olarak genellikle yüksek saflıktaki alüminyum veya altın gibi metaller kullanılır. Ancak, silisyumun tercih edilmesinin sebebi doğada bol miktarda bulunması ve kristal yüzeyinde doğal olarak yalıtkan tabakanın elde edilebilmesidir. Günümüzde elektronik endüstrisinde, metal-yarıiletken Schottky kontaklar çok önemli bir yere sahiptirler. Elektronik devre elemanlarından, güneş pilleri, metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET), Schottky diyotlar, yarıiletken dedektörler genellikle hızlı anahtar uygulamaları ve mikro dalga karıştırıcı devre elemanları olarak faydalanılmaktadır [4]. Bu devre elemanlarında genellikle p-tipi veya n-tipi Si, GaAs ve InP gibi yarıiletkenler çalışılmaktadır [4-7]. Dolayısıyla, temel özellikleriyle ilgili kapsamlı bir bilgi akılcı tasarımları için kritik önem arz etmektedir. Yüksek radyasyon (ışınlama) ve yüksek sıcaklık, metal yarı iletken yapıyı modifiye edebilen mekanizmalardan biridir ve aynı zamanda metal yarı iletken (MS) Schottky diyotunun elektriksel özellikleri metal-yarıiletkenin arayüzeyine son derece duyarlıdır. Böylece, radyasyon ve sıcaklığında Schottky diyotları üzerinde cihaz performansı, güvenilirliği ve kararlılığı üzerinde baskın bir etkisi olduğu iyi bilinmektedir [6-8]. Bu nedenle, Schottky bariyer diyotlar, entegre devreler, optoelektronik ve entegre teknolojiler için de önemli bir rol oynamaktadır.

Schottky diyotların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi, yalıtkan ve yarıiletken kristallerinin iletkenlik özelliklerinin incelenbilmesinin bir yolu da kristale uygun kontakların uygulanmasıdır. Yarıiletken kristal ile kontak yapılacak malzemenin olabildiğince çok küçük bir dirençle atomik boyutta temas etmeleri olarak düşünülür. Oluşturulan kontağın ideal olması için, kontak olarak kullanılan malzemelerin yüzeylerinin

yeteri kadar temiz ve pürüzsüz olması gereklidir. Metal-yarıiletken ile kontak edildiğinde, termal denge kuruluncaya kadar metal ile yarıiletken kristal arasında yük geçişleri (difüzyon) olur.

1.1. Önceki Çalışmalar

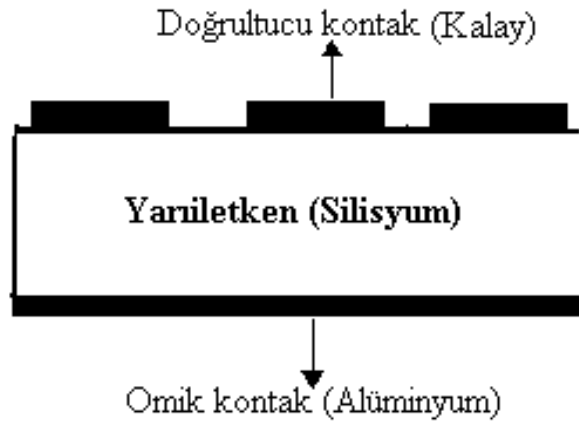
Elektronik devre elemanlarının yapı taşlarından olan metal-yarıiletken doğrultucu sistemler üzerindeki sistematik ilk araştırma Braun tarafından 1874’de yapılmıştır [9]. 1931 yılında başta Schottky olmak üzere, Störmer ve Waibel; metal-yarıiletken kontakların doğrultma özellikleriyle ilgili ilk çalışmaları yapmıştır [10]. Aynı yıl içerisinde Willson [11] metal-yarıiletken diyotlar için kuantum mekaniksel tünelleme teorisini geliştirmiş ve doğrultuculuk için ters kutuplanmayı açıklamıştır. 1947 yılında Bardeen [12] yeni bir model tasarlayarak, bu ihtiyacı karşılamıştır. Bardeen’e göre ‘metal-yarıiletken yüzeylerde yeterli sayıda yerel elektronik hallerin olması durumunda, potansiyel engel yüksekliği metalin iş fonksiyonundan bağımsız olur. Card ve Rhoderick [13], Bardeen’i destekleyen çalışmalar yapmış ve metal-yarıiletken kontağın ara yüzey hal yoğunluğunu belirleyip ara yüzey durumlarının doğru beslem akım-voltaj karakteristiklerine ve idealite faktörüne etkisini incelemişlerdir. Daha sonra ki yıllarda Cheung [14] tarafından, ideal ve ideal olmayan diyotlar için doğru beslem akım-voltaj grafikleri kullanılarak, Schottky diyotların sahip olduğu engel yüksekliği, seri direnci ve idealite faktörünü matematiksel olarak hesaplamak için farklı bir hesaplama yöntemi ileri sürülmüştür. 1965’de Cowley ve Sze [15], ara yüzey durumlarının, Schottky diyotlarına etkilerini ilk olarak çalışan bilim insanlarıdır. Daha sonra, Chattopadyay [16] metal-yalıtkan-yarıiletken diyotlarının, akım-voltaj (I-V) ve kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiklerini, diyotların engel yüksekliğinin oksit kalınlığına bağlılığının, Cowley ve Sze’nin engel yüksekliği modeline uyduğunu ortaya çıkarmıştır. 1980’lı yıllarda ise metal-yarıiletken diyotların da geniş bir sıcaklık aralığında gerilim-sıcaklık karakteristikleri ölçülmüş, daha sonra 0-300K bölgesinde sıcaklık tayini için kullanılmıştır. Günümüzde, metal-yarıiletken ve metal-yalıtkan-yarıiletken yapılar üzerindeki araştırmalar fiziksel parametrelerin sıcaklığa bağlı durumu üzerinde yoğun olarak devam etmektedir

1.2. Metal Yarıiletken (MS) Kontaklar

Yarıiletken malzeme tabanlı devre elemanlarının temelini genelde metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) tipi kontaklar teşkil etmektedir. Bir metal ile yarıiletken yapıda iki tip kontak oluşturabilir. Bunlar;

1. Schottky kontak olarak adlandırılan ve doğrultucu olan kontak.
2. Omik kontak olarak adlandırılan ve doğrultucu olmayan kontak.

Bir metal ile bir yarıiletken kontak edildiğinde omik ve doğrultucu kontaklar oluşturulabilir. Schottky diyotların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi için yarıiletken ve yalıtkan kristallerinin iletkenlik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Kontakın omik veya doğrultucu olmasını, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları belirler. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere, metal - n tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise omik kontak oluşur [1-8]. Metal-p tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m > \Phi_s$ olması halinde omik kontak ve $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise doğrultucu kontak oluşur. Metal yarıiletken kontak şematik olarak şekil 1.1' de gösterilmiştir.

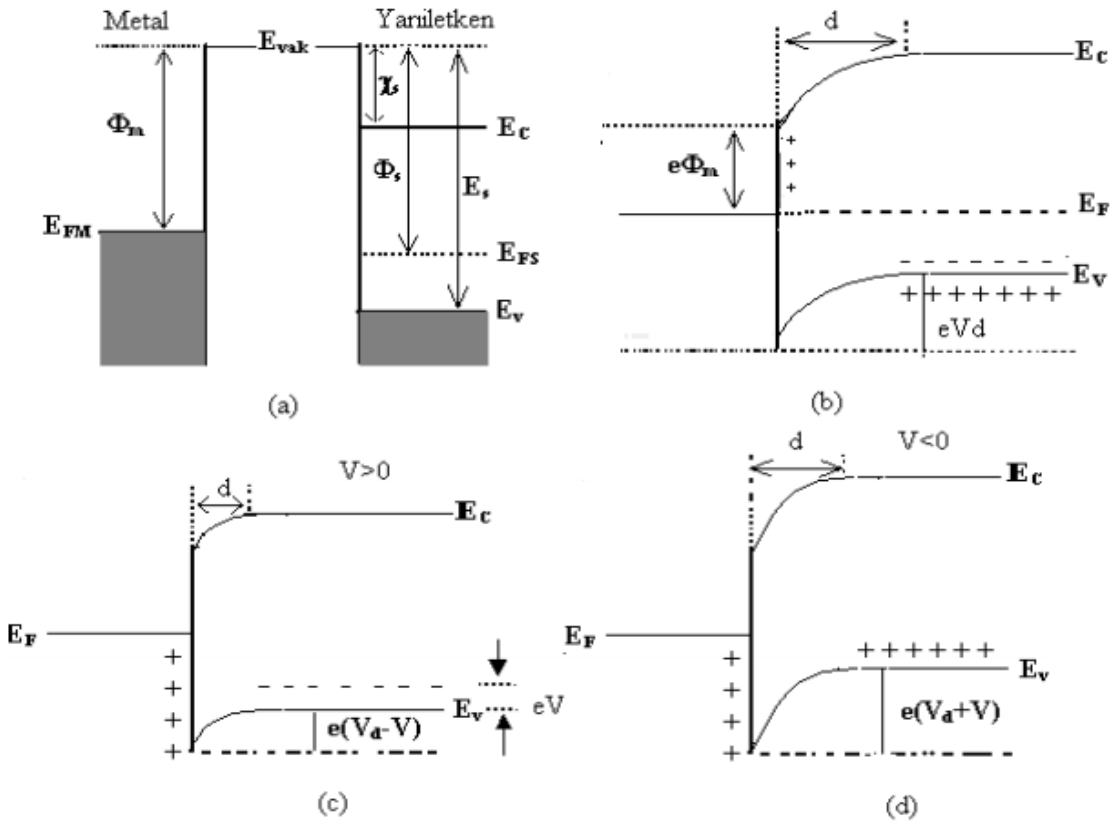


Şekil 1.1. Bir Schottky kontakın şematik görünümü.

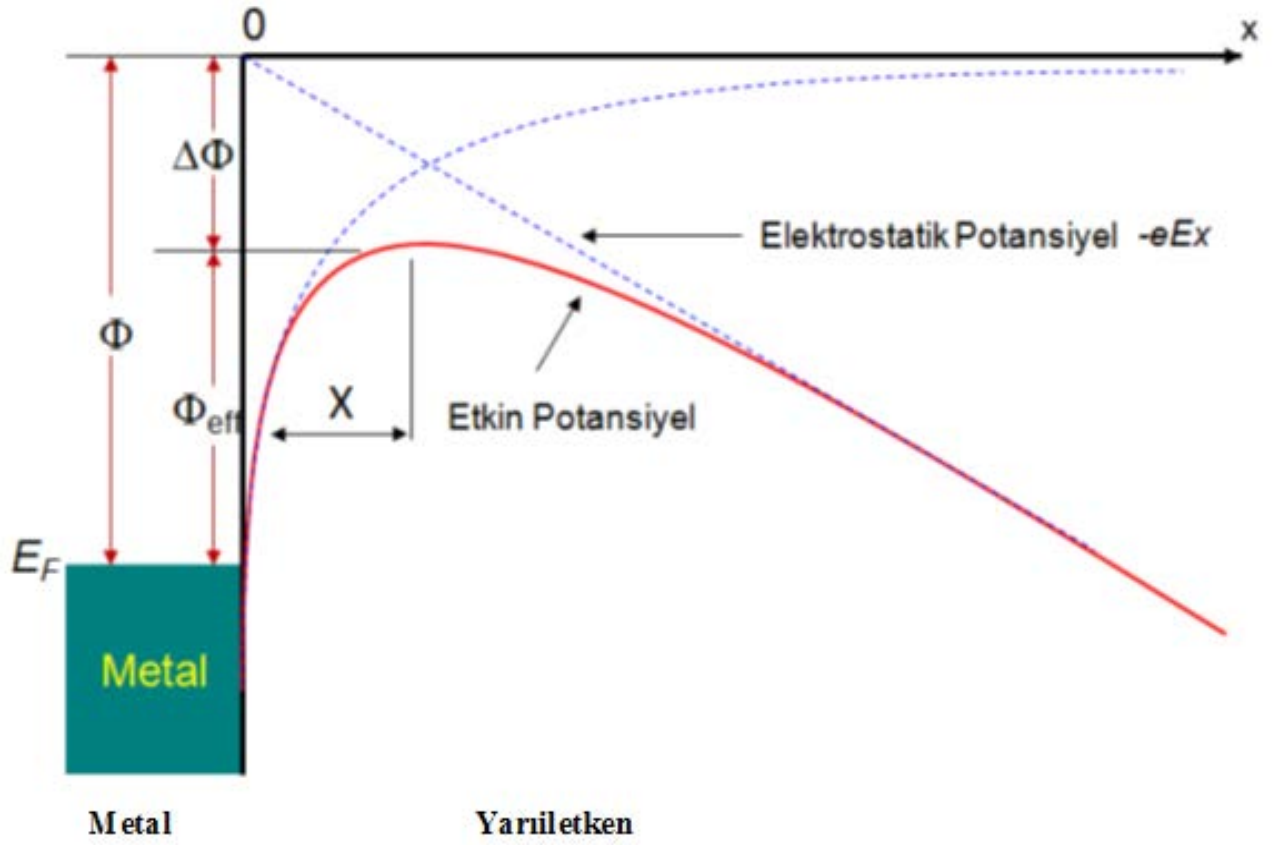
1.2.1. Metal – p tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Bir metal bir yarıiletken ile kontak edildiğinde metal ile yarıiletken arasında Fermi enerji seviyeleri aynı enerji seviyesine gelene kadar aralarında bir yük dağılımı (alışverişi) oluşur. Metal - yarıiletken kontakta iletkenliği sağlayan yük taşıyıcıları

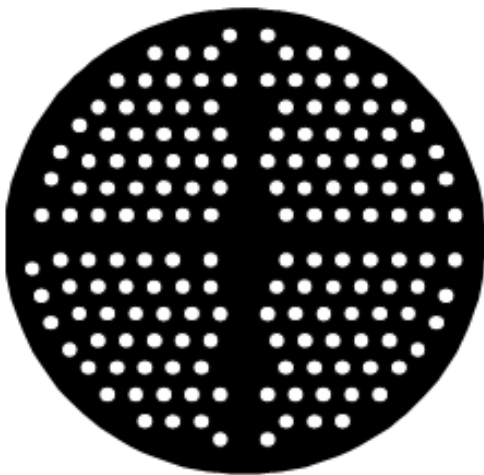
(deşikler ve elektronlar), bir yönden diğer yöne göre daha rahat geçebiliyorlarsa, bu kontağa doğrultucu kontak denir. Buna göre Φ_m ; metalin iş fonksiyonu, Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonu ve E_s ise valans bandının tepesi ile vakum seviyesi arasındaki fark olsun. Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçükse ($\Phi_m < \Phi_s$) ise doğrultucu, metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyükse ($\Phi_m > \Phi_s$) durumunda ise omik kontak olacaktır [6-8, 17]. Metal-p tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar şekil 1.2’ de gösterilmiştir. Ayrıca, şekil 1.3 metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel alçalmasını ve şekil 1.4’ te doğrultucu kontak oluşturulmasında kullanılan 1 mm çaplı deliklere sahip paslanmaz çelik maskeyi göstermektedir.



Şekil 1.2. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu (Schottky) kontağın enerji-band diyagramı. a) Kontak öncesi, b) Kontak sonrası ve termal dengede, c) $V \neq 0$ olması (pozitif gerilim), d) $V \neq 0$ durumunda (negatif gerilim).



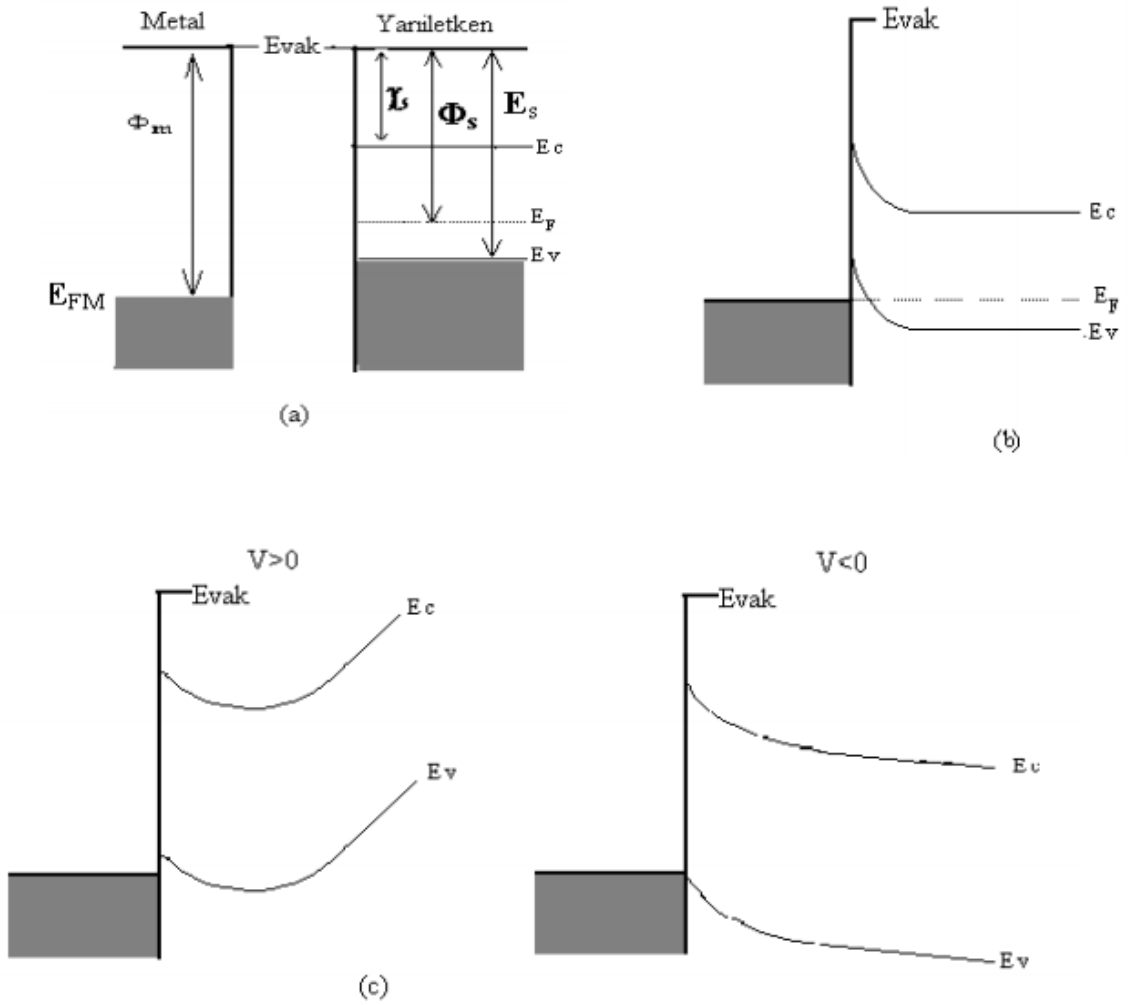
Şekil 1.3. Metal yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden dolayı potansiyel engel alçalması.



Şekil 1.4. Doğrultucu kontak oluşturulmasında kullanılan 1 mm çaplı deliklere sahip paslanmaz çelik maske

1.2.2. Metal – p tipi yarıiletken omik kontaklar

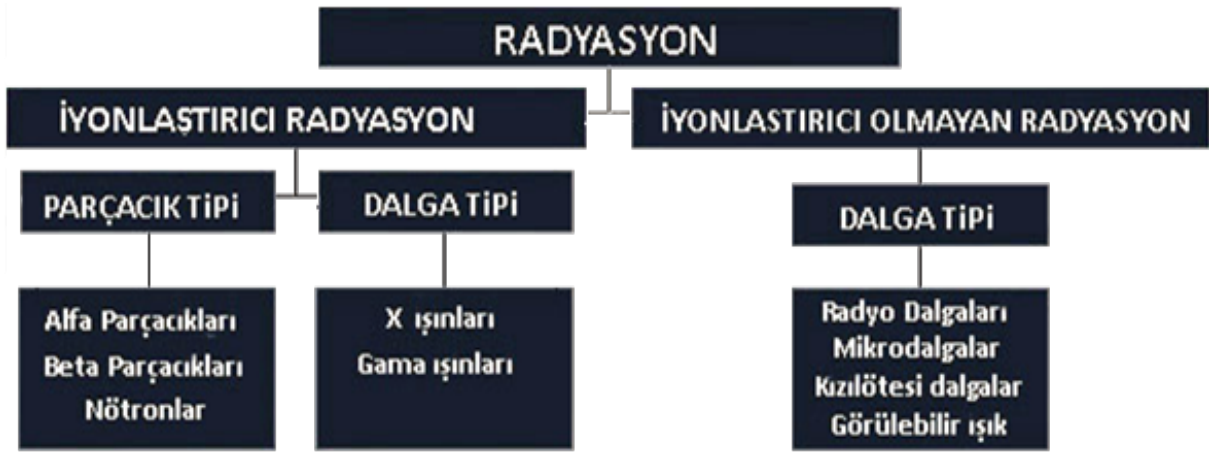
Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyükse ($\Phi_m > \Phi_s$) durumunu ele alalım. Bu durumda da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi metalin Fermi enerji seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Yarıiletkendeki elektronlar, arkalarında pozitif yükler bırakarak metal tarafına geçerler ve dolayısıyla metalin ön yüzeyinde negatif yükler oluşur. Ohm kanununa uyan ve her iki doğrultuda akım geçirebilen kontaklar, omik kontak diye adlandırılırlar [6-8, 17]. Metal-p tipi yarıiletken omik kontaklar aşağıda şekil 1. 5’ te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Metal p- tipi yarıiletken omik kontağın enerji-bant diagramı. a) Kontakdan önce b) Kontakdan sonra ve termal dengede, c) $V \neq 0$ olması durumunda.

1.3. Radyasyon Çeşitleri

Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden etrafa saçılan radyasyon çeşitleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Radyasyon Çeşitleri

1.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

1.3.1.1. Alfa Işınları

Alfalar, iki proton ve iki nötrondan oluşan Helyum atomu çekirdekleri olup, temsili olarak 2He^4 şeklinde gösterilmektedir. Alfa parçacıkları daha ziyade tabii radyoaktif izotoplardan yayınlanır [18]. Ayrıca suni (yapay) radyoaktif maddeler de alfa yayınlarlar. Büyük kütleleri nedeniyle çevrelerindeki maddeyi geçerken, çabucak soğurulduklarından fazla ilerleyemezler. İnce bir kağıt, her çeşit giyecek ve insanın derisi alfaları soğurmaya yeterlidir. Fakat yüksek iyonlaştırıcı olma özelliklerinden dolayı, bu ışınlar tehlikelidirler. Solunum ve sindirim sistemlerine herhangi bir yolla girdiklerinde zararlı etkileri çok büyük olur. Alfa saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Radium (Ra-226), Radon (Rn-222), Plutonyum (Pu-238) gösterilebilir [18,19].

1.3.1.2. Beta Işınları

Bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Beta ışınları da parçacık özelliği gösterirler. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Potasyum (K-40), Stronsiyum (Sr-90), Karbon (C-14) gösterilebilir [17,18] .

1.3.1.3. Gama Işınları

Gama ışınları, elektromanyetik bir radyasyondur. Eğer alfa veya beta bozunumu sonrasında ortaya çıkan çekirdek uyarılmış durumda ise, bir radyoaktif element gama ışınlarını yayabilir. Gama ışını, bir çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşerken yaydığı foton olarak tanımlanır. Gama ışınları, alfa veya beta parçacıklarından daha çok derine nüfuz ederler. Gama ışınları, kütsüz ve yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar ve yüksek enerjilerinden dolayı madde içerisinde ışık hızı ile yayılırlar [20, 21]. Gama saçan maddelere birkaç örnek, Sezyum (Cs-137), Kripton (Kr-88), Kobalt (Co-60) gösterilebilir

1.3.1.4 Radyasyon Doz Birimleri

İyonlaştırma için kullanılan enerji iyonize edici doz ve aygıt tarafından soğurulan enerji ise toplam iyonize dozu olarak adlandırılır. Radyasyon dozları genellikle rad birimi olarak hesaplanır. Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-4} joule' lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ise, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule' lük enerji veren radyasyon miktarıdır ve 1 Gy, 10^4 Rad'a eşittir [20, 21]. Kısaca; radyasyon doz birimleri aşağıdaki gibi açıklanabilir [21];

- Rad: Işınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-4} joule' lük enerji veren radyasyon miktarı olarak tanımlanır.
- Gray (Gy): Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule' lük enerji veren radyasyon miktarına denir. 1 Gy= 10^4 Rad' dır.
- Curie (Ci): Radyoaktivite miktarını yani bir çekirdeğin bir başka çekirdeğe bozunmasını birim zaman başına ölçmektedir. 1 saniyede $3,7 \times 10^{10}$ çözünme (dizentegrasyon) gösteren radyoaktivite birimi 1 Curie (Ci) olarak tanımlanır. Curie SI' de Becquerel cinsinden ifade edilir.
- Becquerel (Bq): 1 saniyede 1 dizentegrasyon gösteren aktivite birimine 1 Becquerel (Bq) denir. Curie' nin mili ve mikro gibi alt birimleri, Becquerel' in mega ve giga gibi üst birimleri bulunmaktadır. 1miliCurie (mCi) = 37 mega Becquerel (MBq)' dır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kimyasal Temizleme Süreci

Bu çalışmada, [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci $\rho=5-10 \Omega\text{cm}$ olan bor katkılı p-Si yarıiletken kristali kullanılmıştır. Diyot yapımında iyi netice alınabilmesi için kullanılacak yarıiletken yüzeyinin mekanik pürüzlerden ve organik kirlerden arındırılması, alınan deneysel ölçülerden elde edilecek sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Yarıiletken kristale uygulanan kimyasal temizleme işleminin aşamaları aşağıdaki gibidir [6];

- 1) Aseton' da ultrasonik olarak 10 dakika süreyle yıkandı.
- 2) Metanol' da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Diyonize su ($18 \text{ M}\Omega$) ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3;6:1:1$)' de 60°C ' de 10 dakika kaynatıldı.
- 5) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCL};6:1:1$)' de 60°C ' de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Diyonize su ile iyice yıkandı.
- 8) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 15-20 dakika akan diyonize su içerisinde iyice yıkandı.
- 10) Azot gazı (N_2) ile kurulandı.

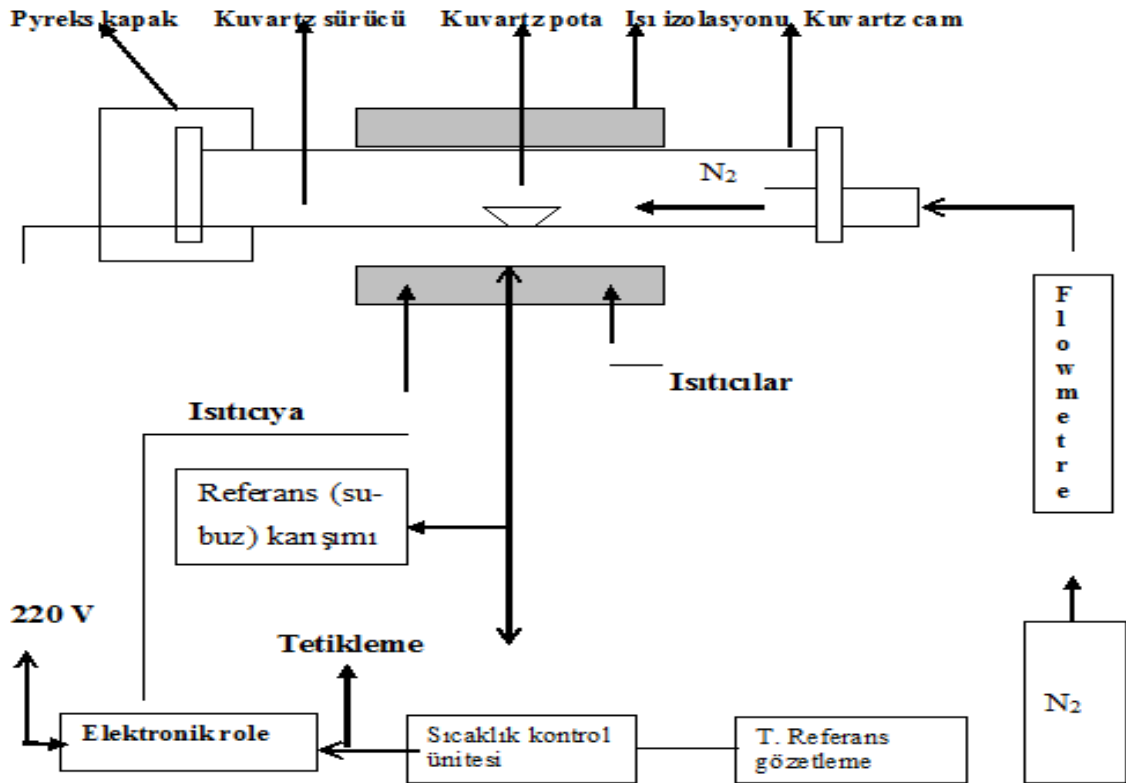
2.2. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotları Hazırlanması

Kimyasal temizlenme yapıldıktan hemen sonra, numunenin mat tarafına omik kontak yapılması için, önce tungsten ısıtıcı pota %10 HCl ile yıkanıp, diyonize su ile iyice temizlenip kurutuldu ve sonra vakum buharlaştırma ünitesine yerleştirilerek yakılıp hazır halde kullanılabilir duruma getirildi. Numuneler kimyasal olarak temizlendi ve yarıiletkenin (Si) mat tarafına buharlaştırılacak metal (Al) kimyasal olarak temizlenip tungsten ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra yarıiletken numune, daha önce çalıştırılıp vakum işlemi için hazır duruma getirilen ünitenin içerisine yerleştirildi. Vakum işleminde basınç 10^{-5} torr değerine düştükten sonra ısıtıcı üzerine yerleştirilen % 99,999 saflıkta alüminyum (Al) metali buharlaştırıldı ve böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Omik kontak işleminden hemen sonra, numune tekrar vakum ortamına alınarak 1,5 mm çaplı delikler bulunan maskenin üst bölgesine yerleştirildi ve numunenin parlak tarafına vakum sisteminde yaklaşık olarak 10^{-5} torr basınç altında % 99,99 saflıkta kalay (Sn) metali buharlaştırıldı. Sonuç olarak; Sn/p-Si/Al referans diyot numune elde edildi.

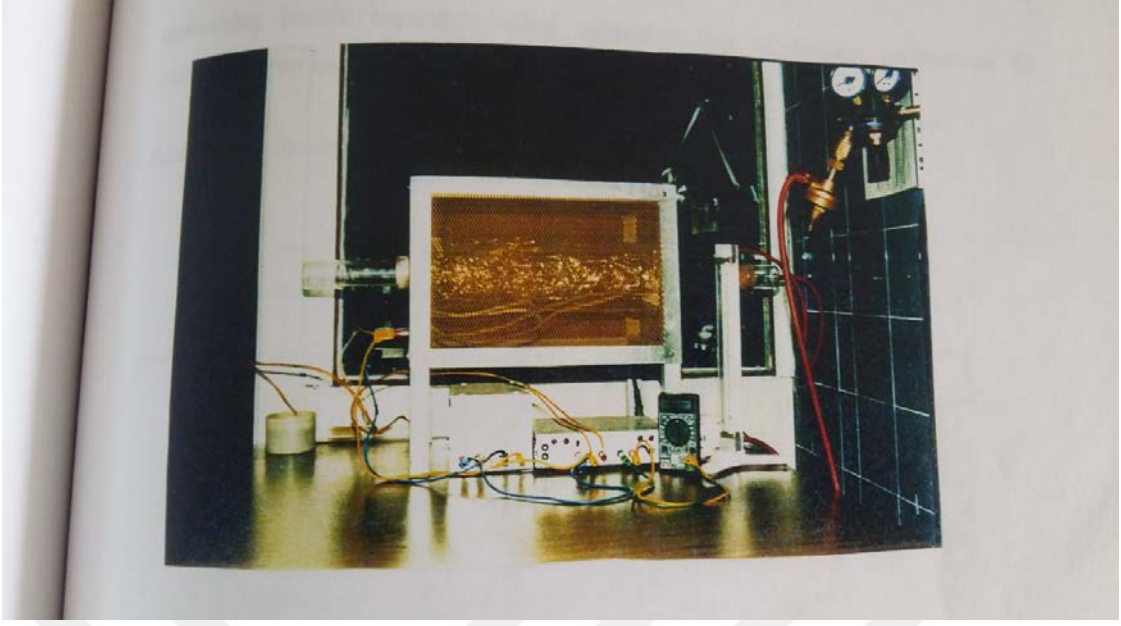
Aşağıdaki şekillerden; şekil 2.1 Ultrasonik temizleme cihazını, şekil 2.2.de omik kontak termal işlemi için fırın ve sıcaklık kontrol ünitesini ve şekil 2.3 Omik kontak ve tavlama için kullanılan fırın sistemin fotoğrafını göstermektedir.



Şekil 2.1. Ultrasonik temizleme cihazı



Şekil 2.2. Omik kontak termal işlemi için fırın ve sıcaklık kontrol ünitesi



Şekil. 2.3. Omik kontak ve tavlama için kullanılan fırın sistemin fotoğrafı

2.3. Ölçüm Araçları

Sn/p-Si / Al Schottky diyotlarının oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklığında ve radyasyona bağlı olarak akım-voltaj ölçümlerini ve kapasitans-voltaj ölçümlerini aldık. Akım-voltaj ölçümleri için KEITHLEY 2400 <<Programmable Constant Current>> cihazı kullanıldı. Kapasitans-voltaj ölçümleri için ise <<Hewlett Packard>> firmasının <<4192A 5Hz-13MHz LF Impedence Analyser >> cihazı kullanıldı. Sıcaklık için, Janes 475 Cryostat cihazı kullanıldı ve Lake Shore 321 Autotuning temperature controller (sıcaklık kontrol ünitesi) cihazı ile de sıcaklık kontrol ayarı yapıldı. Aşağıda sırasıyla kullanılan cihazların fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı



Şekil 2.5. HP 4192 LF empedans analizörü



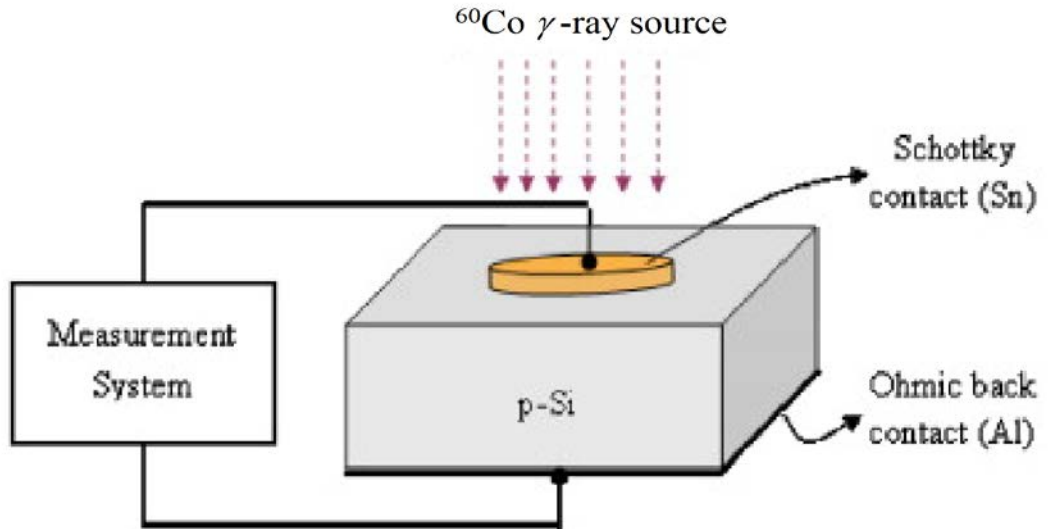
Şekil 2.6. Janis vpf-475 kriyostat



Şekil 2.7. Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemi



Şekil 2.8. Deneysel ölçüm sisteminin fotoğrafın görünümü



Şekil 2. 9. Deneysel radyasyon (^{60}Co γ ışın kaynağı) ölçüm sisteminin görünümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Sn/p-Si Schottky Yapının Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Bu tez çalışmasında, Sn/p-Si Schottky diyodun oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklığında ve 500 kGy gamma (γ) radyasyon altında ters beslem ve doğru beslem akım-voltaj (I-V) karakteristikleri incelendi ve bu durumlar için akım-voltaj (LnI-V) eğrisi şekil 3.1’ de verildi. İdeal bir Schottky diyodun doğru besleme akım-voltaj (I-V) karakteristiği $V > 3kT/q$ sınırında azınlık taşıyıcı etkileri ihmal edilerek termoiyonik emisyon (TE) teorisine göre [22-26] hazırlanan Schottky diyodunun akım-voltaj (I-V) karakteristikleri başlangıçta, aşağıda termoiyonik emisyon teorisi ile verilen doğru beslem akım ifadesine göre incelendi.

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) \right] \quad [3.1]$$

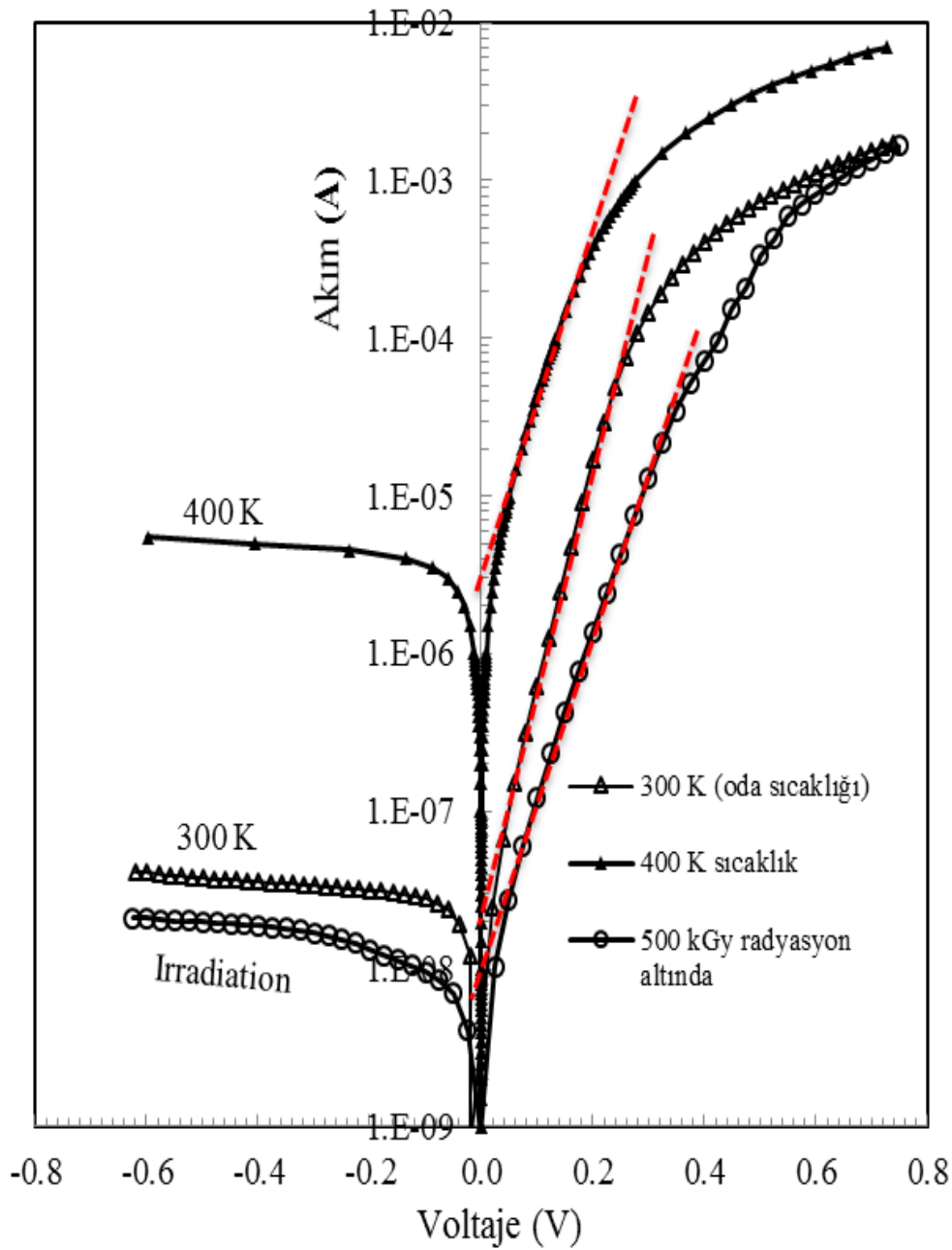
Burada I_o , akım-voltaj grafiğinde lineer doğrunun $V = 0$ da akım eksenini kestiği noktadan bulunan doyma akım yoğunluğu olup,

$$I_o = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{b0}}{kT}\right) \quad [3.2]$$

eşitliği ile verilir. Burada q elektronun yükü, V uygulanan doğru beslem voltajı, A diyodun etkin alanı, k Boltzman sabiti ($=1.38 \times 10^{-23}$ J/K), A^* p-tipi silisyum için etkin Richardson sabiti ($A^* = 32 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$), Φ_{b0} potansiyel engel yüksekliği, n diyodun idealite faktörü ve T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. Eşitlik 3.1’ den idealite faktörünün değeri, yarı-logaritmik akım-voltaj grafiğinin orta gerilim bölgesindeki lineer kısmının eğiminden ($dV/d\ln I$) eşitlik 3.3 ifadesiyle

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d\ln I} \right) \quad [3.3]$$

bulunur. Potansiyel engel yüksekliği (Φ_{bo}) ise yine $\ln I-V$ grafiğinde, lineer kısmının sıfır besleme extrapolate edilmesiyle bulunan I_o doyum akım değeri ve diyot alanı kullanılarak eşitlik 3.2' den bulundu ve engel yüksekliği diyodun iletme geçmesi için verilmesi gereken en düşük potansiyel olarak tanımlanır. Ayrıca burada idealite faktörünün birden büyük çıkması da diyodun ideal durumdan (termiyonik emisyon teorisinden) sapma olduğunu göstergesidir [2, 5, 6]. Her üç durum için idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_{bo}) değerleri aynı yöntemle hesaplanarak çizelge 3. 1' de verildi.



Şekil 3.1. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel doğru beslem ve ters beslem akım-voltaj eğrileri

Eşitlik 3.2' nin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, Φ_b ' ye göre çözümleme yapılırsa;

$$\Phi_{bo} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_o} \right) \quad [3.4]$$

olarak potansiyel engel yüksekliği eşitliği elde edilir. Eşitlik 3.3' te $dV/d \ln(I)$ $\ln I$ -V grafiğinin lineer bölgesinin eğimidir. Böylece, eşitlik 3.3 kullanılarak oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak idealite faktörlerinin değerleri sırasıyla; 1.189, 1.083 ve 1.661 olarak elde edildi. Görüldüğü gibi idealite faktörü değerleri sıcaklıkla azalırken radyasyon altında ise artış gösterdi. Bu durum radyasyonun sıcaklıktan daha fazla etkin olduğunu gösterir. Aynı şekilde eşitlik 3.4 kullanılarak da engel yüksekliklerinin değerleri, oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyon (500 kGy) altında ise sırasıyla 0.734 eV, 0.834 eV ve 0.755 eV olarak elde edildi. Engel yükseklikleri ise her durum için artış göstermiştir. Bu durum I-V ölçümlerinde gözlenen radyasyonla indüklenen azalma, arayüzeydeki kusur yoğunluğundaki bir artışa bağlanabilir [26, 27]. Aynı zamanda engel yüksekliklerindeki artış Sn/p-si Schottky diyodunun ara yüzeyindeki seri direncin varlığından kaynaklanır [26-28].

3.2. Sn/p-Si Schottky Yapının Kapasitans-Voltaj (C-V) Karakteristikleri

Metal-yarıiletken (MY) yapıların karakteristik özelliklerini belirleyen diğer bir yöntem ise kapasitans-voltaj (C-V) ölçüm tekniğidir. Oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve 500 kGy gamma radyasyon kaynağı altında doğru ve ters beslem kapasitans-voltaj (C-V) eğrileri şekil 3.2' de verilmiştir. Şekil 3.2' de görüldüğü gibi farklı durumlarda ölçülen kapasitans-voltaj (C-V) eğrileri hem sıcaklığa hemde radyasyona bağlıdır. Şekil 3.2' de görüldüğü gibi kapasitans-voltaj (C-V) eğriler birikim-tükenme-inversiyon bölgesi olarak üç farklı bölgeye sahiptir. Kapasitans-voltaj (C-V) tüketim (II. bölge) bölgesinde metal-yarıiletken arayüzey ve seri dirençten dolayı bir pik vermiştir. Bu pik durumu voltajın artması ile düzelmeye başlar ve sabitleşir. Bu durum düşük voltajlarda alternatif akım olabilir ve aynı zamanda uygulanan voltaj, sıcaklığa ve radyasyona da bağlıdır.

Kapasitans-voltaj (C-V) eğrilerinden hareketle C^{-2} -V eğrileri de her üç durum (300 K, 400 K ve 500 kGy) için elde edildi. C^{-2} -V eğrilerinin lineer kısımlarından durum yoğunluklar elde edilir. C^{-2} -V eğrileri şekil 3.3' te verilmiştir. C^{-2} -V grafiğinin lineer

kısının $V=0$ da y eksenin yani kapasitansı (C) kestiği noktadan aynı zamanda kapasitans-voltaj (C-V) ölçümlerinden elde edilen engel yükseklikleri değerleri elde edildi. Buna göre Sn/p-Si yapının tükenme tabakasının kapasitansı [5, 6, 8, 26, 29, 30] aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_R + V_a)}{q\epsilon_s N_A A^2} \quad [3.5]$$

burada C^{-2} -V eğrisi;

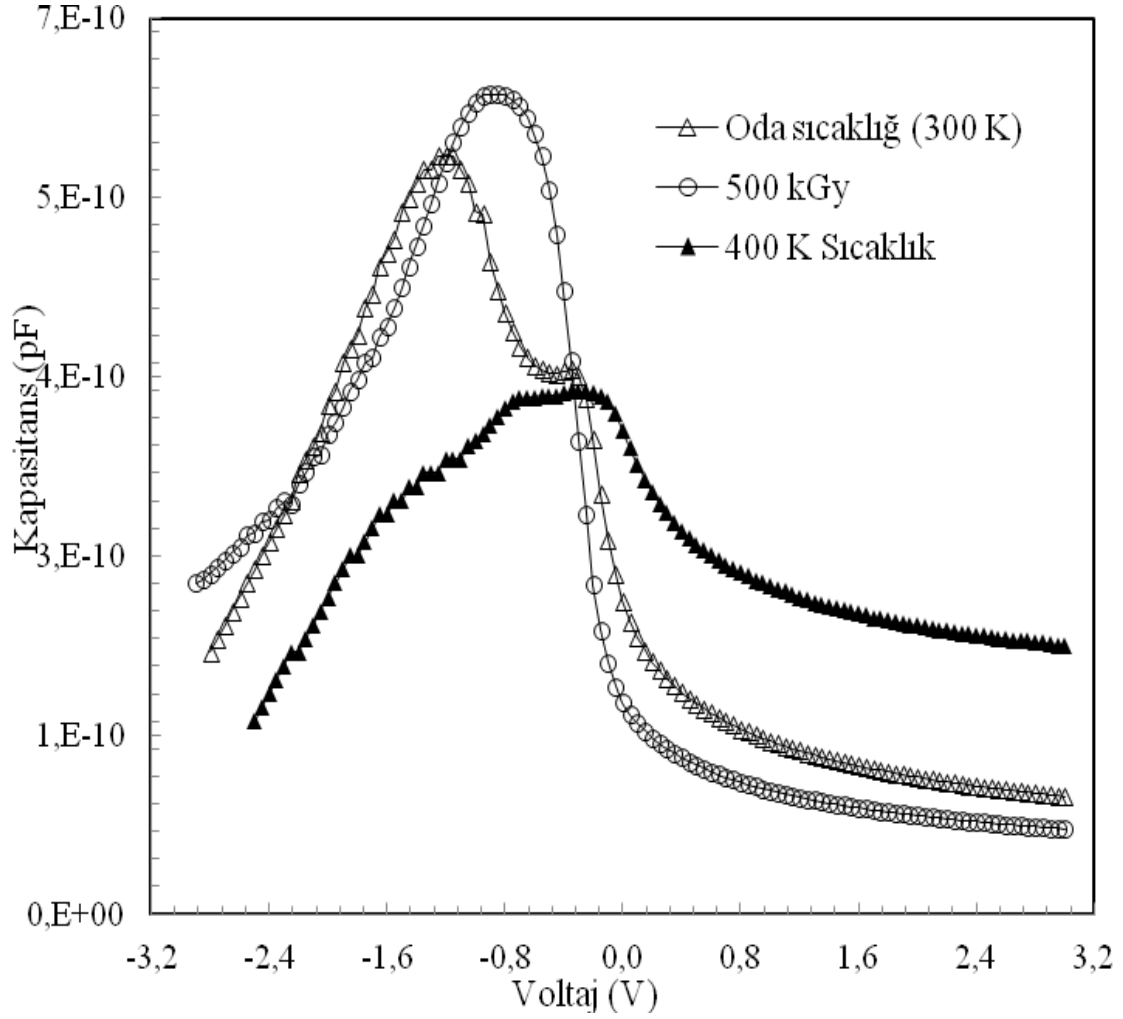
$$\frac{d(C^{-2})}{dV} = \frac{2}{N_A A^2 q \epsilon_s} \quad [3.6]$$

şeklinde ifade edilir. Burada V_R ters beslem voltajıdır, V_a difüzyon potansiyelidir ve N_A taşıyıcı yoğunluğudur. Buna göre kapasitans-voltaj ölçümlerinden elde edilen bariyer yüksekliği (Φ_{CV});

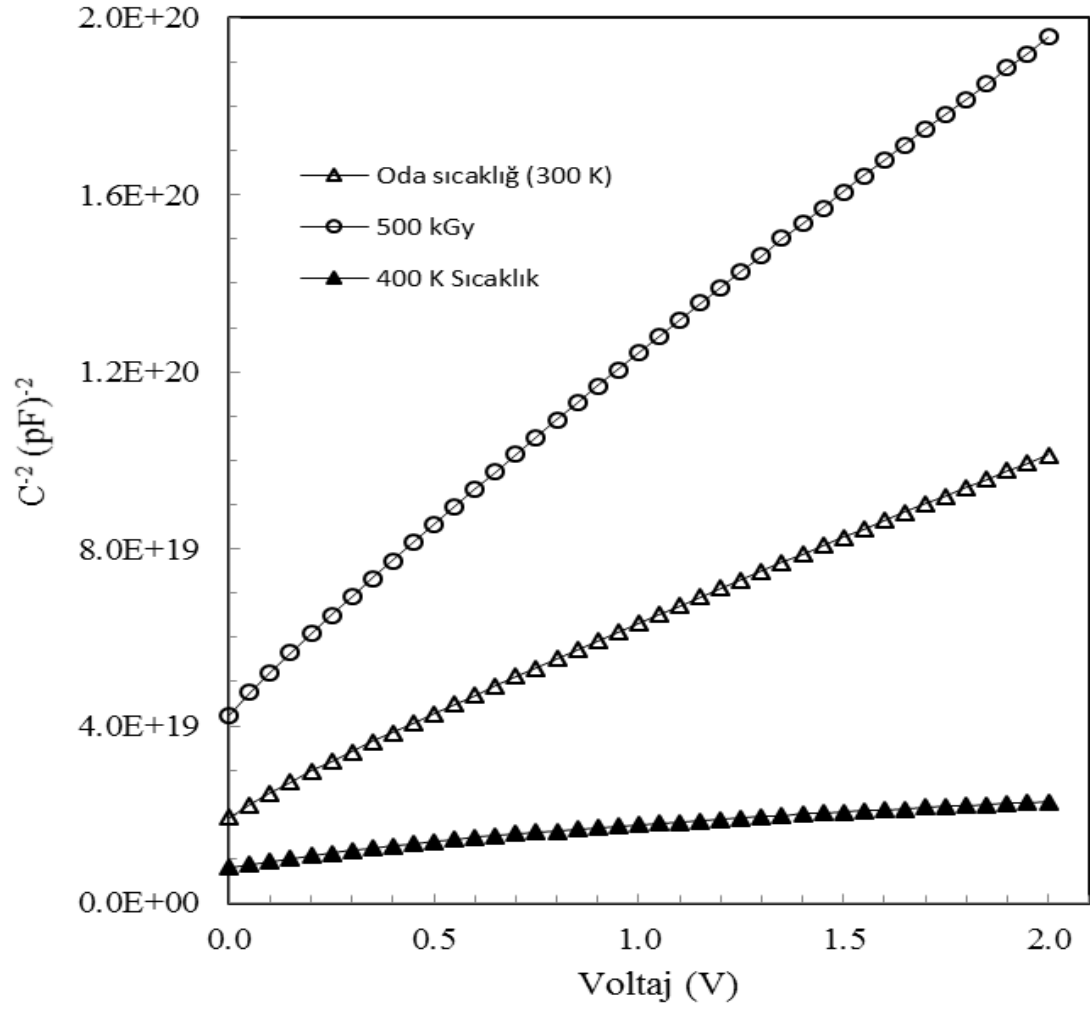
$$\Phi_{CV} = V_i + \frac{kT}{q} + kT \ln\left(\frac{N_V}{N_A}\right) - \Delta\Phi_b = V_a + E_F - \Delta\Phi_b \quad [3.7]$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 3.7' de; $\Delta\Phi_b = \sqrt{qE_m/4\pi\epsilon_s\epsilon_0}$ imaj kuvvetidir, $E_m = \sqrt{2qN_A V_D/\epsilon_s\epsilon_0}$ maksimum elektrik alanıdır ve E_F p-tipi silisyum (Si) için nötral bölgede valans bandın üstü ile fermi enerjisi arasındaki farktır. Eşitlik 3.7' ye göre kapasitans-voltaj (C-V) ölçümlerinden oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak elde edilen bariyer yüksekliklerinin değerleri sırasıyla; 0.813 eV, 1.086 eV ve 1.269 eV olarak bulundu. Aynı zamanda ve taşıyıcı durum yoğunluklarının değerleri ise sırasıyla $9.603 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $4.472 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, ve $5.105 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ olarak bulundu. Çizelge 3.1 ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümlerinde görüldüğü gibi, $\Phi_{(C-V)}$ değerleri akım-voltaj (I-V) ölçümlerinde elde edilen bariyer yüksekliği değerlerinden büyüktür. Bu fark kapasitans-voltaj (C-V) ve akım - voltaj (I-V) ölçümlerinin farklı metotlarla alındığının veya kapasitans yükünün fazla olmasına bağlıdır [31-34]. Aynı zamanda kapasitans, uzay yükü bölgesinin genişliğinden daha küçük bir skaladaki potansiyel değişimlerinden bağımsızdır. Ara yüzeydeki dc akımı Φ_b ' ye üstel

olarak bağılı olduğundan dolayı ara yüzeydeki engel dağılımına daha çok duyarlıdır. Engel yüksekliğindeki herhangi bir uzaysal değişim, akımın daha çok minimum engelden geçmesine neden olur. Bundan dolayı Schottky diyotlarında, kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiklerinden bulunan engel yüksekliklerinin (Φ_{C-V}), akım-voltaj karakteristiklerinden bulunan engel yüksekliklerinden (Φ_{I-V}) daha büyük olması beklenir.



Şekil 3.2. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel doğru beslem ve ters beslem kapasitan-voltaj eğrileri



Şekil 3.3. Sn/p-Si Schottky diyodunun deneysel C^{-2} -V eğrileri.

3.3.Akım-Voltaj Karakteristiklerinde Cheung ve Norde Fonksiyonlarının Kullanılması

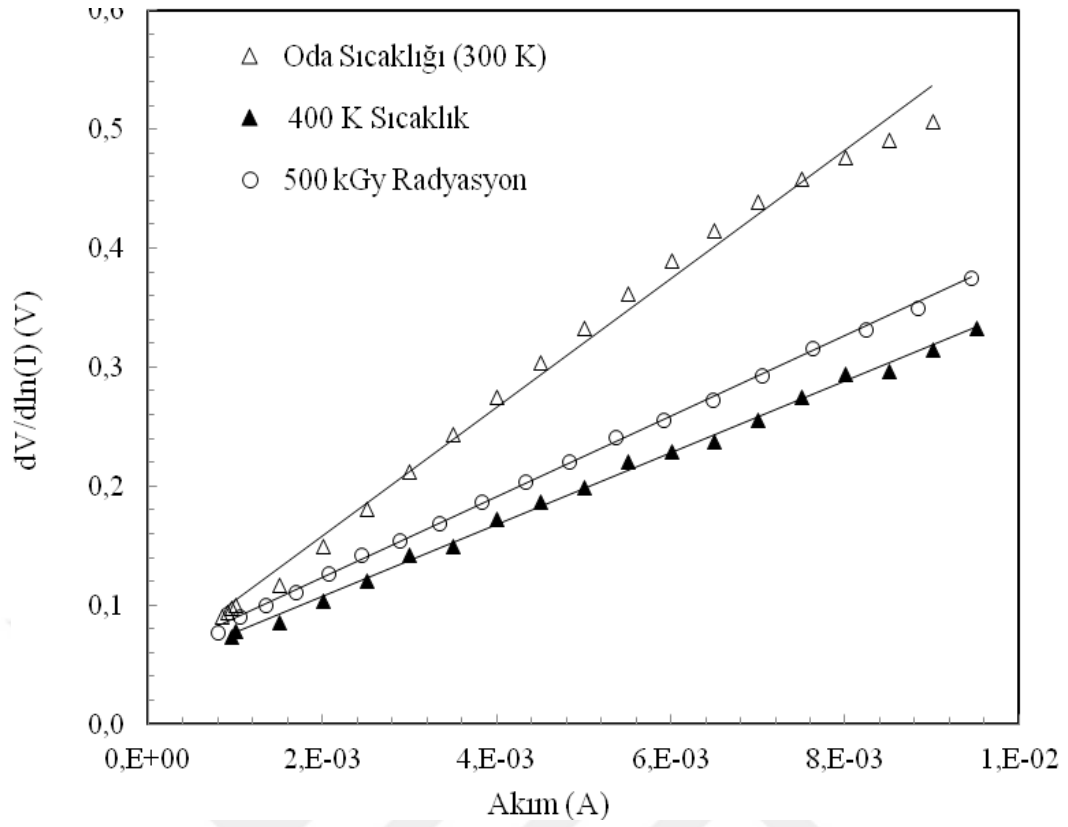
Sn/p-Si metal yarıiletken yapılar için aynı zamanda seri direnç önemli bir parametre olduğundan dolayı elektriksel karakteristikleri de önemli ölçüde değiştirir. Bu tezimizde seri direnç değerleri Cheung [35] ve Norde [36] tarafından önerilen metotlarla farklı şekilde elde edilmiştir. Eşitlik 3. 1' de termiyonik emisyon (TE) teorisine göre doğru beslem için verilen temel akım denklemi yeniden düzenlenerek Cheung fonksiyonlarından elde edilen seri direnç eşitlikleri;

$$\frac{dV_a}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + R_s I \quad [3.8]$$

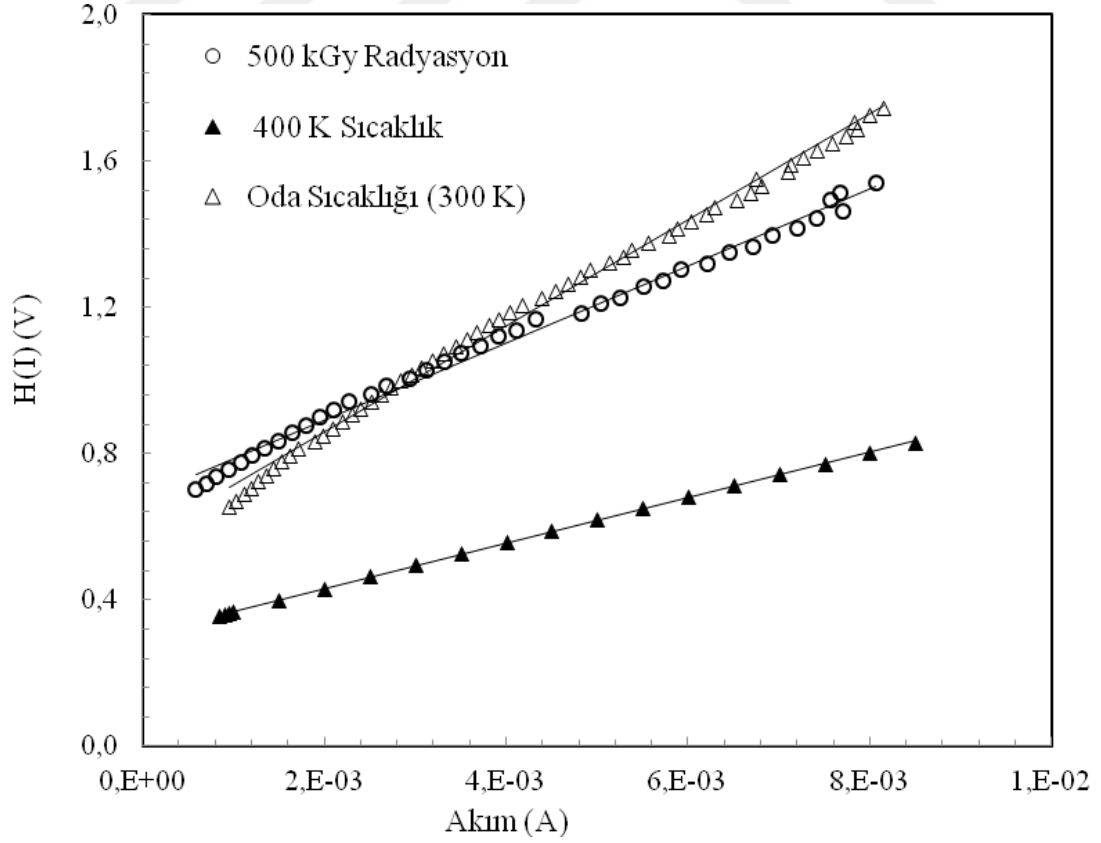
ve

$$H(I) = V - n \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^* T^2} \right) = IR_s + n\Phi_b \quad [3.9]$$

Cheung fonksiyonları kullanılarak, oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak idealite faktörleri ve engel yükseklikleri elde edildi. Eşitlik 3.8' e göre $dV/d\ln(I)$ nin akım (I) a göre grafiği şekil 3.4 te verilmiştir. Şekil 3.4' te ve eşitlik 3.8' e göre; oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak elde edilen idealite faktörleri 1.924, 1.359 ve 2.164 olarak elde edildi. Aynı zamanda seri direnç değerleri sırasıyla; 54.10 Ω , 30.18 Ω ve 33.79 Ω olarak elde edildi. Ayrıca eşitlik 3.9 ifadesiyle verilen H(I)-I grafiği de aynı zamanda bir doğru vermektedir. Eşitlik 3.8 ifadesinden elde edilen idealite faktörü kullanılarak, H(I)-I grafiğindeki doğrunun I=0 iken düşey eksenini kestiği noktadan, diyodun Schottky engel yüksekliği elde edilmektedir. Sn/p-Si yapının Cheung fonksiyonuna ait H(I)-I grafiği şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekil 3.5' te ve eşitlik 3.9' a göre; oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak elde edilen engel yükseklikleri değerleri; 0.296 eV, 0.228 eV ve 0.314 eV olarak elde edildi. Aynı durumda seri direnç değerleri ise sırasıyla; 144.96 Ω , 62.18 Ω ve 105.56 Ω olarak elde edildi. Cheung fonksiyona bağlı olarak elde edilen bu değerler ayrıca çizelge 3.1' de gösterilmiştir. Çizelge 3.1'e bakıldığında şekil 3.2 (LnI-I) grafiğinden elde edilen değerler ile Cheung fonksiyonunda yani şekil 3.5 ve şekil 3.6' dan elde edilen değerler birbirinden farklıdır. Bu farklılıklar doğru beslemde ve yüksek voltajlarda seri direncin oluştuğuna atfedilir [26,28].



Şekil 3.4. Cheung fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının $dV/d\ln(I)$ -I grafiği



Şekil 3.5. Cheung fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının $H(I)$ -I grafiği

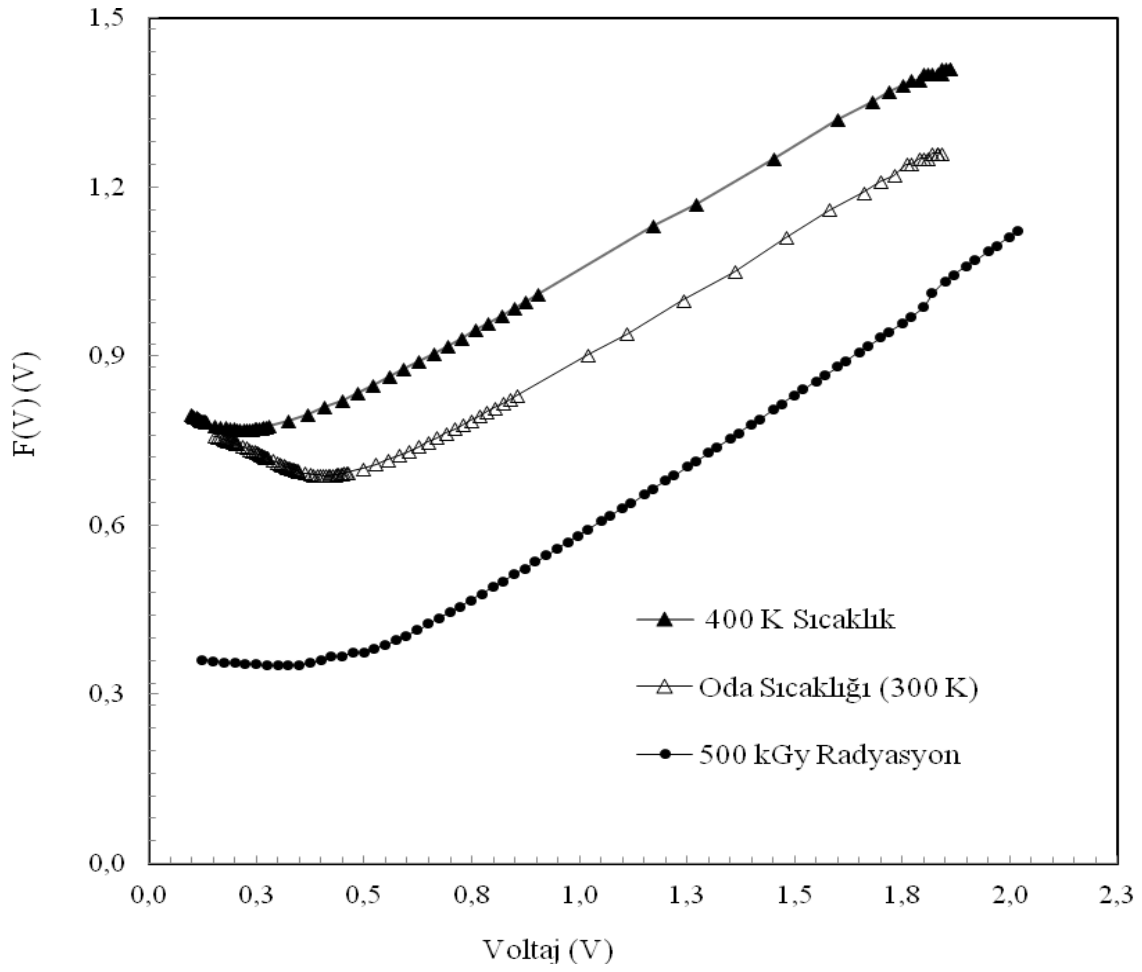
Şekil 3.4 ve şekil 3.5’ ten görüldüğü gibi; idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direncin sıcaklığa ve radyasyona oldukça bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, H. Norde [36] seri direnç ve bariyer yüksekliği değerlerini bulmak için Cheung’ a alternatif bir öneri sunmuştur. Buna göre Norde tarafından verilen

$$F(V) = \frac{V_m}{2} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_m}{AA^* T^2} \right) \quad [3.8]$$

ve

$$R_s = kT \left(\frac{2-n}{qI_o} \right) \quad [3.9]$$

fonksiyonları kullanılarak doğru beslem akım-voltaj (I-V) verilerinden yararlanarak; oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak seri direnç değerleri hesaplanarak Cheung fonksiyonlarından hesaplanan değerlerle karşılaştırıldı. Ancak bu metod idealite faktörünün yalnız bir (n=1) olduğu durumlarda geçerlidir. Norde fonksiyonuna göre Sn/p-Si yapılarının F(V)-V grafiği şekil 3.6 da gösterilmiştir. Norde metoduna göre, Sn/p-Si yapının oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak elde edilen bariyer yüksekliği ve seri direnç değerleri sırasıyla 0.867 eV, 50.465 Ω ; 0.866 eV, 42.435 Ω ; ve 0.542 eV, 74.568 Ω olarak elde edildi. Çizelge 3.1’ e bakıldığında, Cheung fonksiyonundan elde edilen bariyer yüksekliği ve seri direnç değerleri Norde fonksiyonunda elde edilen değerlerden genelde daha düşüktür. Bunun nedeni; Cheung metoduna göre akım-voltaj (I-V) eğrisinin sadece lineer olan kısmı alınır, ancak Norde ye göre ise doğru beslem bütün akım-voltaj (I-V) eğrisinin tümü için değerler hesaplanır [35,36].



Şekil 3. 6. Norde fonksiyonlarından elde edilen Sn/p-Si yapının F(V)-V grafiği.

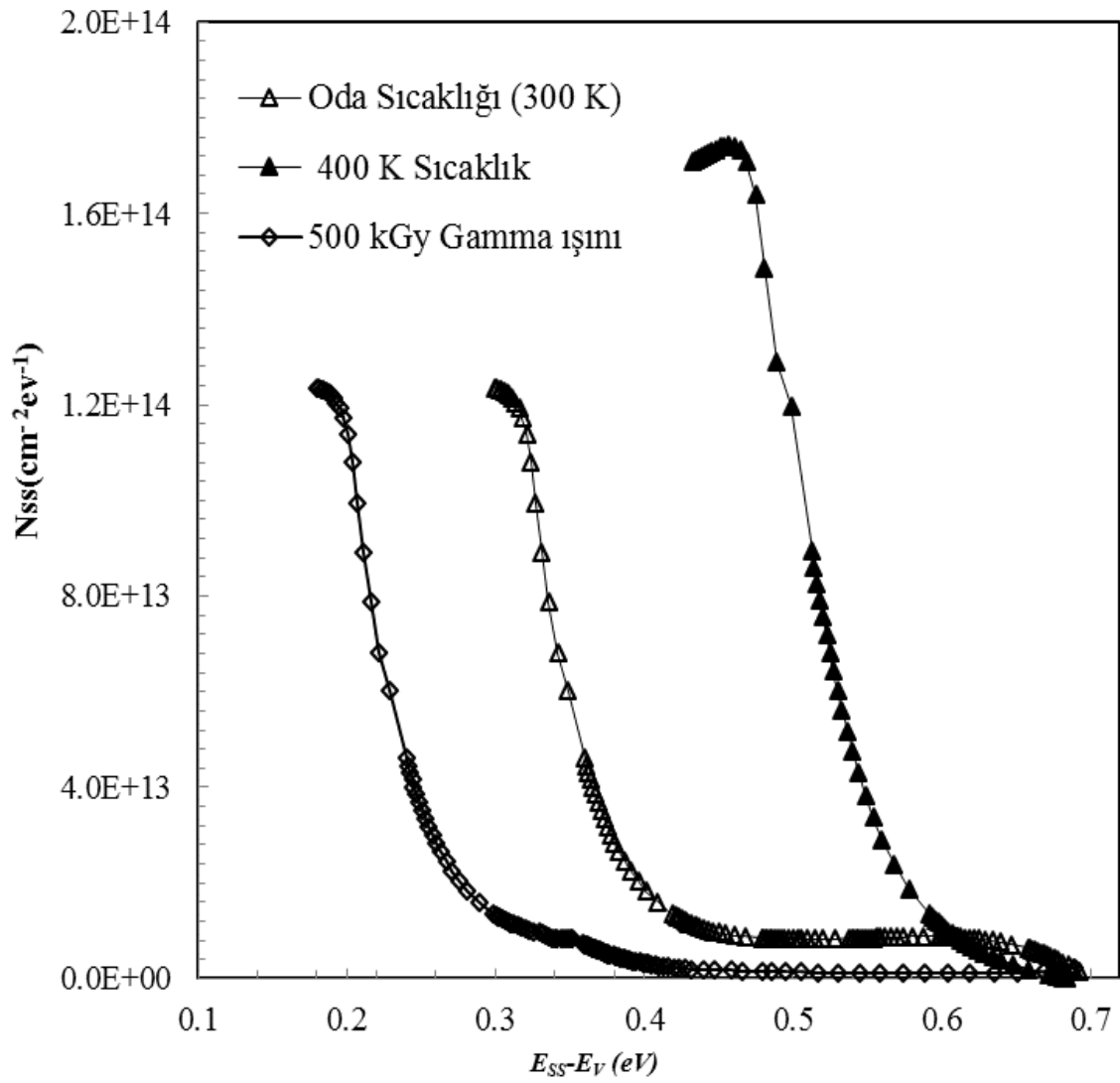
3.4. Sn/p-Si Schottky Yapının Arayüzey Durum Yoğunlukları

Bu bölümde arayüzey durum yoğunluklarının enerjiye bağlı değişimleri; oda sıcaklığında (300 K), 400 K sıcaklıkta ve radyasyona (500 kGy) bağlı olarak incelendi. Arayüzey durum yoğunlukları akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden elde edildi. Buna göre durum enerjisi ve arayüzey hal yoğunluğu, [3-6, 31-34]

$$E_{ss} - E_v = q\Phi_b - qV \quad [3.10]$$

$$qN_{ss} = \left[\frac{\epsilon_i \epsilon_0}{\delta} (n-1) - \frac{\epsilon_i \epsilon_0}{W_D} \right] \quad [3.11]$$

eşitlikleri ile verilir. Burada, q , elektronun yükü, ϵ_i ve ϵ_s sırasıyla arayüzey tabakasının dielektrik sabiti ve yarıiletkenin dielektrik sabitleri, δ arayüzey tabakasının kalınlığı ve W_D ise tüketim tabakasının genişliğidir. Arayüzey hal yoğunluğunun (N_{ss}) enerjiye ($E_{ss}-E_v$) göre değişim grafiği eşitlik 3.10 ve eşitlik 3.11 denklemleri yardımıyla elde edildi ve şekil 3. 8’ de gösterilmiştir. Şekil 3.7’ de Sn/p-Si Schottky diyodunun durumlarının voltajın azalması ile her durum içinde arayüzey durumlarında bir artışın olduğu açıktır. Bu durumda enerji artışına bağlı olarak arayüzey durum yoğunluklarının azaldığını ve buna bağlı olarak da iletkenliğin arttığı açıklanabilir.



Şekil 3.7. Sn/p-Si yapının ara yüzey durum yoğunluklarının (N_{ss}) ara yüzey hal enerjisine ($E_{ss}-E_v$) bağlı grafiği

Çizelge 3.1. Sn/p-Si Schottky diyodunun I-V ve C-V karakteristiklerinden elde edilen temel parametreler

Parametre	Oda sıcaklığında (300 K)	400 K Sıcaklıkta	Işık altında (30 mW/cm ²)
Akım-Voltaj (I-V) karakteristikleri			
İdealite faktörü, n	1.189	1.083	1.661
Bariyer yüksekliği, Φ_b (eV)	0.734 eV	0.834 eV	0.755 eV
Kapasitans-Voltaj (C-V) karakteristikleri			
Bariyer yüksekliği, Φ_b (eV)	0.813 eV	1.086 eV	1.269 eV
Cheung fonksiyonlarından $dV/d(\ln I)$ vs I			
Seri direnç, R_s (Ω)	54.10 Ω	30.18 Ω	33.79 Ω
İdealite faktörü, n	1.924	1.359	2.164
$H(I)$ vs I			
Seri direnç, R_s (Ω)	144.96 Ω	62.18 Ω	0.314 Ω
Bariyer yüksekliği, Φ_b (eV)	0.296 eV	0.228 eV	105.56 eV
Norde fonksiyonlarından			
Seri direnç, R_s (Ω)	50.465 Ω	42.435 Ω	74.568 Ω ,
Bariyer yüksekliği, Φ_b (eV)	0.867 eV	0.866 eV	0.522 eV

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, oda sıcaklığında (300 K), yüksek sıcaklıkta (400 K) ve ^{60}Co radyasyon kaynağı altında (500 kGy) Sn/p-Si Schottky bariyer diyotların elektriksel özellikleri akım voltaj (I-V) ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümleri kullanarak incelendi. Bu ölçümlerden farklı metotlardan elde edilen temel parametreler olan idealite faktörleri, bariyer yükseklikleri, seri dirençler ve arayüzey durum yoğunlukları incelendi ve birbiriyle karşılaştırıldı. Deneysel sonuçlardan Sn/p-Si Schottky bariyer diyotlarının temel parametrelerinin hem sıcaklığa hemde radyasyona bağlı olduğu gözlemlendi. Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen Sn/p-Si Schottky bariyer diyotları yeni elektronik cihazların geliştirilmesi ve bunların teknoloji alanında yeni yaklaşımların sergilenerek gelecekte yeni fikirlerin ortaya çıkmasına yardımcı olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Raymond T. Tung., Recent advances in Schottky barrier concepts, *Mater. Sci. and Eng. R*, (35): 1-138 (2001).
- [2] Bardeen J., Brattain, W. H., Nature of the forward current in germanium point contacts, *Phys. Rev*, 74: 231-232 (1948).
- [3] Rhoderick E.H., Williams, R.H., Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed., Clarendon Press. *Oxford*, 1-3 (1988).
- [4] Cowley A.M., Sze, S.M., Surface and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems, *Journal of Applied Physics*, 36 (10): 3212-3221 (1965).
- [5] Rhoderick E.H., Williams R.H., Metal-Semiconductor Contacts, Second ed., Clarendon Press, *Oxford* (1988).
- [6] Karataş, Ş., Sn/p-Si Schottky Kontakların Elektriksel Karakteristiklerin Geniş Bir Sıcaklık Aralığında İncelenmesi, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 105s (2003).
- [7] Gül Aydın, M., Ag/Grafen Oksit-Polimer/p-tipi Si Schottky Diyotların Elektriksel ve Dielektriksel Karakteristiklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 38s (2016).
- [8] Özerli, H., Yüksek Performanslı Metal-Yarıiletken Schottky Diyotların Elde Edilmesi İçin Yeni Nesil Nano Yapılı Grafen Esaslı Kompozit Malzemelerin Üretilmesi, Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 96s (2017).
- [9] Braun, F., Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle, *Ann. Physik Chem.*, 153: 556-563, 1874.
- [10] Schottky, W. Störmer, R. Waibel, F. 1931. Zeits f. Hochfrequenztechnik, 37,162
- [11] Willson, A.H., A Note of The Theory of Rectification, *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 136: 487-498 (1932).
- [12] Bardeen, J., Surface State and Rectification at a Metal-Semiconductor Contact, *Phys. Rev*, 71: 717-727 (1947).
- [13] Card, H.C., Rhoderick, E.H., Studies of Tunnel MOS Diodes I. Interface Effects In Silicon Schottky Diodes, *J.Phys.D: Appl. Phys*, 4 1589-1601 (1971).
- [14] Cheung, S., K., Cheung, N., W., Extraction of Schottky Diode Parameters From Forward Current-Voltage Characteristics, *Applied Physics Letters*, 49 85-87 (1986).

- [15] Cowley,A.M.,Sze, S.M., Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems, *J. Appl.Phys*, 36: 3212-3216 (1965).
- [16] Chattopadhyay, P., Sanyal, S., Capacitance-Voltage Characteristics of Schottky Barrier Diode in the Presence of Deep-Level İmpurities and Series Resistance, *Applied Surface Science*, 89:205-209 (1995).
- [17] Karteri, İ., Grafen Tabanlı Alan Etkili Transistörlerin Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 147s (2015).
- [18] Guidebook A., Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. (erişim tarihi: 31.01.2018) http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs295_web.pdf. (1989)
- [19] Usakli, A. B, Nükleer Radyasyon ve Nükleer Enerji Üzerine Bir İnceleme. 1-13. URL (erişim tarihi: 29.01.2018) wwww.researchgate.net/publication/285574569. (2011)
- [20] Baran. H. M., MOS Kapasitörün Elektriksel Özellikleri Üzerine Gama Radyasyonunun Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 49s (2015).
- [21] Baran. H. M., Silisyum Nitrat Arayüzey Yalıtkan Tabakalı Mıs Yapının Elektrik Ve Dielektrik Parametreleri Üzerine Gama Radyasyonunun Etkileri. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 134s (2016).
- [22] Karataş. Ş., Effect of series resistance on the electrical characteristics and interface state energy distributions of Sn/p-Si (MS) Schottky diodes, *Microelectronic Engineering*, 87: 1935–1940 (2010).
- [23] Yorito O., High-Frequency Power Applications Using Wide-Bandgap Semiconductors, *Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics)* 81: 54–61 (1998).
- [24] Chauhan R.K., P. Chakrabarti, Effect of İonizing Radiation on MOS Capacitors *Microelectron J.* 33: 197-203 (2002).
- [25] Sze S.M, *Physics of Semiconductor Devices*, Second ed., Wiley Press, *New York* (1981).
- [26] Umana G.A. -Membreno, J.M. Dell, G. Parish, B.D. Nener, L. Faraone, U.K. Mishra, ⁶⁰Co Gamma İrradiation Effects on n-GaN Schottky Diodes *IEEE Trans. Electron Dev.* 50: 2326-2334 (2003).

- [27] Uğurel E., Aydoğan Ş., Şerifoğlu K., Türüt A., Effect of 6MeV Electron İrradiation On Electrical Characteristics Of The Au/n-Si/Al Schottky Diode, *Mic.Eng.* 85: 2299-2303 (2008).
- [28] Singh V. Joung D. Zhai L. And Das S, Graphene Based Materials: Past, Present And Future, *Progress in Materials Science*, 56: 1178-1271 (2011).
- [29] Karataş Ş., Gül Aydın M., Özerli H., Illumination İmpact on Electrical Properties of Ag/0.6 Wt% Nanographene Oxide Doped Poly(Vinyl Alcohol) Nanocomposite/p-Si Heterojunction, *Journal of Alloys and Compounds*, 689: 1068-1075 (2016)
- [30] Tung R.T “Electron Transport of Inhomogeneous Schottky Barriers, *Journal of Applied Physics*, 70: 7403 (1991).
- [31] Tung R. T., Electron Transport At Metal-Semiconductor Interfaces General Theory, *Phys. Rev. B*, 45: 13509-13523 (1992).
- [32] Sullivan J.P., Tung R.T., Pinto M.R., W.R. Graham, Electron Transport Of Inhomogeneous Schottky Barriers: A Numerical Study, *Journal of Applied Physics*, 70: 7403-7424 (1991).
- [33] Karataş. Ş., Altındal, Ş., Türüt,A., Özmen, A., Temperature Dependence of Characteristics Parameters of The Terminated Sn/P-Si(100) Schottky Contacts, *Applied Surface Sciences*, 217 250-260 (2003)
- [34] Aydoğan Ş., İncekara Ü., Türüt A., The Effects of 12 Mev Electron İrradiation on The Electrical Characteristics of The Au/Aniline Blue/P-Si/Al Device, *Micro Electronics Reliability*, 51: 2216-2222 (2011).
- [35] Cheung S.K., Cheung N.W., Extraction of Schottky Diode Parameters From Forward Current-Voltage Chara Characteristics, *Appl. Phys. Lett*, 49: 85-87 (1986)
- [36] Norde H., A Modified Forward I-V Plot For Schottk Diodes With High Series Resistance, *Journal of Applied Physics*: 50: 5052-5055 (1979).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mehmet Emin FIRAT
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1987 ADIYAMAN
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (542) 425 86 01
e-posta : meminfirat@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	(KSÜ) Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2018
Lisans	(KTÜ) İnşaat Mühendisliği	2011

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	Ataşehir Belediyesi İstanbul	Kontrol Müh. (Yapı Kontrol Müd.)
2012-2015	Adıyaman Belediyesi	Kontrol Müh. (Fen İşleri Müd.)
2015-	Adıyaman İl Özel İdaresi	Kontrol Müh. (Su ve Kanal Hiz. Müd.)

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A. Uluslararası (SCII) hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. M.E. Fırat, H. Özerli, M. A. Taştan, Ş. Karataş., “Comparison of electrical characteristics of Sn/p-type Si structure at different temperatures and under irradiation” *Materials Today: Proceedings 00 (2018) 0000–0000 (In Press)*.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

2. M.E. Fırat, N. Taştan, H. Özerli, Ş. Karataş, “Comparison of electrical characteristics of Sn/p-type Si metal-semiconductor structure at different temperatures and under irradiation” International Congress on Semiconductor Materials and Devices" (ICSMD-2017), 17-19 August 2017, Selçuk University/Konya-Turkey, Page-118.
3. M. G. Aydın, H. Özerli, N. Taştan, M.E. Fırat, Ş.Karataş,“ The Electrical and Dielectric Properties of Ag/Graphene Oxide Doped Poly(Vinyl Alcohol) Nanocomposite/p-Si Structure” 3st International NANOSCIENCE & NANOTECHNOLOGY FOR NEXT GENERATION (NaNoNG-2016) Conference, 20-22 October 2016 Kemer, Antalya/TURKEY, Page 116.

Hobiler

Teknik ve doğa gezileri, fotoğraf çekmek, kitap okumak, spor yapmak, film izlemek.