



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK BOYA ARA TABAKALI
Al/Safranine T/n-TİPİ InP MIS EKLEMLERİN
ELEKTRİKSEL VE ARAYÜZEY
ÖZELLİKLERİ**

Hilal AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

**MAYIS-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hilal AYDIN tarafından hazırlanan “ORGANİK BOYA ARA TABAKALI Al/Safranine T/n-TİPİ InP MIS EKLEMLERİN ELEKTRİKSEL VE ARAYÜZEY ÖZELLİKLERİ” adlı tez çalışması 03/ 05/ 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Sezai ASUBAY

Danışman

Doç. Dr.Ömer GÜLLÜ

Üye

Doç. Dr. Osman PAKMA

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin IŞCAN
FBE Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Hilal AYDIN

Tarih: 03/ 05 / 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORGANİK BOYA ARA TABAKALI Al/Safranine T/n-TİPİ InP MIS EKLEMLERİN ELEKTRİKSEL VE ARAYÜZEY ÖZELLİKLERİ

Hilal AYDIN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ

2019, 76 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Sezai ASUBAY

Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ

Doç. Dr. Osman PAKMA

Bu çalışmada; [100] doğrultusunda büyütülmüş, 300 μm kalınlıkta, donör konsantrasyonu $1-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan ve bir yüzü parlatılmış n-InP yarıiletkeni kullanıldı. Uygun kimyasal temizleme işleminden sonra yarıiletken kristalin alt yüzüne In omik kontak yapıldı. Üst yüzüne Safranine T boyası metanol çözeltisi (0.2'lik) ile kaplandıktan sonra organik tabakanın da üst yüzeyine alt kontak yapıldı.

İmal edilen Al / ST / n-InP Schottky diyotun elektriksel ve arayüzey özellikleri, oda sıcaklığında karanlık ve ışık altında akım-gerilim (I-V) ölçümü ve 100 kHz'lik adımlarla 100-900 kHz frekans aralığında kapasite-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) özellikleri araştırılmıştır.

Bariyer yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) gibi bazı parametreler, düz beslem I-V verisi kullanılarak modifiye Norde fonksiyonundan ve Cheung fonksiyonlarından elde edilmiştir. Diyotun arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) de hesaplanmıştır.

Ortaya çıkan yapı mükemmel doğrultucu özelliklere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Bariyer Yüksekliği, InP, MIS, Safranine T, Seri Direnç, Schottky Diyot

ABSTRACT

MS THESIS

ELECTRICAL AND INTERFACIAL PROPERTIES OF THE Al/Safranine T/n- TYPE InP MIS JUNCTIONS WITH ORGANIC DYE INTERLAYER

Hilal AYDIN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN PHYSICS**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

2019, 76 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Sezai ASUBAY

Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

Assoc. Prof. Dr. Osman PAKMA

In this study, the [100] direction is enlarged in a thickness of 300 μm , the donor concentration $1 - 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, and a face-polished n-InP semiconductors was used. After appropriate chemical cleaning process, the semiconductor crystal of the lower face funny In contact was made. Methanol upper face Safranine T dye solution (0.2%) is covered with the organic layer to the upper surface of the lower contact was made.

Manufactured Al/ST/n-InP Schottky diodes electrical and surface properties at room temperature in the dark and the light, under the current-voltage (I-V) in the frequency range 100-900 kHz with 100 kHz steps measurement and capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage their properties were investigated.

The barrier height (Φ_B) and series resistance (R_s), some parameters such as, plain feed, the I-V data were obtained from Cheung functions and modified using the Norde function. Diode interface state density (N_{ss}) were also calculated.

The resulting structure has the characteristics of a perfect rectifier.

Keywords: Barrier Height, InP, MIS, Safranine T, Series Resistance, Schottky Diode

ÖNSÖZ

Yarıiletken diyetler, teknolojinin her alanında kullanılan üzerinde çokça çalışma yapılabilecek cihazlardır. Yarıiletken teknolojisi veri aktarım ve depolama alanının yanında enerji üretiminde de geniş bir alan bulmaktadır. Yarıiletken teknolojinin gelişime açık ve geniş çalışma alanına sahip olmasından dolayı, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Al/Safranine T(ST)/n-InP MIS yapılı diyetun arayüzey elektriksel karakterizasyonu farklı frekans, gerilim altında karanlık ve ışık ortamında yapılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında bana sabırla ve içtenlikle katkı sunan danışmanım Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ hocama teşekkür ediyor ve minnetlerimi sunuyorum.

Çalışmalarında verilerin hesaplanmasında, analiz ve yorumlanmasında samimiyetle destek sunan Arş. Gör. Dr. Enise ÖZERDEN hocama teşekkür ediyorum.

Son olarak, bu tez çalışması sürecinde bana anlayış gösteren eşim ve çocuklarıma şükranlarımı sunarım.

Hilal AYDIN

BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER.....	xi
ÇİZELGELER	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması	3
2. TEORİK BİLGİ.....	11
2.1. Metal – Yarıiletken (MS) Kontakların Yapısı	11
2.2. n-Tipi Yarıiletken Kontakların Yapısı	12
2.2.1. n-Tipi doğrultucu kontak yapısı.....	15
2.2.2. n-Tipi kontak yapısı	19
2.3. Metal - İletken – Yalıtkan (MIS) Kontakların Yapısı.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Çalışmada Kullanılan Maddelerin Özellikleri	24
3.1.1. InP özellikleri.....	24
3.1.2. Safranine T özellikleri	26
3.1.3. Al özellikleri	26
3.2. Diyotun Hazırlanması	27
3.3. Yarıiletkenlerin Akım-Gerilim (I-V) Özellikleri	30
3.3.1. Engel yüksekliği	30
3.3.2. Seri direnç	31
3.3.3. Norde fonksiyonu	32
3.3.4. Cheung fonksiyonu	34
3.4. Yarıiletkenlerin Kapasite - Gerilim (C-V) Özellikleri.....	35
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Elde Edilen Bulgular.....	41
4.1.1. Akım – gerilim karakteristikleri	41
4.1.2. Kapasite – gerilim karakteristikleri.....	48

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
5.1 Sonuçlar	54
5.2 Öneriler	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Diyotun etkin alanı
A^*	: Richardson sabiti
C	: Kapasite
d	: Uzay yükü bölgesinin genişliği
E_c	: İletkenlik bandının tabanı
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_v	: Değerlik bandının tavanı-Kenar enerjisi
E_i	: Saf Enerji Seviyesi
eV	: Elektron volt
e	: Elektron yükü
ϵ_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
ξ	: Elektrik alan
ϕ_B	: Schottky engel yüksekliği
ϕ_m	: Metalin iş fonksiyonu
ϕ_{mn}	: n-Tipi yarıiletken iş fonksiyonu
ϕ_{ms}	: Metalin-Yarıiletken iş fonksiyonu
ϕ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	: Yarıiletkenin elektron ilgisi
I_0	: Ters beslem akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
J	: Akım yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti
n	: İdealite faktörü
N_a	: Alıcı (akseptör) konsantrasyonu
N_c	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu
N_d	: Verici (donor) konsantrasyonu
N_{ss}	: Arayüzey hal yoğunluğu
R_s	: Seri direnç

T	: Mutlak sıcaklık
W, W_d	:Tüketim tabakasının kalınlığı
V_n	:Yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki fark
V_{dif}, V_d	: Difüzyon potansiyeli
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
V	: Uygulanan potansiyel
V_{yi}	: Yarıiletken gerilimi
V_y	: Yalıtkan gerilimi
V_F	: İleri beslem gerilimi
V_R	: Geri beslem gerilimi
Ω	: Direnç birimi
γ	: Norde yönteminde bir sabit
δ	: Arayüzey tabakanın kalınlığı

Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım-beslem
C- V	: Kapasite- gerilim
C- F	: Kapasite- frekans
G- V	: Kondüktans- gerilim
G- F	: Kondüktans- frekans
I-V	: Akım- gerilim
InGaAs	: İndiyum Galyum Arsenik
InGaAsP	: İndiyum Galyum Arsenik Fosfor
n- InP	: n tipi indiyum fosfat
MS	: Metal- Yarıiletken kontak
MIS	: Metal- Yalıtkan- Yarıiletken kontak
PPy	: Polipirol
PL	: Fotoluminesans
ST	: Safranin T

ŞEKİLLER

Şekil 2. 1 Omik kontak şematik gösterimi.....	12
Şekil 2. 2 Enerji bantları (a) İletken ($E_g < 0.05\text{eV}$) , (b) Yarıiletken ($0.7\text{eV} < E_g < 1,4\text{eV}$) , (c) Yalıtkan ($E_g > 8\text{eV}$).....	13
Şekil 2. 3 n-tipi yarı iletkenin bağ modeli	14
Şekil 2. 4 Bir yarıiletken n-tipi yapıldıktan sonraki bant diyagramı.....	14
Şekil 2. 5 Metal/n-tipi yarıiletkenin kontak öncesi enerji-band diyagramı (sze, 1981)..	15
Şekil 2. 6 Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak oluşturulduktan sonra denge durumu enerji-band diyagramı (Sze, 1981)	16
Şekil 2. 7 Metal ile yarıiletken arasında arayüzeyde oluşan elektriksel alan.....	16
Şekil 2. 8 Termal denge durumunda metal /n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak enerji- band diyagramı. (b) İleri beslem durum (c) Ters beslem durum (Sze, 1981).....	18
Şekil 2. 9 Metal/n-tipi yarıiletken omik kontak elektron enerji-band diyagramı. (a) Kontak öncesi maddeler; (b) termal dengede kontak; (c) negatif beslemde kontak (d) pozitif beslemde kontak (Sze, 1981).....	20
Şekil 2. 10 MIS (Metal/Yalıtkan/iletken) diyotun şematik gösterimi	21
Şekil 2. 11 İdeal bir MIS yapının ($V = 0$) geriliminde enerji-band diyagramı (a) p-tipi yarıiletken , (b) n-tipi yarıiletken.....	22
Şekil 3. 1 InP yarıiletkeninin Zinc-Blend yapısının şematik gösterimi.....	24
Şekil 3. 2 Safranin T (ST) molekül yapısı	26
Şekil 3. 3 Al/ST/n-InP diyotunun şematik gösterimi.....	28
Şekil 3. 4 KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile Organik arayüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık (ışık gücü 100 mW/cm^2) ve Karanlık ortamda ölçüm düzeneği	28
Şekil 3. 5 KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık (gücü 100 mW/cm^2) ve Karanlık ortamda alınan ölçümler	29
Şekil 3. 6 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında 100 mW/cm^2 gücünde solar simülatörü ile ölçüm düzeneği.....	29
Şekil 3. 7 Seri direncin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi.....	31
Şekil 3. 8 Metal n-tipi yarıiletken yapılarda doğrultucu diyotun; a) Potansiyel dağılımı, b) Yük dağılımı.....	36
Şekil 3. 9 Ters beslem uygulanan Schottky diyot için; (a) Uzaklığa bağlı band diyagramı , (b) uzaklığa bağlı yük yoğunluğu, (c) Uzaklığa bağlı elektrik alan...	38

Şekil 4. 1 Organik ara yüzeysiz Al/n-InP referans ve organik arayüzeyle Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında I-V grafikleri.....	42
Şekil 4. 2 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık ve Karanlık ortam I-V grafikleri (ışık gücü 100 mW/cm^2).....	43
Şekil 4. 3 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $dV/d(\ln(I) - I)$ grafiği	44
Şekil 4. 4 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $H(I)-I$ grafiği	45
Şekil 4. 5 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Norde Fonksiyonlarından elde edilen $F(V)-V$ grafiği.....	46
Şekil 4. 6 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Norde Fonksiyonlarından elde edilen $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafiği.....	47
Şekil 4. 7 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında C-V grafikleri	49
Şekil 4. 8 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $1/C^2-V$ grafiği	49
Şekil 4. 9 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Difüzyon potansiyeli-Frekans grafiği	50
Şekil 4. 10 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Engel Yüksekliği-Frekans grafiği	51
Şekil 4. 11 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Nd-f grafiği .	51
Şekil 4. 12 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Fermi enerji seviyesi-Frekans grafiği.....	52
Şekil 4. 13 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Kondüktans-Gerilim grafiği	53

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1 İletken, yarıiletken ve yalıtkanların cm^3 hacimde serbest elektron sayısı ...	12
Çizelge 3. 1 InP yarıiletkeninin bazı kimyasal, elektriksel özellikleri	25
Çizelge 3. 2 Oda sıcaklığında Alüminyum metalinin bazı özellikleri	27
Çizelge 4. 1 Al/ST/n-InP diyotundan alınan ölçümlerin Cheung ve Norde fonksiyonlarından elde edilen diyot parametreleri	47
Çizelge 4. 2 Al/ST/n-InP diyotundan alınan ölçümlerin Kapasite-gerilim grafiklerinden elde edilen diyot parametreleri	48

1. GİRİŞ

Katı hal fiziğinin en önemli ilgi alanlarından biri Yarıiletken teknolojisidir. Yakın zamanda daha da yoğunlaşmak üzere metal-yarıiletken (MS), metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) kontaklar ile metal-oksit yarıiletken yapılar (MOS), yarıiletken teknolojisinde ve optoelektronikte kullanılmaktadır (Sze, 1981, Champbell, 1996).

MS yapıda metal ile yarıiletken arayüzeyine bir yalıtkan tabaka konularak elde edilen MIS yapıdaki yalıtkan arayüzey tabakanın diyot parametrelerini belirgin biçimde etkilediği, verimi arttırdığı anlaşılmıştır (Wu, 1980).

Engel yüksekliği metal ile yarıiletken arasına yalıtkan bir tabaka yerleştirilerek değiştirilebilen bir parametredir. Bu yalıtkan tabaka sayesinde metal ile yarıiletken birbirinden ayrılmış olur ve aralarında yük geçişleri ayarlanabilir. Yarıiletkendeki arayüzey durumları yarıiletkenin Fermi seviyesi ile belirlenir (Cowley ve Sze,1965).

MIS yapının, performans, doğruluk, kararlılık gibi özelliklerine etki eden arayüzey durumları, MS yapınıninkine göre daha azdır. MIS yapıya uygulanan gerilimi arayüzey yalıtkan tabaka, tüketim tabakası ve seri direnç paylaşmaktadır (Rhoderick, 1988).

Yalıtkan arayüzey tabakasının, MS kontakların elektriksel özelliklerinin ve fiziksel parametrelerinin üzerinde güçlü bir etkisinin anlaşılması ile MIS yapılarla ilgili çalışmalar yoğunlaşmış ve MIS yapıların kullanım alanları artmıştır (Singh ve ark.,1990)

MS kontaklar üzerinde oluşan potansiyel engelin oluşumu için ilk modeli Walter H. Schottky (1938) geliştirmiştir.

MIS kontakların elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasında kullanılan arayüzey malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kontakların arayüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü akım-gerilim karakteristiği vb. birçok parametreyi etkiler (Fonash, 1975; Northrop, 1978; Rhoderick, 1982).

Yakın zamanda birçok araştırmacı Schottky kontağın elektriksel özelliklerini tam olarak açıklayabilmek için yaptıkları çalışmalarda arayüzey malzemesi olarak organik malzeme kullanılmaktadır (Aydoğan, 2004; Güllü, 2008, 2010; Gupta 2004, 2005,2011; Yahia, 2011 ve diğer araştırmacılar ve ark.).

Elektrominesans cihazları ve foto detektörler için yararlı olan organik / inorganik diyotların başarılı bir şekilde üretilmesi gerçekleştirilmiştir (Özerden, 2014).

Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri, Schottky diyotunun bazı önemli parametrelerini belirlemek için kullanılan kirlilik yükseklikleri, bariyer yükseklikleri ve Fermi enerji seviyeleri gibi en popüler elektriksel ölçüm tekniklerinden biridir.

Düşük maliyet, esneklik ve kolay süreç teknikleri sayesinde organik bileşikler tercih edilmektedir, Yarıiletken üzerindeki organik ince film, MS kontakların elektronik özelliklerini değiştirir.

Campbell ve ark., yarı iletken / organik arayüzde kontrollü bir dipol tabakası oluşturmak ve böylece etkili Schottky bariyer yüksekliğini değiştirmek için organik ince film kullanmıştır.

Metal/yarıiletken kontakların oluşum mekanizmaları ile ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen, açıklanması gereken önemli problemler vardır.

Bunlar;

- Yarıiletken yüzeyinin metalizasyondan önce temizlenmesi,
- Metalizasyon işlemlerinde kullanılan yöntemler ve metal etkisi,
- Kullanılan ölçüm tekniklerinde ortaya çıkan sonuçlardaki farklılıklar ve
- Teknolojik uygulamalarda ortaya çıkan devre elemanlarının boyutları ile ilgili problemlerdir.

Bu çalışmada, Al/ST/n-InP organik-inorganik cihaz, bir n-InP yarı iletken üzerinde bir ST ince film oluşturularak imal edilmiştir. Ortaya çıkan yapı mükemmel rektifiye edici özelliklere sahiptir.

Al/ST/n-InP Schottky diyotun elektriksel ve arayüzey özellikleri, cihazın oda sıcaklığında akım-gerilim (I-V) ölçümü kullanılarak belirlenmiştir. Işık kaynağı olarak ışık gücü 100 mW/cm^2 olan güç kaynağı kullanıldı. Ölçümler oda sıcaklığında alındı.

Çalışmada 100 kHz'lik adımlarla 100-900 kHz frekans aralığında Al/ST/n-InP yapısının kapasitans-gerilim (C-V) özellikleri araştırılmıştır.

Bariyer yüksekliği (ϕ_B) ve seri direnç (R_s) gibi bazı parametreler, ileri I-V verisi kullanılarak modifiye Norde fonksiyonundan ve Cheung fonksiyonlarından elde edilmiştir. Diyotun arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) de hesaplanmıştır.

1.1. Kaynak Araştırması

Yakın birkaç on yıl daha da artmak üzere, yarıiletken teknolojisi ve optoelektronik malzemelerin elektrik ve optik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar bir kısmı aşağıya çıkarılmıştır.

Ziel (1968); Schottky diyot uygulamalarında I-V karakteristiklerinin ideal yapıdan kaymaya neden olabilecek nedenlerde en önemli iki tanesini, arayüzey tabakasının varlığı ve seri direnç etkisi olarak bildirilmiştir.

Lile ve ark. (1976); 1%'lik Etil alkolde bir sodyum salisilat çözeltisi içinde InP'ın ıslak kimyasal anodik oksidasyonunun yüksek kalitede bir dielektrik tabakanın büyümesi ile sonuçlandığı gördüler. Aynı çalışmada kapasitans-gerilim (C-V) değerlerinin 1 MHz'lik ölçümünde diyotun görünür band boşluğunda yüzey durum yoğunluğunu $3-4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ olarak ölçtüler.

Wada ve ark. (1978); n-InP altlık üzerine oksit ara tabakalı Au kaplanmış diyotun oksit tabakanın kalınlığına ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak bariyer yüksekliğini $\phi_B = 0.75 \text{ eV}$, idealite faktörünü de $n = 1.04$ olarak ideal bir değer olarak ölçtüler.

Norde (1979); İdeal bir Schottky diyotun minimum bir noktadan geçen gerilime bağlı seri direncinin hesaplanması için $F(V)$ fonksiyonu tanımlamış, fonksiyonun minimum noktası vasıtasıyla seri direnç ve engel yüksekliğinin hesaplanmasını sağlayan bir yöntem geliştirdi.

Favennec ve ark. (1979); n-InP tabaka üzerine Al_2O_3 kaplamayla elde ettikleri MIS yapının ideal koşullarda alınmış kapasite-gerilim (C-V) ölçümlerinden diyotun arayüzey durum yoğunluğunun $N_{ss} = 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ değerine düşürülebileceğini gösterdiler.

Wu (1980); n ve p-tipi yarıiletken yapıdaki Schottky diyotların yüzey yükü ve arayüzeye düşen gerilimi dikkate alarak, Cowley ve Sze'nin arayüzey tabaka ile ilgili teorisini geliştirerek, sabitleşmiş pozitif yüzey yükteki artışın potansiyel engelini azalttığını, arayüzey tabakasına düşen gerilimin de ileri beslemde I-V karakteristiklerinden elde edilen idealite faktörünü yükselttiğini buldular.

Kamimura ve ark. (1980); InP (MIS) diyotlarla yaptıkları çalışmada; bariyer yüksekliğinin atmosfer oksidasyonu ile arttığını, oksidasyon süresinin yüzeylerin brom sıvısıyla yıkanmasıyla azaldığını gözlemişlerdir. n-InP diyotlar için açık devre fotogerilimi 0.59 V, maksimum enerji dönüşüm verimliliği de %6.9 ölçülmüştür.

Ando ve ark. (1981); n-InP Schottky ve MIS diyotlarında fotolüminesans (PL) yoğunluğunun yüzey bandı bükme etkilerini incelediler. n-InP için PL yoğunluğunun yanlılık eğrisi, büyük yüzey rekombinasyon hızına sahip Si, Ge ve GaAs için elde edilenlerden oldukça farklı olduğu görüldü. n-InP'de ileri ve geri beslem gerilimlerin uygulanmasıyla PL yoğunluğunun arttığı gözlemlendi. MIS diyotlarında, ileri beslem gerilim düz bant geriliminden yüksek olduğunda PL yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir.

Chattopadhyay ve Daw (1986); İdeal olmayan MIS Schottky diyotların I-V ve C-V karakteristikleri üzerinde çalışıp, engel yüksekliği ile oksit tabakasının kalınlığı arasındaki ilişkinin Cowley ve Sze tarafından (1965) öne sürülen yüzey halleri ve engel yüksekliği modeline uygun olduğunu buldular.

Cheung ve Cheung (1986); Düz beslemde I-V karakteristiklerinin doğrusal fonksiyonlar şeklinde ifade edilmesiyle Schottky diyot parametrelerinin belirlenebileceği yeni bir metot geliştirdiler. Bohlin (1986) bu yöntemin doğruluğunu deneysel olarak ispatlamıştır.

Morgan ve ark. (1978); Yaptıkları çalışmalarda, n-InP yarıiletken altlık üzerine Au kontak yaparak diyot imal ettiler. Biri ısıtılmış yüzey diğeri ısıtılmamış yüzeyler üzerinde iki farklı diyot ürettirler. Isıtılmış yüzeylerde hazırlanan Schottky diyotların engel yükseklikleri farklı yöntemlerle ölçülmüş ve ölçümlerin birbirleri ile uyumlu olduklarını gördüler. Bu durumun daha önce yayımlanmış çalışmalarla uyumlu olduğunu gördüler. Ancak ısıtılmamış yüzeylerde yapılan Schottky diyotlar birbirleri ile uyumlu sonuçlar göstermediğini sonucuna vardılar (Çelik, 2006).

Montgomery ve ark. (1982); yaptıkları çalışmada, InP Schottky diyotunun metal ile yarıiletken arasında kalan suyun Schottky potansiyel engelini yaptığı etkiyi incelediler. InP üzerine hazırlanan Schottky diyotunda yüzeyler arasında bulunan suyun diyotun iletim özellikleri üzerinde etkili olduğunu gözlemlediler.

Tuck ve ark. (1982); Çalışmalarında, Al kalaylanmış n-InP ile hazırlanmış Schottky diyotlar kullanarak, bariyer engelini incelediler. Schottky diyotları vakumlu ortamda Al/ n-tipi yarıiletkeni üzerinde kalaylanması ile ürettirler. Bu diyotlarla yaptıkları çalışmada I-V, C-V ve ışık akımının ölçümlerini aldılar. Akım ölçümlerinin oda sıcaklığı koşulunda ideal faktörünün (n) değerinin 1'e yakın olduğu gördüler. Oda sıcaklığının altındaki sıcaklıkta ölçümlerinde, n idealite faktörünün arttığı gözlemlediler. Kapasitans ölçümlerinde ise iletkenlik bandının 1 eV altında verici (donor) tuzasına rastladılar. Yaptıkları bütün ölçüm tekniklerinin sonunda, Schottky diyot engel yüksekliğini 0,5 eV olarak elde ettiler. Engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi

$4.10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ eV}$ olarak elde ettiler. Böylece ulaşılan sonuç ta InP band aralığının sıcaklık değişimine çok yakın olduğu bir değerdir.

Eftekhari ve ark. (1983); Çalışmalarında, n-InP yarıiletken altlık üzerine yalıtkan ve metal ince filmini elde ettiler. Metal ve yalıtkan oksit filmi anodisation yöntemini kullanılarak hazırladılar. Deneysel çalışmada yaptıkları oksit film kalınlığı 44-110 Å aralığındadır. I-V ve C-V ölçümleri 150-350 K sıcaklık değerleri arasında alındı. İki ölçümdeki akım değerinin, MIS teorisi ile karşılaştırıldı ve buradan elde edilen sonuçlarla yarıiletkendeki engel yüksekliği hesaplandı. Hesaplanan engel yükseklik değerleri beklenenden daha küçük değerlerdi.

Maaref ve Barret (1990); Au, Ag, Al ve Pd, n-InP diyot yapılarını çok yüksek vakum ortamında hazırlayarak, bu yapıların elektrik ve elektronik karakteristiklerini incelediler. Bu diyotlarda I-V, C-V ve Schottky Kapasitans Spektroskopisi üzerine çalıştılar. Yarıiletken yüzeyine hazırlanan metallerin oluşma kapasitesine göre veriler elde ettiler. Elde ettikleri verilerle Schottky bariyer yüksekliklerini Al için 0.37 eV, Au ve Pd için 0.41 eV, Ag için 0.54 eV olarak hesapladılar. Schottky kapasitans spektroskopisi içerisinde de iki tane karakteristik durum bulundu. Bunlar $E_c=0.25 \text{ eV}$ ve $E_c=0.37 \text{ eV}$ değerleridir.

Gaonach ve ark. (1990); yaptıkları çalışmalarda, MOCVD yöntemi ile ürettikleri n-InP üzerine Schottky diyotlarını hazırlayarak bu diyotları incelediler. Bu diyotlarla yaptıkları çalışmada I-V ve C-V ölçümlerini yaparak kontak davranışlarını geliştirmek çalıştılar. En ideal diyotlarının bariyer yüksekliğini $0.58 \pm 0.2 \text{ eV}$ olarak ölçmüş ve n idealite faktörünü 1,03 bulmuşlardır.

Shi ve Anderson (1991); yaptıkları çalışmada geliştirilmiş yüzey temizleme teknikleri kullanılarak imal ettikleri Al, Ni, Au ve Pd Schottky temaslı metal yalıtkan-InP diyotlarında oksidasyon tabakasında reaktif Al ve Ni metallerin kullanımında, oksidin azalması ve InP ile reaksiyona girmesi nedeniyle düşük bir bariyer yüksekliği ölçtüler. Reaktif olmayan Au ve Pd metallerin kullanıldığı diyotlarda yüksek bir bariyer yüksekliği ölçmüşlerdir..

Lee ve ark. (1993); n-InP yarıiletkeni yüzeyine yaptıkları Au-InP diyotun ters beslemde I-V karakteristiklerini üzerinde çalışmalar yaptılar. I-V ölçümlerini 230 K – 290 K arasında aldılar. Hazırladıkları yapıyı tanımlamak için Termoiyonik Alan Emisyon Teorisini kullandılar. I-V ölçümlerinden bu yapı ile elde edilen bant aralık değeri daha önceki bilinen yapılardan alınan değerle uyumlu olduğunu gözlemlediler.

oda sıcaklığında engel yüksekliğini 0.68 ± 0.05 eV ve InP'ın seri direncini $R_s = 1.32 \times 10^7 \Omega$ olarak hesapladılar.

Clausen ve ark. (1993); yüksek etkili Schottky diyotlarını n-InP üzerine kalay (Sn) kullanılarak hazırladılar ve hızlı termal uygulamasına tabi tuttular. Yüzey engel diyotları farklı Zn miktarları kullanılarak Zn'lar hızlı termal kalaylama sistemi ile düşük sızıntı akımı elde etmek için kullanıldı. Bu diyotlar hazırlandığında çok ince bir Cr tabakası Zn ile InP arasına yerleştirildi. Bunu tercih etmelerinin nedeni Cr' un P ile çok iyi kaynaşması ve n-InP tabakası üzerinde düşük etkili bariyerler oluşturmaya idi. Aynı bariyer diyotlarından Au/Cr/Zn /Au/InP diyotlarının I-V karakteristiklerinden bariyer yüksekliği 1.23 eV olarak ölçülmüştür. Bu sonuç ile yüzeyin yüksek etki bariyer yüksekliği ile tamamen kaplı olmadığını, düşük etkili bariyer yüksekliğinin de olduğunu göstermişlerdir.

Sing ve ark. (1994); Au buharlaştırma metoduyla p-InP yarıiletkeni üzerine Schottky diyotu hazırladılar. Hazırladıkları diyot üzerinde 220 K – 393 K aralığında I-V ve C-V ölçümlerini yaptılar. Bu sıcaklık değerinde I-V grafiklerinden yararlanılarak bariyer yükseklikleri hesapladılar.

Ouennoughi ve ark. (1994); Au/n-InP Schottky diyotları ve çok kutuplu plazma oksit yöntemiyle elde ettikleri MIS Schottky diyotların değişik sıcaklıklarda I-V karakteristiklerini ölçtüler. Ölçümlerini önerilen yeni iletkenlik tekniklerini araştırmak için kullandılar. Deneysel veriler, bu tekniği temel alarak, analiz edildi. Bu tekniğe göre R_s direnç değerleri n idealite faktörü ve bunların yardımıyla elde edilen I_s doyum akımı elde edildi. MIS Schottky diyotlarında bariyer yüksekliğinin sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlemlendi.

Nathan ve ark. (1996); Schottky engel yüksekliğini ve idealite faktörünü sıcaklığa bağlı olarak ölçtüler. İdealite faktörünün sıcaklıkla azaldığını ve I-V engel yüksekliğinin sıcaklıkla arttığı sonucuna vardılar.

Newman ve ark. (1998); atomik temizliği yapılmış havaya maruz bırakılmış n-InP altlık üzerine yaptıkları metal kaplamada Schottky diyotların akım-gerilim (I-V) ölçümlerinde bariyer yüksekliğini Ni, Al, Sn, Mn için 0.33 eV, Pd, Cu, Au, Cr için 0.43 eV ve Ag için 0.54 eV olarak ölçtüler. Sınırlı miktarda veriye dayanan daha önceki raporların aksine, yaptıkları çalışmanın sonuçlarında, kimyasal reaktivite ile Schottky bariyer yüksekliği arasında basit bir ilişki göremediler. Temiz yüzeylerde hazırlanan diyotların elektriksel özellikleri ile havaya maruz kalan yüzeylerde hazırlananlar arasındaki büyük farklar da bulunamadılar.

Tung ve ark. (2001); aynı koşullarda üretilmiş diyotlar için engel yüksekliği ve idealite faktörü arasındaki ilişkiyi I-V ve C-V karakteristikleri yardımıyla teorik olarak incelediler. Engel yüksekliği ve idealite faktörü arasında lineer bir ilişkinin olduğunu ortaya koydular. Bunu da engel yüksekliği inhomojenitesiyle açıkladılar. İdealite faktörü arttıkça engel yüksekliği küçülecek, bu da engel yüksekliğinin yanal inhomojenitesinin ve yanal arayüzeylerin bir sonucu olarak ortaya çıktığını gösterdiler.

Smit ve ark. (2002); Çok küçük boyutlarda hazırlanmış Schottky diyotlarında, Schottky engel yüksekliğinin diyot boyutları ile ilişkisini incelemiş ve engel kalınlığının diyot boyutları ile doğru orantılı olduğunu gözlemiştir.

Aydoğan (2004); polypyrrole arayüzey maddesi ile elde ettiği Sn/Polypyrrole(PPy)/n-Si/Au-Sb diyotunun I-V, C-V ve C-f ölçümlerini farklı sıcaklıklarda diyotun elektriksel parametrelerini inceledi. Engel yüksekliğinin kullanılan arayüzey nedeniyle ideal durumdan uzaklaştığını gözlemiştir. Arayüzey durumlarının akım iletim parametreleri üzerinde sıcaklık etkisini inceledi.

Çetin ve ark. (2005); Au/n-InP Schottky bariyer diyotlar hazırlayarak bu yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel parametrelerini incelediler. Çalışmalarında yarıiletkenin üzerine Au kalaylama yöntemiyle yaptıkları Schottky diyotunun I-V ve C-V ölçümleri 80 K – 320 K aralığında aldılar. İleri beslem I-V karakteristiği standart termoiyonik emisyon teorisi ile analiz edilmiş ve engel yüksekliği Gauss dağılımı ile hesaplanmıştır. Termoiyonik emisyon teorisi referans alınarak sıcaklığın artması ile birlikte bariyer yüksekliğinin arttığı bunun da idealite faktörünü azalttığı sonucuna varılmıştır.

Çelik (2006); tez çalışmasında n-InP yarıiletken yüzeyine gümüş (Ag) ile yapılan Schottky diyotun kapasitesinin artan gerilimle azaldığını gözlemlemiştir.

Güllü ve Türüt (2008); yaptıkları çalışmada p-InP altlık yapısı üzerine Quercetin tabaka imal ederek elde ettikleri Quercetin/p-InP solar pil hücresinin oda şartlarında I-V ve C-V ölçümlerini alarak diyotun schottky bariyer yüksekliğini, idealite faktörü ve taşıyıcı yük konsantrasyonunu hesapladılar. Ölçümlerini ileri belsemde ve karanlık ortamda alarak $\phi_B = 0.75$ eV, idealite faktörünü $n = 3.20$ ve hareketli taşıyıcı yük konsantrasyonunu $3.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olarak elde ettiler. Işık altında alınan ölçümlerle elde edilen diyotun fotovoltaiik özellik taşıdığı sonucuna vardılar.

Güllü ve ark. (2008); Al/ST/n-Si/AuSb diyotun I-V, C-V ve C-f ölçümlerini oda sıcaklığında ölçtüler. 0.78 eV bariyer yüksekliği ve idealite faktörü değerleri ve ileri beslem gerilimde potansiyel engel yüksekliğini, bilinen bir Al/n-Si'un 0.50 eV bariyer

yükseklik değeri ile karşılaştırdılar. Engel yüksekliğinin ST organik film nedeniyle değiştiği sonucuna vardılar. Ayrıca Yüksek frekanslarda kapasitansın azaldığını düşük frekanslarda kapasitansın arttığını gözlemlediler.

Kanbur (2008); doktora çalışmasında Al/p-Si diyotun $V_F=2V$ değerine kadar literatüre uygun olarak akımın sıcaklıkla arttığını, $V_F=2V$ değerinden sonra akımın sabit ve sıcaklıktan bağımsız kaldığını gözlemiştir.

Güllü ve ark. (2010); Congo Red (CR) arayüzeyi kullanarak elde ettikleri Al/Congo Red=CR/p-Si (MIS) diyotun akım doğrultucu özelliğinin olduğunu gözlemlediler. Organik arayüzeyli diyot üzerine yapılan bu çalışmada, referans Al/p-Si diyotunun engel yüksekliği $\phi_B = 0.5$ eV ölçülmüş olmasına karşın çalışılan Al/CR/p-Si yapıda engel yüksekliği $\phi_B = 0.75$ eV olarak bulunmuştur. Bu durumun CR arayüzeyinin Si'un uzay yükü üzerindeki etkisine atfedilmiştir. Aynı çalışmada diyotun arayüzey hal yoğunluğu da $N_{ss}=1.24 \times 10^{13} - 2.44 \times 10^{12}$ eV⁻¹cm⁻² aralıklarında ölçülmüştür. Buaralıktaki değerlerde literatüre uygundur.

Güllü (2010); Al/n-InP metal-yarıiletken kontaklar üzerine biyopolimer DNA moleküllerinin diyotun elektriksel özelliklerini etkilediğini ve uzay yük bölgesinde düzeltmeler yaptığını, DNA'nın diyotun bariyer yüksekliğini de 0.87eV arttırdığını görmüştür.

Ocak ve ark. (2010); yaptıkları çalışmada metanoldeki Mn hexaamide (MnHA) çözeltis kullanarak elde ettikleri MnHA/n-Si yapısı üzerine Au, Ag, Al, Cu, Cr, Ga, Pb, Sn gibi metaller kaplayarak metal/MnHA/n-Si kontak yapılarını imal ettiler. Ölçümlerinde bu yapıların akım doğrultucu özelliğinin olduğunu gözlemlediler. Elde edilen diyotun fotovoltaiik özelliklerini incelemek için de ışık altında akım gerilim ölçümlerini de aldılar.

Reddy ve ark.(2011); PD/Ti/n-InP Schottky bariyer diyotlarının özelliklerini, 40 K basamaklarla 160-400 K sıcaklık aralığındaki bariyer Yüksekliklerini ve schottky kontağının idealite faktörlerini , 160 K'de 0.63 eV (I-V), 0.61 eV (C-V), 400 K'de 0.35 eV (I-V), 0.73 eV (C-V) aralığında bulunduğunu, sıcaklığın azalması ile bariyer yüksekliğinin ve idealite faktörünün arttığını gözlemlediler. Bu çalışmada alışımda İleri beslem I-V özelliklerinden seri direncin (R_s) hesaplanan değerinin sıcaklık artışı ile azaldığını gözlemlediler. Çalışmada Pd/Ti Schottky diyot için yaklaşık 5 eV homojen bariyer yükseklik değeri sıcaklığa bağlı deneysel olarak etkili bir bariyer yükseklikleri ve idealite faktörleri arasında doğrusal bir ilişki elde edildi.

Güllü ve ark. (2012); ürettikleri Rhodamine-101 (Rh-101) arayüzeyli Au/ Rh-101/n-InP yapının için I-V ölçümlerinden schottky bariyer yüksekliğini ideal diyota göre daha yüksek olan $\phi_B=0.88$ eV değerinde hesapladılar. Diyotun bu şekilde ideallikten sapmasının kullanılan Rh-101 arayüzeyin durumlarına bağlı olduğu sonucuna vardılar. Aynı diyotun C-V ölçümleri alınarak bariyer yüksekliği $\phi_B=0.88$ eV difüzyon potansiyeli de $V_d= 0.78$ V bulundu. Solar simülatörü kullanılarak yapılan I-V ölçümlerinden kısa devre akımı ve açık devre gerilimi sırasıyla $1.70 \mu A$ ve 240 mV olarak hesaplandı.

Reddy ve ark. (2013); Poly (ethylmethacrylate) (PEMA) organik arayüzey kullanarak elde ettikleri Au/PEMA/n-InP Schottky diyot parametrelerinin artan tavlama sıcaklığı ile değiştiğini bariyer engelin arttığını gözlemlediler.

Boy (2013); tez çalışmasında perylene-diimide (PDI) organik arayüzey malzeme kullanarak elde ettiği Ag/PDI/n-GaAs diyotun yüksek sıcaklıkta ideal duruma yaklaştığını gözlemledi.

Janardhanam ve ark. (2014); Au metali ve n-GaN yüzeyleri arasında CuPc arayüzeyini yerleştirerek elde ettikleri Au/CuPc/n-GaN diyotun I-V, C-V ve G-V gibi elektriksel özelliklerini referans Au/n-GaN diyotun elektriksel özellikleriyle karşılaştırdılar. İmal ettikleri CuPc arayüzeyli diyot için için $R_s= 1.9$ k Ω , $n= 1.33$ ve $\phi_B=1.02$ eV değerlerini elde ettiler. Ölçümleri CuPc organik arayüzeyin referans diyotun elektriksel parametrelerini değitirdiğini göstermiştir.

Reddy ve ark. (2015); NiPc tabakasını n-InP altlık üzerine imal ederek elde ettiklerin kontakın NiPc yüzeyi üzerine Au metalini buharlaştırma yöntemi ile kapladılar. Ürettikleri diyotun bariyer engelini $\phi_B=0.82$ eV olarak hesapladılar. Referans Au/n-InP diyotun bariyer engelini ise $\phi_B=0.59$ eV olarak buldular. Kullanılan NiPc arayüzeyinin Schottky bariyer engelini arttırdığı sonucuna vardılar.

Bilgili (2015); n-InP yarıiletkenle hazırlanan TiO₂ arayüzey tabakalı Schottky kontakta tabaka kalınlığının azalmasıyla ideal duruma daha yakın hale geldiğini gözlemiştir.

Reddy ve ark. (2015); yaptıkları çalışmada Ru/Ti/n-InP schottky diyotlarının akım gerilim özellikleri (I-V) $200-400$ °C sıcaklık aralığında ölçerek Schottky bariyer parametrelerini tahmin etmek için ileri ve geri I - V özellikleri analiz ettiler. Bulgular, sıcaklık arttıkça bariyer yüksekliğinin azaldığını ve idealite faktörünün arttığını ortaya koymuştur. Bu veriler, Cheung'un $dV/d\ln(I)$ ve I ifadesiyle uyumludur. Seri direnç değerleri, artan sıcaklık ile 16 M Ω – 62 M Ω aralığında ölçülmüştür. Richardson sabiti

ve Schottky bariyer yüksekliklerinde doğrusal olmayan durum, Ru/Ti/n-InP arabiriminde fosfid'in olmasına atfedildi.

Güllü ve ark. (2018); Al/n-InP metal ile yarıiletken tabakalar arasına grafen oksit (GO) ara tabaka yerleştirerek yaptıkları Al/GO/n-InP MIS diyot ile grafen oksit film tabakasının arayüzey durumları, morfolojik ve optik özelliklerini incelediler. Yaptıkları çalışmada GO bulunmayan referans Al/n-InP diyotun bariyer yüksekliğini 0.43 eV olarak, GO arayüzeyi bulunan Al/GO/n-InP MIS diyotun bariyer yüksekliğini 0.85 eV olarak ölçtüler. Al/GO/n-InP diyotun bariyer yüksekliğinin referans Al/n-InP diyotuna göre yaklaşık %100 arttığını gözlemlediler.

2. TEORİK BİLGİ

2.1. Metal – Yarıiletken (MS) Kontakların Yapısı

MS çalışmalarında kullanılan Schottky diyotlarda ölçüm değerlerindeki hataları en aza indirmede temel etkenlerden biri kristal yapıya uygun bir kontak yapılmasıdır. Kristal ile kontak yapılacak malzemenin temiz, pürüzsüz ve çok küçük bir temas direncine sahip olması da dikkat edilmesi gereken bir durumdur (Cowley ve Sze, 1965).

Metal ile yarıiletken kontaklarda iki maddenin Fermi enerji seviyeleri eşitlenince termal denge sağlanmış olur. Bu denge sağlanıncaya kadar her iki maddeden karşılıklı olarak birbirlerine yük geçişi olur. Bu yük geçişi ile arayüzeyde bir potansiyel engel (ϕ_s) oluşur. Engel bölgesinde yük kalmadığından yüksek dirençli tabaka olarak davranır. Bu tabaka Shottky tabakası olarak da adlandırılır.

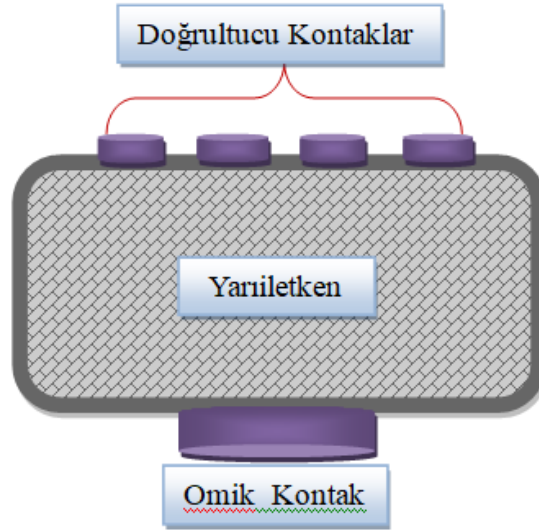
Potansiyel engeli; Schottky-Mott modeline göre iki kontaklı tabakanın iş fonksiyonları (ϕ) arasındaki fark nedeniyle oluşmaktadır. Kullanılan metalin iş fonksiyonu (ϕ_m) , yarıiletkenin iş fonksiyonu (ϕ_s) olmak üzere bu değerler bir elektronun Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarılması için gerekli olan en az enerjidir.

Fermi seviyesi değişken bir yapıya sahiptir. Kullanılan malzemenin alıcı veya verici atomların miktarıyla değişmektedir. Elektron ilgisi (X_s) önemli bir parametredir. Bir elektronun iletkenlik bandından vakum seviyesine çıkarılması için gerekli enerji olarak tanımlanır. Metal-Yarıiletken kontakta elektron ilgisi katkı miktarından bağımsızdır.

Kontakların yapılarında kullanılan metal ve yarıiletken malzemenin iş fonksiyonları arasındaki ilişkiye göre doğrultucu ve omik kontak olarak sınıflandırılır.

Metal-yarıiletkenlerin n-tipi kontaklarında $\phi_m > \phi_s$ ise kontak doğrultucu olarak, p-tipi kontaklarında $\phi_m < \phi_s$ ise kontak omik kontak olarak tanımlanır.

n-tipi	$\phi_m > \phi_s$	Doğrultucu Kontak
	$\phi_m < \phi_s$	Omik Kontak
p-tipi	$\phi_m < \phi_s$	Doğrultucu Kontak
	$\phi_m > \phi_s$	Omik Kontak



Şekil 2. 1 Omik kontak şematik gösterimi

2.2. n-Tipi Yarıiletken Kontakların Yapısı

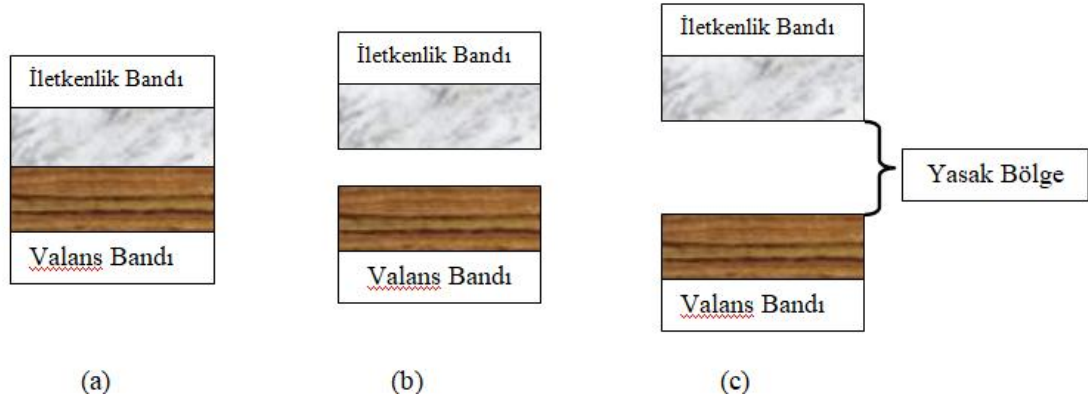
Maddelerin elektriksel iletkenliği taşıdıkları serbest elektron sayısına bağlıdır. Maddenin 1 cm^3 'lük hacminde bulunan serbest elektron sayısı Çizelge 1.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 İletken, yarıiletken ve yalıtkanların cm^3 hacimde serbest elektron sayısı

Maddenin Elektriksel Özelliği	Serbest Elektron Sayısı
İletken	$10^{22}/\text{cm}^3 - 10^{23}/\text{cm}^3$
Yarıiletken	$10^8/\text{cm}^3 - 10^{14}/\text{cm}^3$
Yalıtkan	$10/\text{cm}^3$

Maddelerin elektriksel özellikleri aynı zamanda bant yapısı ile de ilgilidir. Elektronların iletkenlik özelliği kazanması için valans bandından iletkenlik bandına geçmeleri için gerekli olan enerjiye ilgilidir. Valans bandı iletkenlik bandı arasında kalan ve iletkenlik özelliği kazanması için gerekli olan bu enerji yasak bölge (E_g) olarak tanımlanır.

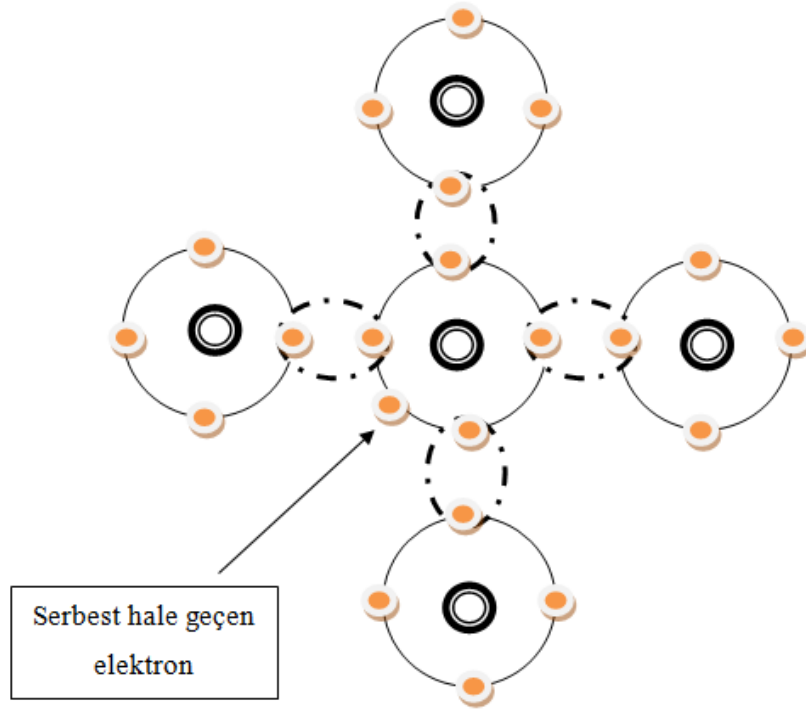
Aşağıdaki şekilde maddenin enerji bantları ve yasak bölge genişlikleri enerji gösterilmiştir.



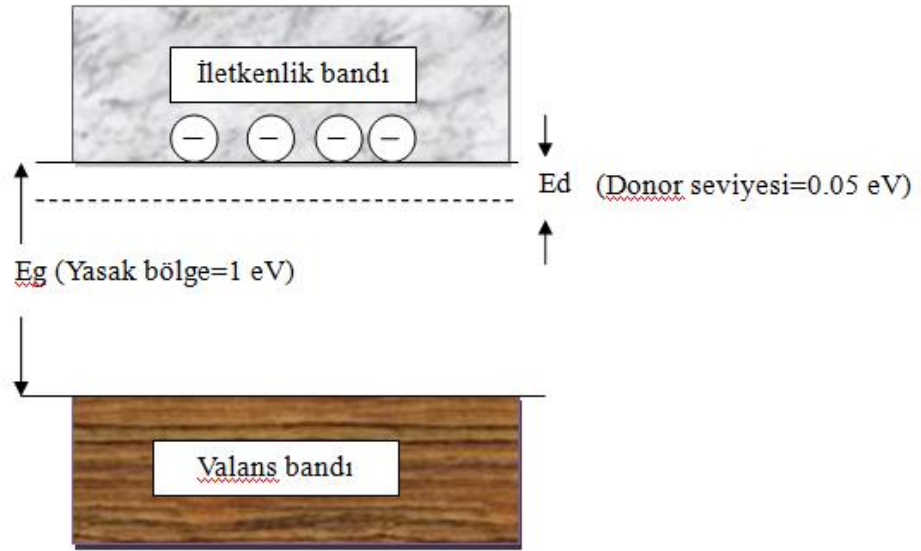
Şekil 2. 2 Enerji bantları (a) İletken ($E_g < 0.05 \text{ eV}$) , (b) Yarıiletken ($0.7 \text{ eV} < E_g < 1.4 \text{ eV}$) , (c) Yalıtkan ($E_g > 8 \text{ eV}$)

İletken maddelerde Şekil 2.2' de görüldüğü gibi valans bandı ile iletkenlik bandı arasında yasak bölge yoktur. İletkenlerde valans bandında yer alan elektronlar atoma zayıf şekilde bağlıdır. Ancak Yarıiletkenlerde yasak bölge genişliği 0.7 eV ile 1.4 eV değerleri arasındadır. Bu bölge ısı, ışık gibi dış etkenlerle kapanabilir ve valans bandındaki elektronların otomla bağları zayıflayarak iletkenlik bandına geçebilirler. Yarıiletkenler katkılı hale getirilebilirler. Bu durumda son yörüngeleri yarı dolu olan yarıiletken katkı maddesinin son yörüngesindeki elektronlarla ortak bağ yaparak elektron verir veya alırlar. Bu durumda yarıiletkenler elektron vermelerine veya almalarına göre n-tipi veya p-tipi yarıiletkenler olarak adlandırılırlar (Çelik, 2006).

Örneğin; IV. Gruptaki Si (Silisyum) için V. Grup elementleri katkı elementi olarak kullanıldığında V. Grup elementi verici (donor) pozisyonunda bir elektron vererek Si ile ortak bağ yaparak bir elektronun serbest hale geçmesini sağlar (Şekil 2.3). Bu durumda yapıda elektron fazlası olduğu için katkı maddesi n-tipi hale gelmiş olur. n-tipi hale gelen katkılı yarıiletkenlerin katkı elektronları daha kolay iletkenlik bandına geçer. Böylece Fermi seviyesi iletkenlik bandına çok yaklaşır (Şekil 2.4).



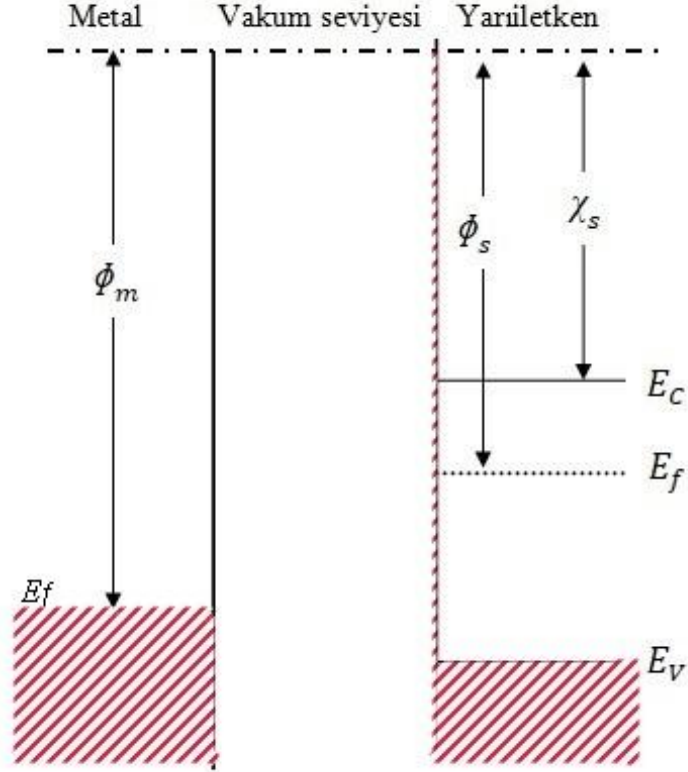
Şekil 2. 3 n-tipi yarı iletkenin bağ modeli



Şekil 2. 4 Bir yarıiletken n-tipi yapıldıktan sonraki bant diyagramı

2.2.1. n-Tipi doğrultucu kontak yapısı

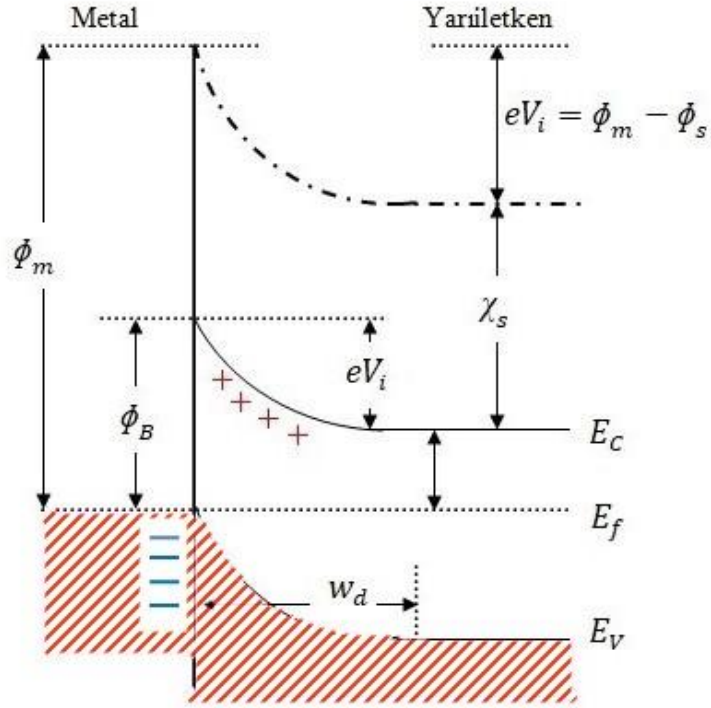
n-tipi yarıiletken ile metalin iş fonksiyonları arasındaki ilişki $\phi_m > \phi_s$ ise, kontak doğrultucu metal/n-tipi yarıiletken kontak olur. Aşağıda Şekil 2.4’ de metalin yarıiletken kontak hazırlanmadan önceki enerji bant diyagramı görölmektedir.



Şekil 2. 5 Metal/n-tipi yarıiletkenin kontak öncesi enerji-bant diyagramı (Sze, 1981)

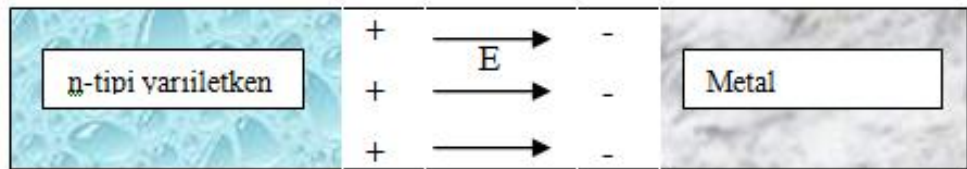
Metal ile yarıiletken kontak oluşturduğunda metaldeki elektronlardan enerjisi daha yüksek olan yarıiletken elektronları metale akarlar. Bu durum yarıiletken ile metalin Fermi seviyesi eşitlenene kadar devam eder. Yarıiletkenden metale akan elektronlar ile yarıiletkende sınır bölgesinde elektron konsantrasyonunda azalma olur. Bu durumun sonucu olarak iletkenlik bandı (E_c) ile fermi seviyesi (E_f) arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile artar ve denge sağlandığında iletkenlik bandı ile valans bandında Şekil 2.6’ daki gibi bükölme gözlenir.

Bu durum sonucunda yarıiletkenin metale yakın yüzey bölgesinde hareketli yükler tükenmiş olur.



Şekil 2. 6 Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak oluşturulduktan sonra denge durumu enerji-band diyagramı (Sze, 1981)

Termal denge ile oluşan dağılımda yarıiletkenin yüzeyinde elektronlar tükenmiş ve arayüzeyin yarıiletken tarafı pozitif yükle yüklenmiş olur. Metale geçen elektronlar ile de metalin arayüzey tarafında negatif yük tabakası oluşur. Bu tabaka arayüzeyden yaklaşık $0.5 \text{ \AA}$ uzaklıkta bir bölgededir. Bu mesfeye Thomas-Fermi mesafesi denir. Bu durum metal ile n-tipi yarıiletken arasında bir potansiyel engel oluşumuna neden olur.oluşan kutuplu tabakada bir elektriksel alan meydana getirir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Metal ile yarıiletken arasında arayüzeyde oluşan elektriksel alan

Yarıiletkenin yasak bölge enerjisi kontak oluşumuyla değişmektedir.Valans ile (E_v) iletkenlik (E_c) band doğruları ve vakum seviyesi paralel olarak kayma göstermektedir (Şekil 2.6). Bu durumun nedeni yarıiletken elektron ilgisinin kontağa

bağlı olarak değişmemiş olmasıdır. Böyle bir durum ile de engel yüksekliğinin hesaplanabileceği bir noktada vakum seviyesinde süreklilik sağlanmış olur.

Metal-Yarıiletken yapının arayüzeyinde oluşan potansiyel engeli (ϕ_B), Schottky ve Mott tarafından da

$$\phi_B = (\phi_m - \phi_s) \quad (2.1)$$

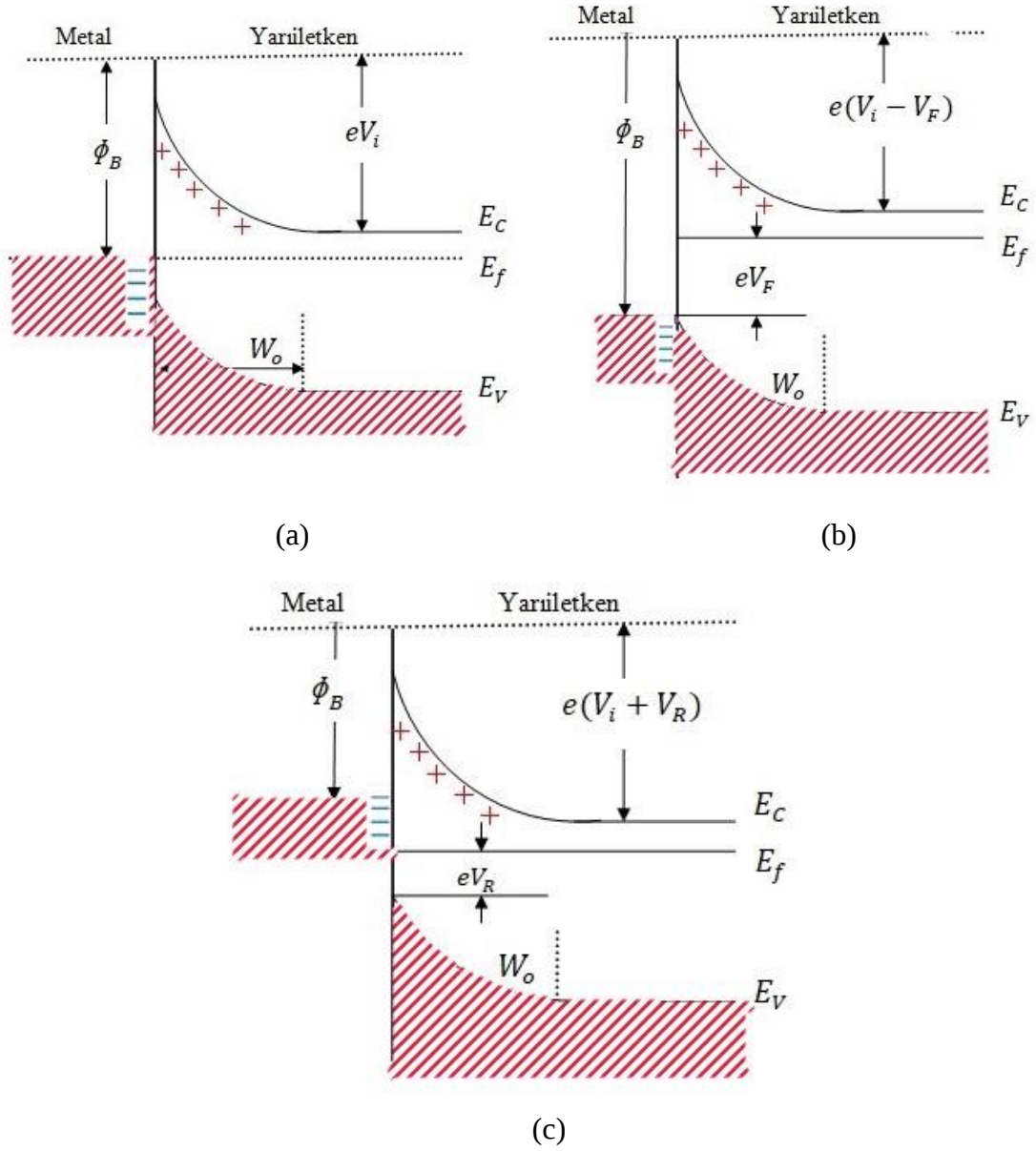
şeklinde ifade edilmektedir. $\phi_n = (E_c - E_F)$ ve elektron yükü e olmak üzere

$$\phi_B = (eV_i - \phi_n) \quad (2.2)$$

Potansiyel engeli, yük dağılımından hesaplanabilir. Yarıiletkenin uzay yükü bölgesinde hareketli yükler bulunmadığından bu bölgede direnci çok yüksek bir yalıtkan bölge oluşur. Bu sabit uzay yüklerinin elektrik alan büyüklüğü uzay yükü tabakasından uzaklıkla lineer şekilde artar. Bu durumun sonucu olarak engel yüksekliği parabolik olur (Henisch, 1984).

Mott (1966); arayüzeyde yüklerin bulunmadığı ince bir bölge bulunduğunu ve bu bölgede sabit değerde bir elektriksel alan, bölge boyunca da lineer artan bir potansiyel engelin oluştuğunu değerlendirdi. Bu potansiyel engele Mott engeli denir.

Metal/n-tipi doğrultucu yarıiletken kontağın enerji-band diyagramı Şekil 2.8a' da gösterilmiştir. Metale bir dış gerilim uygulanınca band diyagramı değişir. Metal tarafı pozitif, yarıiletken tarafı negatif olacak şekilde ileri beslem bir gerilim ($V=V_F$) uygulandığında tüketim bölgesinde daralma gerçekleşir. Bu bölgedeki gerilim eV_i değerinden $eV_i - eV_F$ değerine düşer (Şekil 2.8b). Bu durum ile elektronların geçişini zorlaştıran engel de azalma gerçekleşir. Bu durumun sonucu olarak Şekil 2.8a' daki termal denge durumuna göre akımda artış meydana gelir. Ancak metalden yarıiletkene geçen elektron akımında değişme gözlenmez (Çalışkan, 2015).



Şekil 2. 8 Termal denge durumunda metal /n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak enerji-band diyagramı. (b) İleri beslem durum (c) Ters beslem durum (Sze, 1981)

Kontağın metal tarafı negatif , yarıiletken tarafı pozitif yüklenecek şekilde geri beslem beslem gerilim uygulandığında tüketim bölgesinde genişleme meydana gelir. Bu bölgede gerilim değeri eV_i ’den $eV_i + eV_R$ değerine çıkmaktadır (Şekil 2.8c).

Bu durumun sonucu olarak da artan potansiyel engel yüksekliği nedeniyle yarıiletkenden metale doğru akım gözlenmeyecektir (Balkanski ve Wallis, 2000).

2.2.2. n-Tipi kontak yapısı

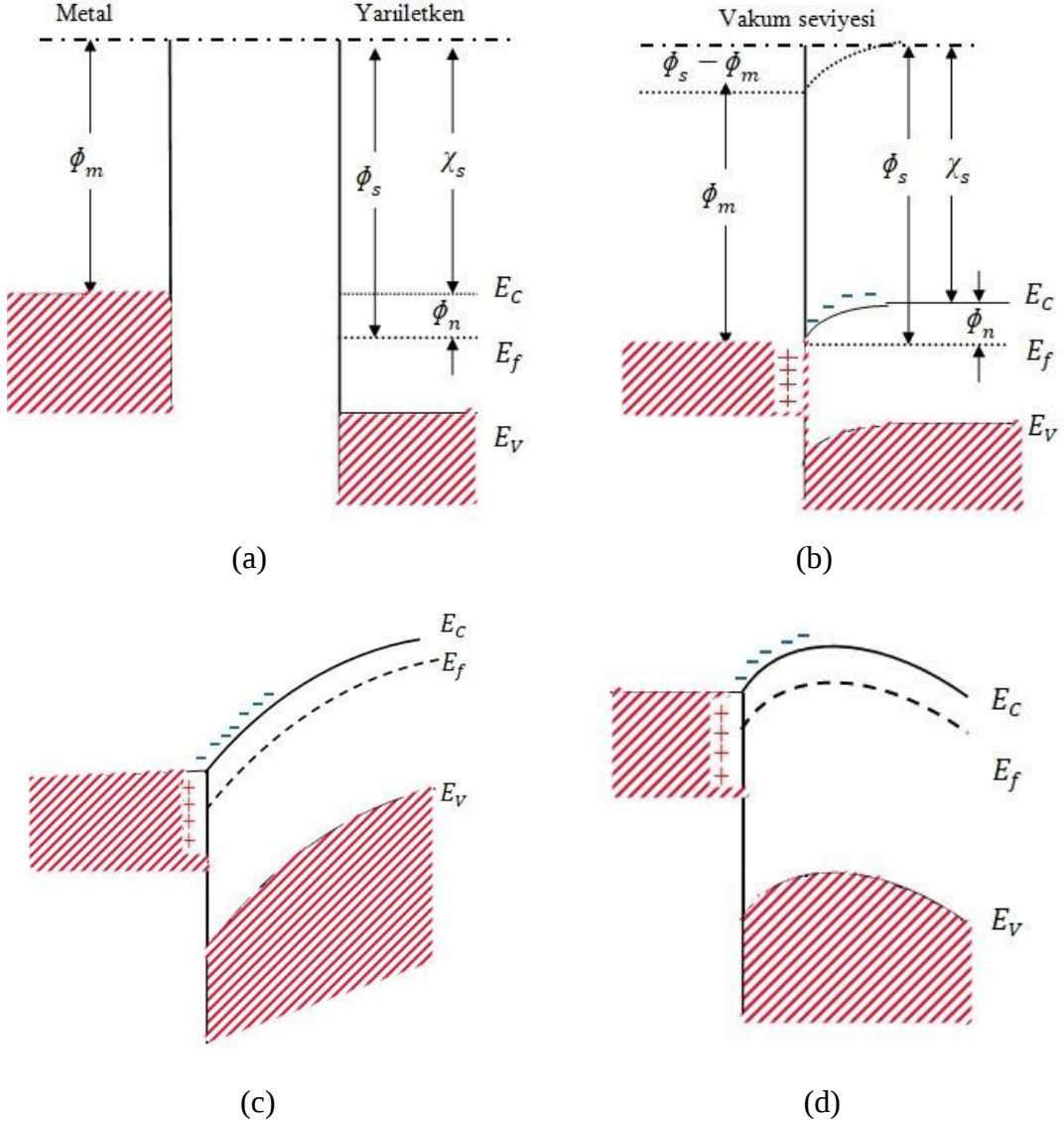
Metal n-tipi yarıiletken ile metalin iş fonksiyonu arasında $\phi_m < \phi_s$ ilişkisi var ise omik kontak oluşmuş olur. Şekil 2.9 n-tipi yarıiletkenin enerji-bant diyagramını göstermektedir.

Metal n-tipi yarıiletken ile oluşturulan omik kontakta elektronlar metalden yarıiletkene doğru akarak metal yüzeyinde pozitif, yarıiletken yüzeyinde negatif yük yüzeyi oluşturur (Neaman, 2003).

Termal denge sağlandıktan sonra Fermi seviyesi Şekil 2.9b'deki gibi olacaktır. Bu durumda Fermi seviyesi $\phi_s - \phi_m$ değerine yükselecektir. Yarıiletken yüzeyine biriken negatif yükler debye mesafesi kalınlığında tabaka içinde kalırlar. Metal içindeki elektronlar ise metal-yarıiletken arayüzeyinden yaklaşık 0,5 Å'luk bir kalınlık içinde sınırlandırılmış yüzey yükleridir. Bu durumda yarıiletken içinde bir tüketim bölgesi oluşmayacak dolayısıyla yarıiletkenden metale ya da tersi yönde bir potansiyel engeli oluşmamış olacaktır.

Yarıiletkene uygulanan ileri beslem gerilim (V_F) ve geri beslem gerilim (V_R) uygulandığında enerji-bant diyagramı Şekil 2.9c ve Şekil 2.9d'deki gibi olmaktadır. Bu bölgenin direnci ile belirlenebilecek olan akım, uygulanan gerilime bağlı değildir. Bu tip kontaklar akımı iki yönlü iletebilecekleri için omik kontak olarak adlandırılırlar (Sze, 1981; Henisch, 1984).

Bu tip kontaklar n-tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırma ile alaşım haline getirilen bir metal uygulanır. Bu durum ile elde edilen yapı yarıiletken altlığına göre çok daha fazla sayıda elektron içermiş olur.



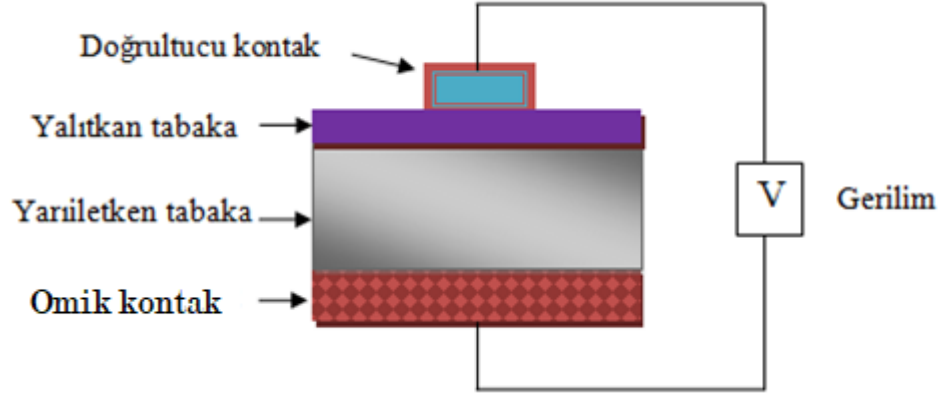
Şekil 2. 9 Metal/n-tipi yarıiletken omik kontak elektron enerji-band diyagramı. (a) Kontak öncesi maddeler; (b) termal dengede kontak; (c) negatif beslemde kontak (d) pozitif beslemde kontak (Sze, 1981).

2.3. Metal - İletken – Yalıtkan (MIS) Kontakların Yapısı

Metal ile yarıiletken malzeme arasında bir yalıtkan tabaka konulması ile oluşturulan diyotlara Metal/Yalıtkan/Yarıiletken (MIS) diyot denir. Bu sistemle hazırlanmış diyotlarda, yalıtkan tabaka metal ile yarıiletkenin temasını keserek birbirlerinden ayırdığı için arayüzey durumları metalin elektron durumlarından etkilenmeyecek hale gelmiş olacaktır (Rhoderick, 1982).

Bu yapının arayüzey durumları Fermi seviyesi ile belirlenir. Rhoderick ve Nortrop yalıtkan arayüzeyli malzemelerle çalıştılar. Bu yapılarda metal kaplamadan önce kimyasal temizleme işlemi dikkatlice yapıldıktan sonra ince yalıtkan oksit bir

tabaka yarıiletken altlık üzerine hazırlanır. Arayüzey tabakanın kalınlığı yüzey hazırlandığı andaki durumlara bağlı olarak değişir. Bu yapılarda kullanılacak yalıtkan tabaka için ideal kalınlık $20 \text{ \AA}$ ' dan daha küçüktür.



Şekil 2. 10 MIS (Metal/Yalıtkan/iletken) diyotun şematik gösterimi

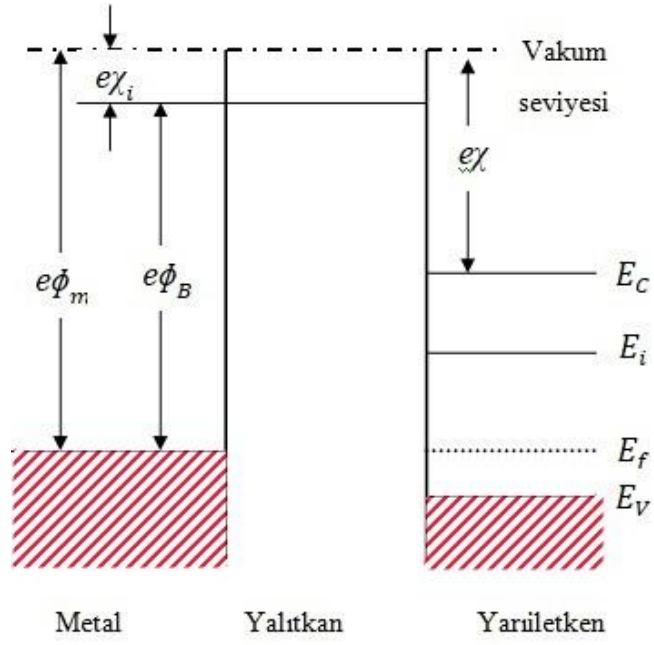
Şekil 2.10' da gösterilen şematik diyotta V metal tabakaya uygulanan gerilimi göstermektedir. Oksit tabaka kalınlığı (d_{ox}) $\geq 30 \text{ \AA}$ ' dur. V gerilimi omik kontağa göre pozitif veya negatif olarak uygulanabilir. MIS yapıya uygulanan ileri beslem geriliminin (DC) bir kısmı yarıiletken yapının tüketim tabakasına, bir kısmı da yalıtkan tabakaya düşmektedir (Yıldız, 2008).

Bu gerilimin değeri, V_{yi} : yarıiletkenin üzerine düşen gerilimi, V_y : yalıtkan üzerine düşen gerilimi göstermek üzere;

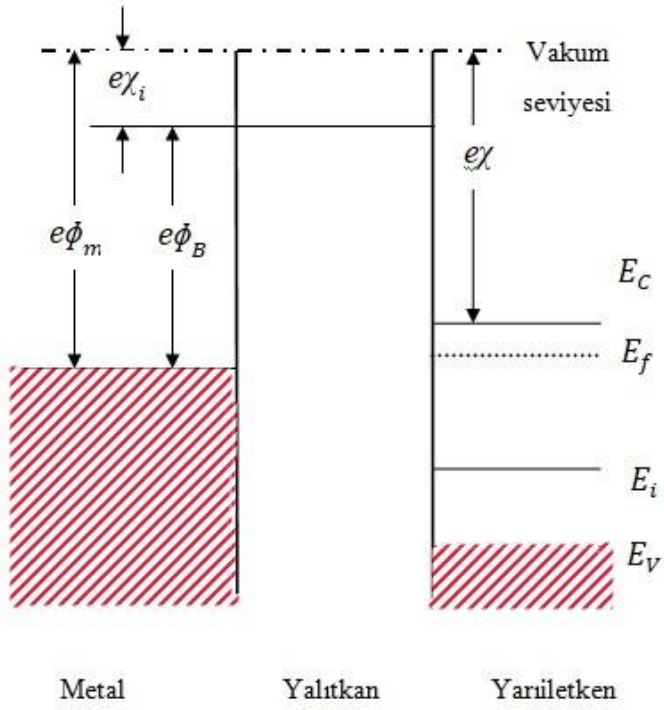
$$V = V_{yi} + V_y \quad (2.3)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

P-tipi ve n- tipi yarıiletkenlerle hazırlanan İdeal MIS diyot yapısının sıfır gerilimde ($V=0$) enerji-band diyagramı Şekil 2.11' de gösterilmiştir. n-tipi diyotun elektron ilgisin daha yüksek, engel yüksekliğinin daha düşük değerde olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2. 11 İdeal bir MIS yapının ($V = 0$) geriliminde enerji-band diyagramı (a) p-tipi yarıiletken , (b) n-tipi yarıiletken

Gerilim değeri ($V=0$) iken metalin iş fonksiyonu ϕ_m ; yarıiletkenin iş fonksiyonu ϕ_s arasındaki fark sıfırdır.

n-tipi yarıiletken için;

$$\phi_{ms} = \phi_m - \{\phi_s + E_g/2e - (E_F - E_i)\} = 0 \quad (2.4)$$

Burada χ elektron ilgisi, E_g yasak bölge aralığını, E_F Fermi enerji seviyesini ifade etmektedir.

İleri beslemde (DC), yalıtkana doğru taşıyıcı yük olmadığı için yalıtkan direnci sonsuz değerde kabul edilmektedir.

İdeal MIS yapıda metale gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Yarıiletkendeki bu yük kaymaları uygulanan gerilimin değerine bağlıdır. Bunun gibi yarıiletken bölgede band kaymaları da oluşmaktadır. Bant kaymalarının nedeni arayüzey yüküdür. Ve termal denge durumunda potansiyelin büyüklüğü ile arayüzey uzay yükü belirlenebilir.

Metal ile yarıiletken tabaka arasına yerleştirilen yalıtkan tabakadan dolayı yapıda bir kapasitans oluşur. Kapasitansın özelliklerini arayüzey belirler. Bu durum arayüzeyin yalıtkanlık sabitine de bağlıdır. MIS yapının özellikleri doymamış bağları, safsızlıktan dolayı tuzaklanmış yükler ve oksidasyon aşamasında, yonteme bağlı olarak değişmekte ve ideal yapıdan uzaklaşmaktadır (Çalışkan, 2015).

MIS yapıların I-V ve C-V ölçümleri genellikle sıcaklığa ve frekans gibi değişkenlere bağlı olarak belirlenir. Yapıda kullanılan yalıtkan tabaka yapının Potansiyel engeli (ϕ_B) , İdealite faktörü n , seri direnç R_s gibi temel parametreler üzerinde oldukça etkilidir. Yapının hava ile teması da, oluşan ince oksit tabakadan dolayı bu parametrelerin değerini etkilemektedir (Boy, 2006).

Arayüzey yalıtkan tabakalı Schottky diyotun I-V ve C-V karakteristiklerinden elde edilen arayüzey durumları ile çok sayıda yayın ve çalışma mevcuttur. Bu konuda ilk çalışmalar Crowley ve Sze (1965) tarafından yapıldı. Çalışmalarında Schottky potansiyel engelin analizlerini metalin iş fonksiyonunu kullanarak gerçekleştirdiler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Maddelerin Özellikleri

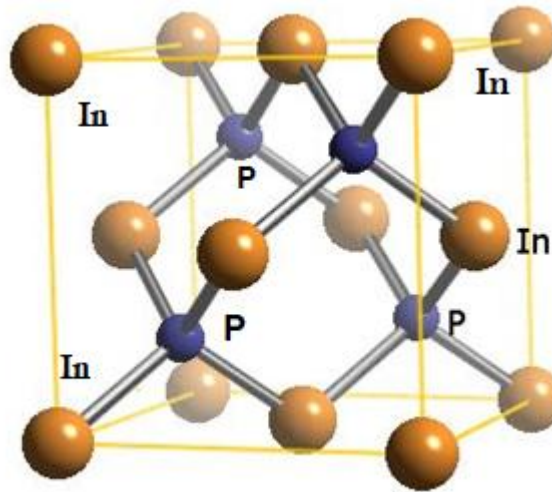
3.1.1. InP özellikleri

İndiyum Fosfat (InP) ; III-V grubu ikili bileşik yarıiletkenlerdendir. Çinko-Sülfür (Zinc-Blende) kristal yapısındadır (Şekil 3.1).

Özellikle InP olmak üzere III-V grubu bileşik yarıiletkenler elektrik ve optoelektronik çalışmalarında ve devre elemanlarında yoğun kullanılmaktadır. InP yapıyı bu çalışmalarda önemli kılan özelliklerinden bazıları; doğrudan band aralığının büyüklüğü, yüksek elektron mobilitesi, yüksek kırılma gerilimi, altlık hızıdır.(Çakıcı, 2014). Bazı özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Ancak metal/n-InP yapıyapıda altlıktaki hızlı akım nedeniyle 0.5 eV değerinden daha yüksek Schottky barrier engeline ulaşmak oldukça zordur (Reddy, 2013).Bu yapılarda arayüzey tabakası kullanılarak engel yüksekliğinin modifikasyonu yapılabilir. Kullanılacak arayüzey tabaka MS yapıyı MIS yapıya dönüştürür (Aslan, 2013).

Yakın zamanlarda çalışmalarda arayüzey tabakanın daha çok tercih edilmesi düşük maliyetlerinden dolayıdır. Bu konuda Reddy ve ark. epeyce çalışmalar yapmıştır. Aynı şekilde benzer yapılarından dolayı InP yapı gibi InGaAs ve InGaAsP alaşım yapılar da, yüksek elektron geçirgenliği, yüksek doyumlu elektron sürüklenme hızları gibi nedenlerle elektronik ve optik cihazlarda kullanılmaktadır.



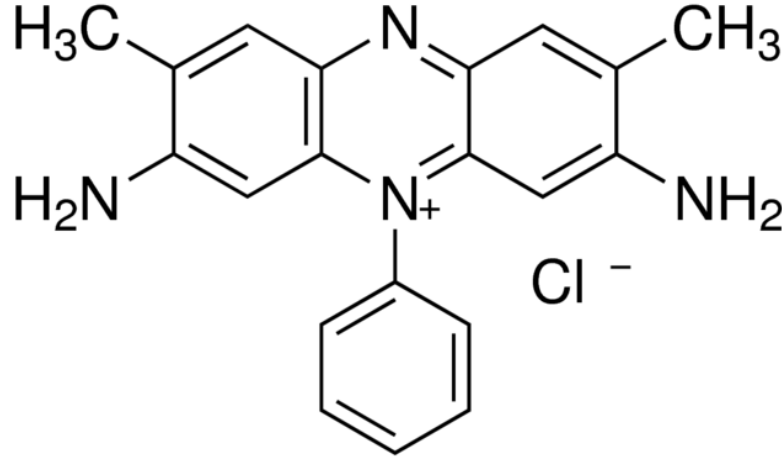
Şekil 3. 1 InP yarıiletkeninin Zinc-Blend yapısının şematik gösterimi

Çizelge 3. 1 InP yarıiletkeninin bazı kimyasal, elektriksel özellikleri

InP	Özellikleri (300K)
Kristal Yapısı	Çinko Sülfid (ZnS)
Bağ yapısı	Dörtlü Bağ-Kovalent
Örgü Yapısı	Tetrahedral-Düzgün Dörtüzlü
Uzay Grubu	Kübik
Bant Aralığı	1,35eV(300K)-1,42eV(0K)
Enerji Bant aralığı Yapısı	Doğrudan
Grup	III-V
Elektron İlgisi(eV)	4,37
Elektron mobilitesi	≤ 5400
Hollerin mobilitesi	≤ 200
Elektron Dif. katsayısı	≤ 130
Hollerin Dif. katsayısı	≤ 5
Valans bandındaki etkin hal yoğunluğu (cm^{-3})	$1.1 \cdot 10^{19}$
İletkenlik bandındaki etkin hal yoğunluğu (cm^{-3})	$5.7 \cdot 10^{17}$
Asal taşıyıcı konsantrasyonu (cm^{-3})	$1.3 \cdot 10^7$
Dielektrik sabiti (statik)	12.5
Dielektrik sabiti (yüksek frekans)	9.61
Termal iletkenlik (300K) (W/cmK)	0.68
Debye sıcaklığı (K)	425

3.1.2. Safranine T özellikleri

Boya maddesi olarak kullanılan ST (Red Basic 2) Fenazin grubundan bir maddedir. Molekül formülü $C_{20}H_{19}ClN_4$ (3,8-diamino-4,7-dimethylphenyl phenazinium chloride) şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 3. 2 Safranine T (ST) molekül yapısı

Çalışmada ST kullanılmasının başlıca nedenleri

- Uygun maliyet
- Kullanışlı malzeme
- Pi bağ yapısı
- Oda sıcaklığında işlem yapılabilmesidir.

Safranine boya maddesi olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Güllü ve ark. 2008 yılında MIS diyot çalışmasında safranine T maddesini arayüzey olarak kullandılar.

3.1.3. Al özellikleri

MS ve MIS gibi yarıiletken yapılarda ohmik ve doğrultucu kontakların imali için çok saf metaller tercih edilir. Metaller yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip elementlerdir. Bazı özellikleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. Bu nedenle çalışmalarda Al(Aluminyum) ve Au(Altın) metalleri tercih edilir. Bu Çalışmada da doğrultucu ve ohmik kontak yapısı için yaklaşık %99.99 saflıkta Al kullanıldı.

Al; Wohler tarafından 1827' de bulunmuştur. Doğada serbest halde bulunmayan Al hafif bir metaldir.

Çizelge 3. 2 Oda sıcaklığında Alüminyum metalinin bazı özellikleri

Al – Özellikleri	Değerler
Yoğunluk (g/cm ³)	2.7
Termal iletkenlik (W/cm.K)	237
Elektriksel iletkenlik ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)	3.77×10^5
Mineral sertliği	2.75
Kaynama noktası °C	2519
Erime noktası °C	≈ 660

Al kullanılarak imal edilen Schottky kontaklarda altlık sıcaklığı çok önemlidir. Al oksijenle hızlı reaksiyon verebilir. Bu nedenle bu tip çalışmalarda metal buharlaştırma işlemi çok yüksek vakumda yapılmalıdır.

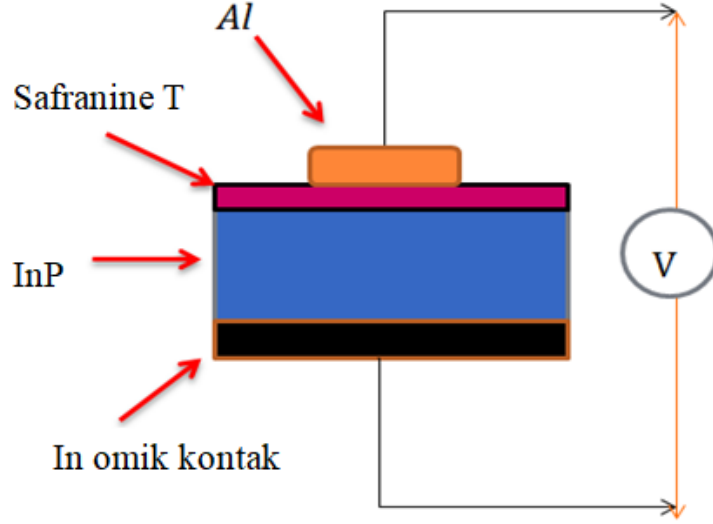
3.2. Diyotun Hazırlanması

Yapılan çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, 300 μm kalınlıkta, donör konsantrasyonu $1-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan ve bir yüzü parlatılmış n-InP yarıiletkeni kullanıldı. Uygun kimyasal temizleme işleminden (Kristal $3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ile 20 saniye ve parlak yüzeyindeki doğal oksit tabakası $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (1:10) çözeltisi ile kaldırıldı ve deiyonize su (DI) ile 30 sn. yıkanarak azot gazı ile kurutuldu.), sonra yarıiletken kristalin alt yüzüne In omik kontak yapıldı. Üst yüzüne ST boyası metanol çözeltisi (%0.2' lik) ile kaplandıktan sonra organik tabakanın da üst yüzeyine Al kontak yapıldı.

Fabrikasyonu yapılan diyotun kapasite-gerilim (C-V) ölçümleri Batman Üniversitesi Fizik Bölümü laboratuvarında bulunan KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile oda sıcaklığında alındı (Şekil 3.4, Şekil 3.5). Ölçümler 100 kHz' lik adımlarla 100-900 kHz frekans aralığında ve (-2V)-(+2V) aralığında 0.05V aralıklarla alındı.

Fabrikasyonu yapılan diyotun akım-gerilim (I-V) ölçümleri de KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile oda sıcaklığında aydınlık ve karanlıkta (-2V) - (+2V) aralığında 0.02V aralıklarla alındı. Aydınlık ölçümleri için solar simülatörü kullanıldı (Şekil 3.6).

Hazırlanan Al/ST/n-InP diyotun şematik gösterimi Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

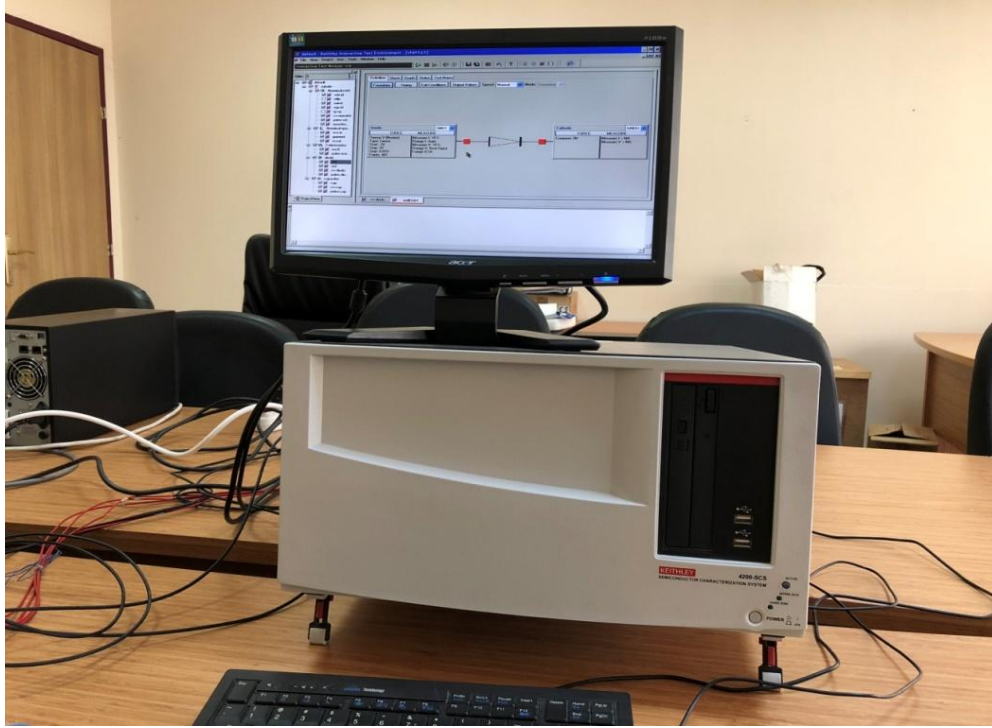


Şekil 3. 3 Al/ST/n-InP diyotunun şematik gösterimi

Diyotun ölçüm düzenekleri ve cihazları şekil 3.4, Şekil 3.5 ve şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile Organik arayüzeli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık (ışık gücü 100 mW/cm^2) ve Karanlık ortamda ölçüm düzeneği



Şekil 3. 5 KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık (ışık gücü 100 mW/cm^2) ve Karanlık ortamda alınan ölçümler



Şekil 3. 6 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında 100 mW/cm^2 gücünde solar simülatörü ile ölçüm düzeneği

3.3. Yarıiletkenlerin Akım-Gerilim (I-V) Özellikleri

3.3.1. Engel yüksekliği

Schottky diyot yapıların en önemli özelliği, metal/yarıiletken arayüzeyinde meydana gelen ve Schottky bariyer yüksekliği olarak bilinen bir potansiyel engelin oluşmasıdır. Bu engel, metal/yarıiletken arayüzeyinde elektron geçişini kontrol eder ve bu nedenle veriler için hayati bir öneme sahiptir (Özerden, 2014).

Aynı şekilde MIS kontakların elektriksel karakteristikleri de metal ile yarıiletken arasına konulan arayüzey tabakasına bağlı olarak değişmektedir. Kontakların arayüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü akım-gerilim karakteristiği yük durumları gibi birçok parametreyi etkiler (Özerden, 2014)..

Herhangi bir V gerilimine bağlı olarak olarak diyot akımı için,

$$I = I_0 \exp\left(\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1\right) \quad (3.1)$$

ifadesi kullanılır (Ziel, 1968). Burdan elde edilecek nihai eşitlikte $eV \gg nkT$ durumuna karşılık (3.1) eşitliğinde 1 değeri, göz ardı ihmal edilmektedir. İhmal edilme ile eşitlik ,

$$I = I_0 \exp\left(\left(\frac{eV}{nkT}\right)\right) \quad (3.2)$$

şeklinde olacaktır. Akımın 3.2' deki eşitliği kullanılarak idealite faktörü (n),

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (3.3)$$

şeklinde elde edilecektir.

Diyot yapıları için $dV/d \ln I$ değeri ile birlikte diğer sabit değerler (3.2) eşitliğinde yazılarak n değerleri elde edilebilir. Eşitlik (3.2)' de yer alan I_0 değeri,

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_B}{kT}\right) \quad (3.4)$$

halinde ifade edilebilecektir. Bu eşitlikten yararlanarak diyot engel yüksekliği ϕ_B ,

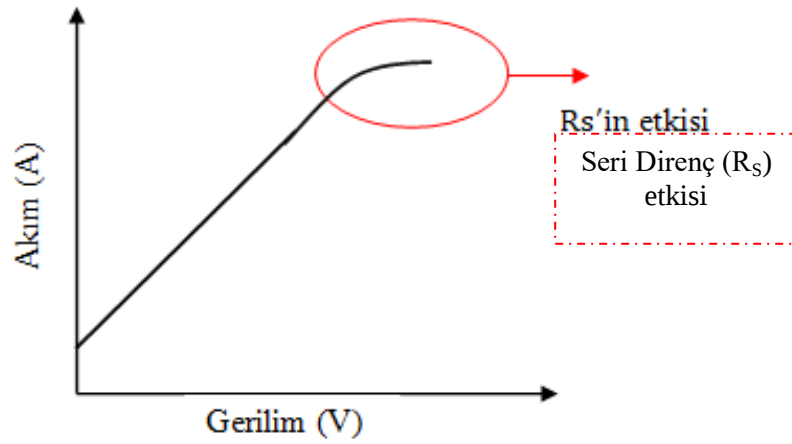
$$\phi_B = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (3.5)$$

eşitliğine ulaşılır

Bu eşitlikte A yüzey alanı; A^* Richardson sabiti dir (n-InP için $A^* = \sim 9.4 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$).
(3.4) ve (3.5) eşitlikleri sıralı olarak kullanılarak I_0 ve ϕ_B değerlerine ulaşılabilir.

3.3.2. Seri direnç

Metal-yarıiletken doğrultucu diyotlarda, yarıiletken yüzeyinde oluşan tüketim bölgesi dışında kalan nötral bölge diyot akımına karşı bir direnç gösterir. Bu direnç seri direnç (R_s) olarak adlandırılır. Seri direnç etkisi yüksek gerilim değerlerinde daha etkin olmaktadır. Bu durum kontak yapıda diyot akımının azalmasına neden olmakta bunu sonucu olarak ta yüksek gerilim değerlerinde, I-V karakteristiğinde bükülmeye neden olmaktadır. Şekil 3.7 Schottky diyotta yüksek gerilim değerlerinde seri direnç etkisi diyot akımındaki azalmayı göstermektedir (Sze, 1981).



Şekil 3. 7 Seri direncin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi

Diyot yapısının seri direnç (R_s) oluşturduğu bir durum için (3.1) eşitliği;

$$I = I_0 \exp \left(\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Seri direnç etkisiyle grafik lineerlikten uzaklaşmaktadır. Direnç değeri arayüzeyin durumlarıyla doğrudan ilgilidir.

3.3.3. Norde fonksiyonu

İdeal Schottky diyotu için I-V karakteristiği (3.6) eşitliği ile ifade edilmişti. Diyotun seri direnci R_s etkisi I-V ölçümleri ile diyot parametrelerinin belirlenmesinde güçlükler neden olacaktır. I-V eğrisi grafiğinin lineer olduğu bölgeler $kT/e \ll V \ll IR_s$ aralığında sınırlı olacaktır. Diyotun seri direnç değeri (R_s) büyük olursa bu aralık doyma akımı I_0 için küçülecek ve güvenilir bir değer vermeyecektir. V gerilim değerinin küçük olduğu aralıkta, diyotun toplam akımı üzerinde tekrar birleşme akımlarının da büyük etkisi olacak, bu da akım I-V grafiğinin lineer kısmının $V=0$ noktasına doğru kesim noktası hesaplanan I_0 doyma akımının güvenilirliğini daha da düşürecektir.

Böyle durumlarda seri direnç ve engel yüksekliği büyüklüklerinin hesaplanması için kullanılabilecek yöntemlerden biri de Norde (1979) tarafından geliştirilmiştir. Norde fonksiyonu $F(V)$:

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{1}{A A^* T^2} \right) \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Diyot yapıları için seri direnç R_s , akım denklemi (3.6) eşitliği ile ifade edilmişti. Eşitlikte $V_d > kT/e$ kabulü ile işlemler yapıldığında eşitlik,

$$F(V) = \Phi_B + IR_s - \frac{1}{2} V \dots \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir.

Diyot yapısında İdeal durum için $R_s=0$ olur. Bu durumda $F(V)$ eşitliğinin eğimi $1/2$ eğim değerinde doğrusal bir çizgiyi verir. Eğim doğrusunun $F(V)$ eksenini kesiştiği nokta ϕ_B ' yi verir.

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{V}{R A A^* T^2} \right) \quad (3.9)$$

denklemini sadece bir direnç için ifade edilebilir.

$$\frac{dF}{dV} = R_s \left(\frac{dI}{dV} \right) - \frac{1}{2} \quad (3.10)$$

Yüksek gerilimler için $dF/dV = 1/2$ ile doğrusal bir çizgiye yaklaşacaktır. Eşitlik 3.6' nın diferansiyeli alındığında

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_d} \left(1 + R_s \left(\frac{dI}{dV_d} \right) \right)^{-1} \quad (3.11)$$

şeklinde bir eşitliğe ulaşılır. Bu eşitlikten;

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_d} (I_s \exp(\beta V_d)) = \beta I \quad (3.12)$$

elde edilir.

$$\frac{dF}{dV} = \frac{\beta R I}{1 + \beta R I} - \frac{1}{2} \quad (3.13)$$

eşitliğinde $dF/dV=0$ yazıldığında I_0 akımı elde edilecektir.

$$I_0 = \frac{1}{\beta R} = \frac{kT}{eR} \quad (3.14)$$

Bu eşitlik kullanılarak;

$$V_0 = I_0 R_s + V_d(I_0) = \frac{1}{\beta} + \ln \left(\frac{I_0}{A A^* T^2} \right) \quad (3.15)$$

şeklinde elde edilir ve $F(V)$ fonksiyonunun en küçük değeri olan,

$$F(V_0) = \frac{V_0}{2} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{I_0}{A A^* T^2} \right) \quad (3.16)$$

Bu eşitlikten I_0 , V_0 ve $F(V_0)$ ' ın ölçülen büyüklükleri kullanılarak, Seri direnç değeri

$$R_s = \frac{kT}{eI_0} \quad (3.17)$$

olarak elde edilir. Potansiyel engeli de

$$\Phi_B = F(V_d) + \frac{V_0}{2} - \frac{kT}{e} \quad (3.18)$$

şeklinde bir ifade olarak elde edilir. Norde'un geliştirdiği bu metot, ideal ve seri

direncin küçük durumlar için güncelliğini korumaktadır.

3.3.4. Cheung fonksiyonu

Schottky diyotların I-V karakteristiğinde, diyota uygulanan gerilimin yüksek değerlerinde, enerji-band diyagramında bükülmeye neden olan etken seri dirençtir. Seri direnç, engel yüksekliği, idealite gibi diyot parametrelerinin bulunabilmesi için geliştirilen yöntemlerden birisi de Cheung (1986) tarafından elde edilen Cheung fonksiyonlarıdır. Cheung, Norde $F(V)$ fonksiyonunun minimumunu tanımlamada karşılaşılan zorluklar ve tutarsızlıklar nedeniyle $F(V)$ 'nin minimum noktasını tanımlama işlevini hesaba katmadan I-V karakteristiklerinden elde edilen $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ gibi iki fonksiyondan diyotun temel parametrelerinin hesaplanabileceğini gösterdi (Efe, 2016).

Metal-yarıiletken diyotların ileri beslem I-V karakteristiklerinin hesaplanmasında, termiyonik emisyon teorisi ile ulaşılan akım yoğunluğu diyotun yük bölgesi alanı ile çarpılarak, Cheung yaklaşımına göre diyotun toplam akımı;

$$J_{s \rightarrow m} = \left(A^* T^2 \exp \left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT} \right) \right) \left(\exp \frac{eV}{kT} - 1 \right) \quad (3.19)$$

$$I = A.J = AA^* T^2 \exp \left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT} \right) \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} - 1 \right) \right) \quad (3.20)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikteki değişkenlerden $eV \gg kT$ olduğu için eşitlikteki 1 değeri göz ardı edilebilir. Deneysel çalışmalarda görülen durum, uygulanan gerilimin tamamı arınma bölgesine etki etmediğini göstermiştir. Bu durum diyot parametrelerinde ideal değerlerden uzaklaşmaya neden olmaktadır. Bu durum, birimsiz bir sabit olan n kullanılmaktadır. n değeri kullanıldığında akım denklemi,

$$I_n = AA^* n T^2 \exp \left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT} \right) \left(\exp \left(\frac{eV}{nkT} \right) \right) \quad (3.21)$$

eşitliğine dönüşecektir. Diyota uygulanan V gerilimi seri direnç etkisi nedeniyle IR_s kadar düşer. Bu durumda V gerilim değeri eşitlikte $V - IR_s$ olarak yazılırsa akım eşitliği,

$$I_n = A.J = AA^* n T^2 \exp \left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT} \right) \left(\exp \left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT} \right) \right) \quad (3.22)$$

ifadesine dönüşecektir.

Doğal logaritması alındığında eşitlik,

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I_n}{AA^*T^2}\right) + n\phi_{Bn} + I.R_s \quad (3.23)$$

olarak ifade edilmiş olur. Bu eşitliğin $\ln I$ ' ya göre türevi alındığında,

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + I.R_s \quad (3.24)$$

eşitliğine dönüşecektir. Bu eşitliğin $dV/d(\ln I) - I$ eğrisi çizildiğinde eğrinin doğrusal olacağı anlamına gelmektedir. Bu lineer çizginin eğimi seri direnç R_s değerini, düşey eksenle kesiştiği nokta ise idealite faktörü n ' yi verecektir (Cheung ve Cheung, 1986).

Schottky diyotun potansiyel engelini (ϕ_B) hesaplamak için, (3.22) eşitliği kullanılarak

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilecek $H(I)$ fonksiyonu tanımlanabilir. Bu durumda potansiyel engelini hesaplamak için eşitlikler (3.23) ve (3.24) kullanılarak

$$H(I) = n\phi_{Bn} + I.R_s \quad (3.26)$$

eşitliğine ulaşılır.

Eşitlik (3.26)' nın $H(I)-I$ eğrisi çizildiğinde eğri doğrusal bir çizgi şeklinde olacaktır. Bu lineer çizginin eğimi seri direnci (R_s) ,lineer çizginin $H(I)$ eksenini ile kesiştiği nokta ise $e\phi_{Bn}$ değerini verecektir.

3.4. Yarıiletkenlerin Kapasite - Gerilim (C-V) Özellikleri

Schottky diyotlarda arayüzeyde yükten arınmış deplasyon bölgesinde arayüzeyin metal ve yarıiletken tarafı pozitif ve negatif olarak zıt kutupla kutuplanır.Yapı bu durumda Kondansatör şeklinde yapılanmış olur. Geri beslem gerilim değeri yükseldikçe yükten arınmış bölge daha da genişleyecektir. Böylece Schottky bölgesinin kapasitesi de, bu yük dağılımının değişimiyle değişmiş olacaktır. Bu durum Schottky diyotlarına, gerilime bağlı değişken kapasitörler olarak kullanılmalarına da imkan

vermiş olacaktır. Schottky bölgesinin kapasitesini hesaplamak için, diyotun engel bölgesindeki potansiyel dağılımını ifade eden Poission eşitliği kullanılır. Poission eşitliği;

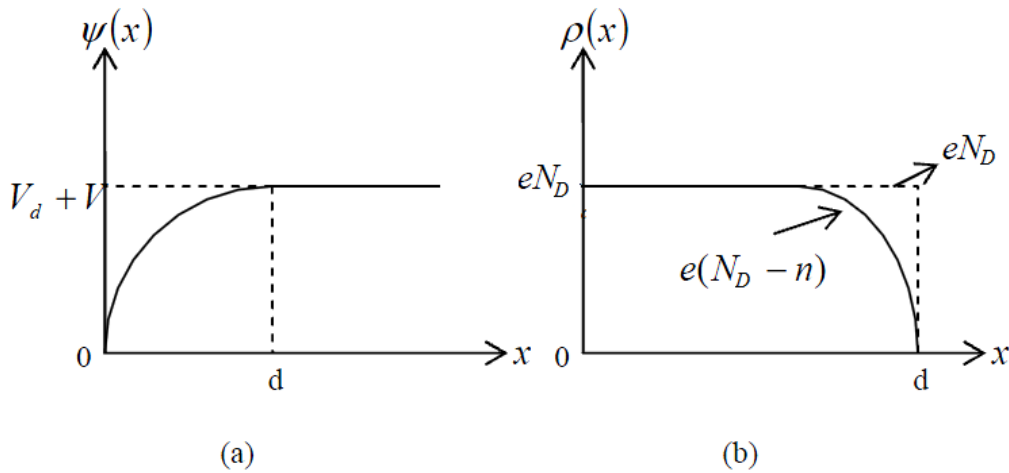
$$\nabla^2 \Psi(x) = \frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_s \epsilon_0} \quad (3.27)$$

şeklinde yazılabilir (Ziel, 1968).

Eşitlikteki ϵ_s yarıiletken maddenin yalıtkanlık katsayısını, ϵ_0 ise referans boş uzay bölgesinin yalıtkanlık katsayısını, $\rho(x)$ uzay-yük yoğunluğunu tanımlamaktadır. Bu durumda;

$$\rho(x) = e(N_a - N_d) \quad (3.28)$$

Şeklinde ifade edilmektedir (Rhoderick, 1988). İfadedeki N_d ; yarıiletken tabakanın iyonize durumdaki verici yoğunluğu, N_a ; yarıiletken tabakanın iyonize durumdaki alıcı yoğunluğunu tanımlamaktadır. Uzaklığa bağlı olarak $\Psi(x)$ potansiyel fonksiyonu ve uzaklığa bağlı $\rho(x)$ grafiği Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 Metal n-tipi yarıiletken yapılarda doğrultucu diyotun; a) Potansiyel dağılımı, b) Yük dağılımı

Poission eşitliği ilk kez bir boyutlu olarak Baxandall (1971) tarafından geliştirilmiştir (Çalışkan, 2015). Eşitlikten faydalananarak Schottky engelinin serbest yük

bölgesinde oluşan elektriksel alan ve potansiyelde meydana gelen dağılım durumu elde edilebilir.

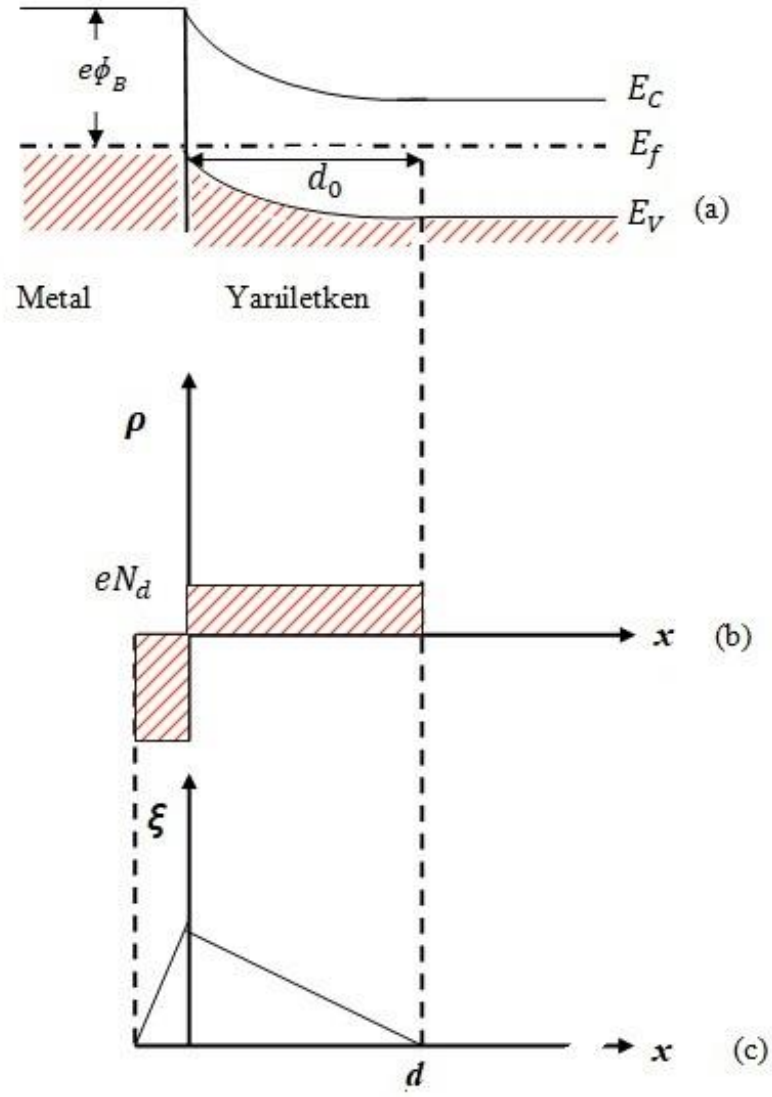
$$-\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{d\xi}{dx} = \frac{\rho_s}{\epsilon_s} \quad (3.29)$$

Bu ifadede yer alan ξ elektrik alanı, V , x konumundaki elektrostatik gerilimi, ϵ_s yarıiletkenin geçirgenliğidir. N_d arınma bölgesinde donör konsantrasyonu, d arınma bölgesinin (deplasyon bölgesi) kalınlığı, e de elektron yükü olmak üzere bu bölgedeki elektrik alanı;

$$\xi = eN_d d \quad (3.30)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Arınma bölgesinde gerilim değişimlerinin X uzaklığına bağlı değişimi paraboliktir. Potansiyel değişimin iletkenlik ve valans bandının uçlarındaki değişim aşağıda şekil 3.9' daki gibidir.



Şekil 3. 9 Ters beslem uygulanan Schottky diyot için; (a) Uzaklığa bağlı band diyagramı , (b) uzaklığa bağlı yük yoğunluğu, (c) Uzaklığa bağlı elektrik alan

$$x < d \text{ durumu için} \quad \rho = -eN_d \quad (3.31)$$

$$x > d \text{ durumu için} \quad \xi = 0 \quad (3.32)$$

V uygulanan gerilim, V_F built-in gerilimi olmak üzere deplasyon bölgesinin kalınlığı

$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{eN_d} (V_F - V)} \quad (3.33)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Arınma bölgesinde birim alana (A) düşen toplam yük değişimi dQ olmak üzere diyodun kapasitesi;

$$C = \frac{dQ}{dV} \left[\frac{e \epsilon_s \epsilon_0 N_d}{2(V_d \pm V)} \right] = \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{d} \quad (3.34)$$

ile ifade edilmektedir. Burada N_d taşıyıcı (difüzyon) konsantrasyonunu, V_d diffüzyon gerilimi, d bölgenin kalınlığını göstermektedir.

Eşitlik 3.34'e göre, diyota uygulanan gerilim artışıyla kapasite azalırken bölge kalınlığı artmaktadır. Kapasite (C), N_d 'ye bağlı bir fonksiyon olarak değerlendirildiğinde ise, N_d arttıkça kapasite artmış olur. Bu eşitlikten yararlanarak;

$$\frac{1}{C^{-2}} = \frac{2(V_d \pm V)}{e \epsilon_s \epsilon_0 N_d A^2} \quad (3.35)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikten $C^2 - V$ grafiğinin doğrusal olacaktır. Bu doğrunun eğimi ile taşıyıcı konsantrasyonu;

$$N_d = \frac{2}{A^2} \frac{1}{e \epsilon_s \epsilon_0} \frac{dV}{d(C^{-2})} \quad (3.36)$$

eşitliği olarak ifade edilebilir. Elde edilmiş doğrusal grafiğin yatak eksenle kesiştiği noktadan V_d diffüzyon gerilimi bulunmuş olur.

Ayrıca n-tipi diyot için, sıcaklık faktörüne bağlı kapasite (C);

$$C = A \sqrt{\frac{e \epsilon_s \epsilon_0 N_d}{2(V_d \pm V)}} \sqrt{\left(V_d - \frac{kT}{e} \right)} \quad (3.37)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada e elektron yükünü, ϵ_s , ϵ_s sırasıyla yarıiletkenin ve boş uzayın dielektrik sabitini, k ; Boltzman sabitini, N_d yarıiletkendeki iyonize olmuş donör konsantrasyonunu göstermektedir. Diyotun kapasitesinin geri besleme bağlı ölçümü ile doğrultucu kontağın engel yüksekliği, taşıyıcı konsantrasyonu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi de hesaplanabilir (Wilmsen, 1985).

Arayüzey durumlarının kontak yapısında önemi görülmektedir. Arayüzey durumlarının enerjisi (E_{ss}) de önemli bir parametredir. Metal n-tipi yarıiletkenin arayüzey durumlarının enerjisi iletim bandı (E_c) taban değerine göre;

$$E_c - E_{ss} = e(\phi_B - V) \quad (3.38)$$

şeklinde ifade edilir (Cowley, Sze, 1965).

Arayüzey hal yoğunluğu da;

$$N_{ss} = \frac{\varepsilon_i}{e\delta}(n - 1) \quad (3.39)$$

eşitliğinden hesaplanabilir (Esen, 2011). Bu eşitlikte ε_i arayüzey tabakanın elektriksel iletkenliğini, δ arayüzey tabakanın kalınlığını, n idealite faktörünü göstermektedir.

Termal denge halindeki yapı için elektron ve deşik (hol) konsantrasyonu n_0 ; iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu N_c , olmak üzere;

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (3.40)$$

şeklinde ifade edilir (Neamen, 1992).

Eşitlik 3.40'ün, ($E_f = 0$) ve ($E_c = 0$) durumuna göre logaritması alınarak Fermi enerji seviyesi;

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_c}\right) \quad (3.41)$$

şeklinde elde edilmiş olur.

MIS diyota dış alternatif gerilim uygulanınca yalıtkan tabakada yük yığılmalarıyla sıcaklık artar ve enerji kaybı meydana gelir. Bu ısınma ve enerji kaybı gerilimin artan frekansı ile artmaktadır. Alternatif gerilim kaynağının 0.5 MHz 'den yüksek frekanslarda diyotun R_s değeri ve kapasitans (C) ve kondüktans (G) değerleri arasında yalın hale getirilmiş

$$R_s = \frac{G}{G^2 + (\omega C)^2} \quad (3.42)$$

eşitlik yazılabilir. Burada ω açısal hızı göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Elde Edilen Bulgular

Üretilen Al/ST/n-InP diyotun ölçümleri KEITHLEY 4200-SCS cihazı oda sıcaklığında ışık ve karanlık ortamda alındı. Işık kaynağı olarak gücü 100 mW/cm^2 olan solar simülatörü kullanıldı. Ölçümler 100 kHz adımlarla 100 kHz-900 kHz aralıklarında alındı. Karanlık ortamda (-2V)-(+2V) aralığında 0.05V' luk adımlarla gerilim uygulandı. Işık altında alınan ölçümler ise (-2V)-(+2V) aralığında 0.002V' luk adımlarla alındı.

4.1.1. Akım – gerilim karakteristikleri

Akım-Gerilim karakteristikleri, ifadelerden bölüm 3.3.4' de ifade edilen eşitliklerin son ifadelerinden yararlanılarak elde edildi.

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

$$n = \left(\frac{e}{kT} \right) \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (\text{İdealite faktörü}) \quad (4.2)$$

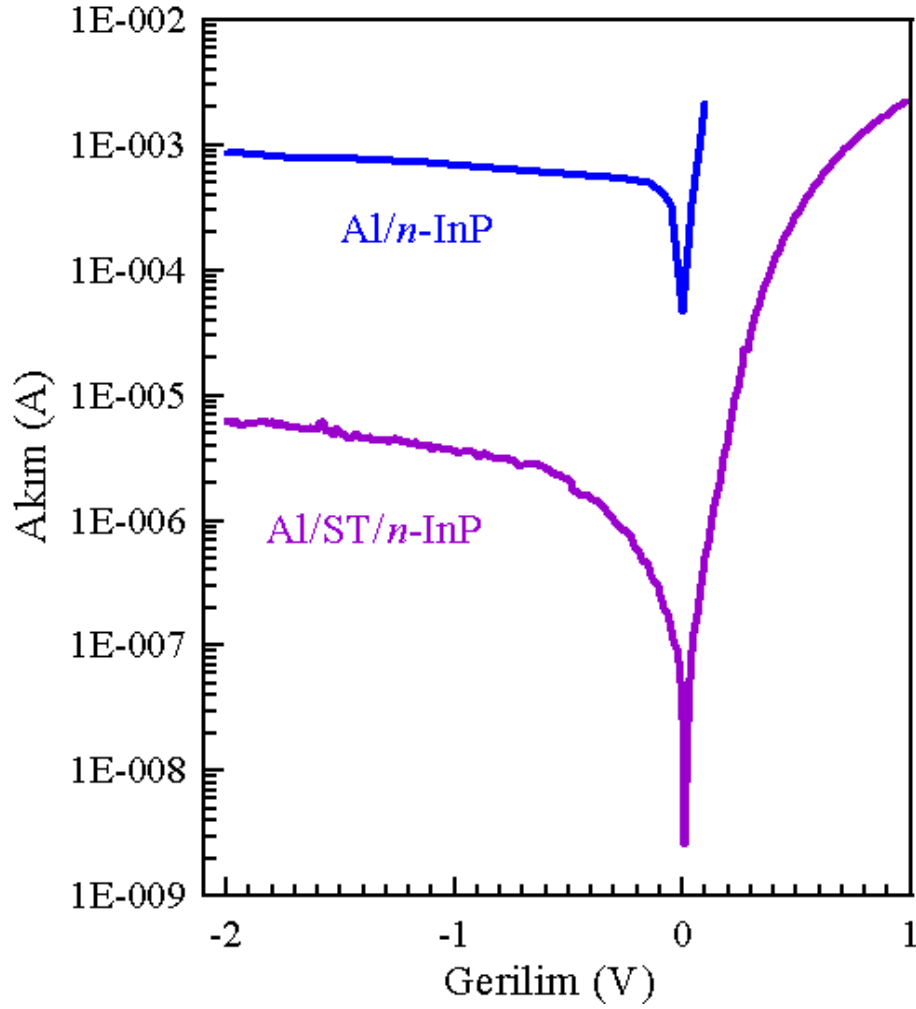
$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (\text{Saturasyon akımı}) \quad (4.3)$$

$$e\Phi_b = kT \ln\left(AA^* T^2 / I_0\right) \quad (\text{Engel Yüksekliği}) \quad (4.4)$$

$$H(I) = n\phi_{bn} + I.R_s \quad (\text{Seri direnç, Cheung}) \quad (4.5)$$

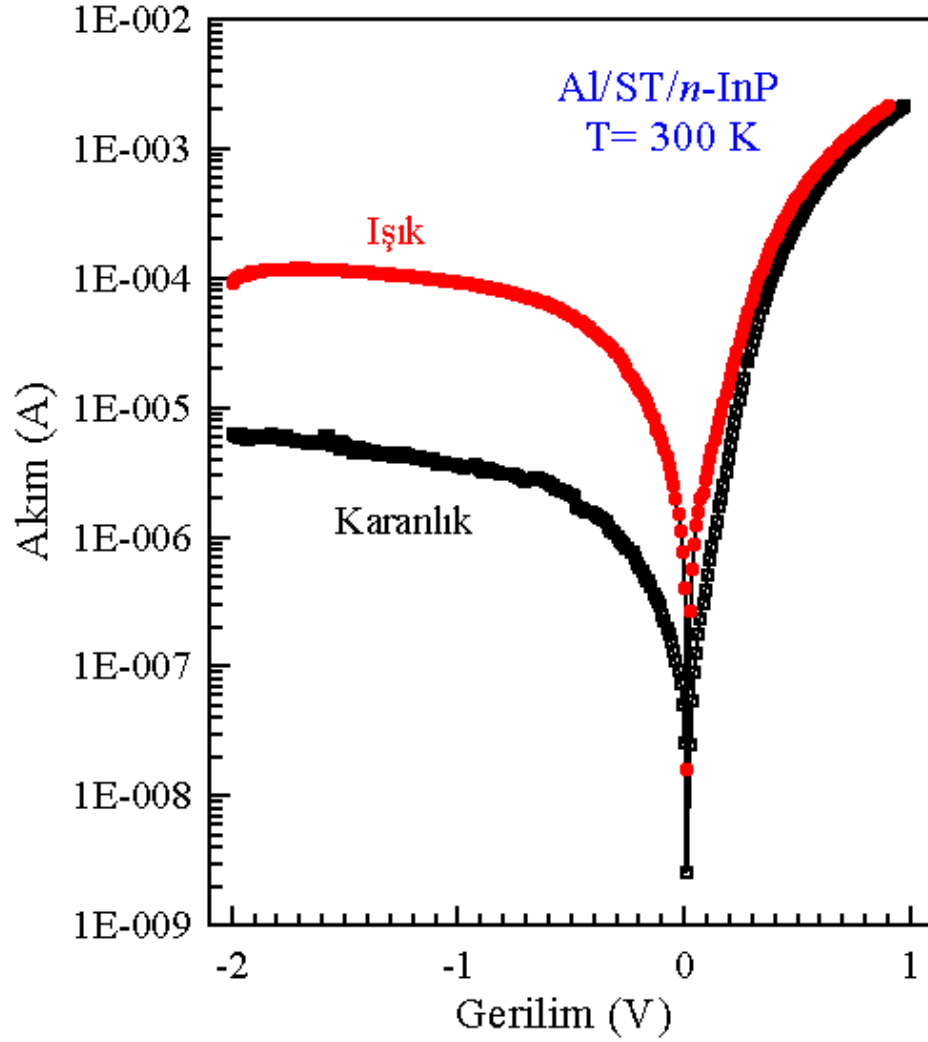
Diyotlarda genel olarak $\ln I$ parametresinin gerilime bağlı grafiğinde ileri belsem gerilimde lineer görünüm beklenmektedir. Yapılan çalışmalarda gerilim değeri arttıkça seri direnç ve arayüzey durumları nedeniyle lineerlikten uzaklaşıldığı görülmektedir. Bu durumda idealite faktörü 1'den büyük bir değer almaktadır. İdealite faktörünün 1'den büyük olması diyotun ideallikten uzaklaştığını göstermektedir (Güllü, 2010).

Seri direnç etkisi ve arayüzey durumları ve kullanılan yalıtkan durumları İdeallikten uzaklaşmanın önemli nedenlerindendir (Sze, 1981).



Şekil 4. 1 Organik ara yüzelsiz Al/n-InP referans ve organik arayüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında I-V grafikleri

Şekil 4.1' de referans alınan Al/n-Inp ve çalışmada kullanılan Al/ST/n-InP diyotlarının karanlık $\ln I$ -V grafikleri görülmektedir. Referans Al/n-InP diyot için hesaplanan n idealite faktörü $n=1.1$ ve engel yüksekliği $\phi_B=0.45$ eV olarak ölçüldü. Cheung fonksiyonları kullanıldığında, çalışılan Al/ST/n-InP diyotun idealite faktörü $n=3,433$, bariyer engeli de $\phi_B=0,574$ eV olarak ölçüldü. Aynı verilerin Norde fonksiyonlarına göre bariyer engeli $\phi_B=0,748$ eV olarak ölçüldü (Çizelge 4.1). Grafik analizinden, referans diyota göre, ters beslem gerilimde akımın yaklaşık 100 kat arttığı gözlenmiştir. Bu duruma ST organik tabakasının, metal ile n-InP arasında ilave bir direnç etkisi göstermesi neden olmuştur.



Şekil 4. 2 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Işık ve Karanlık ortam I-V grafikleri (ışık gücü 100 mW/cm²)

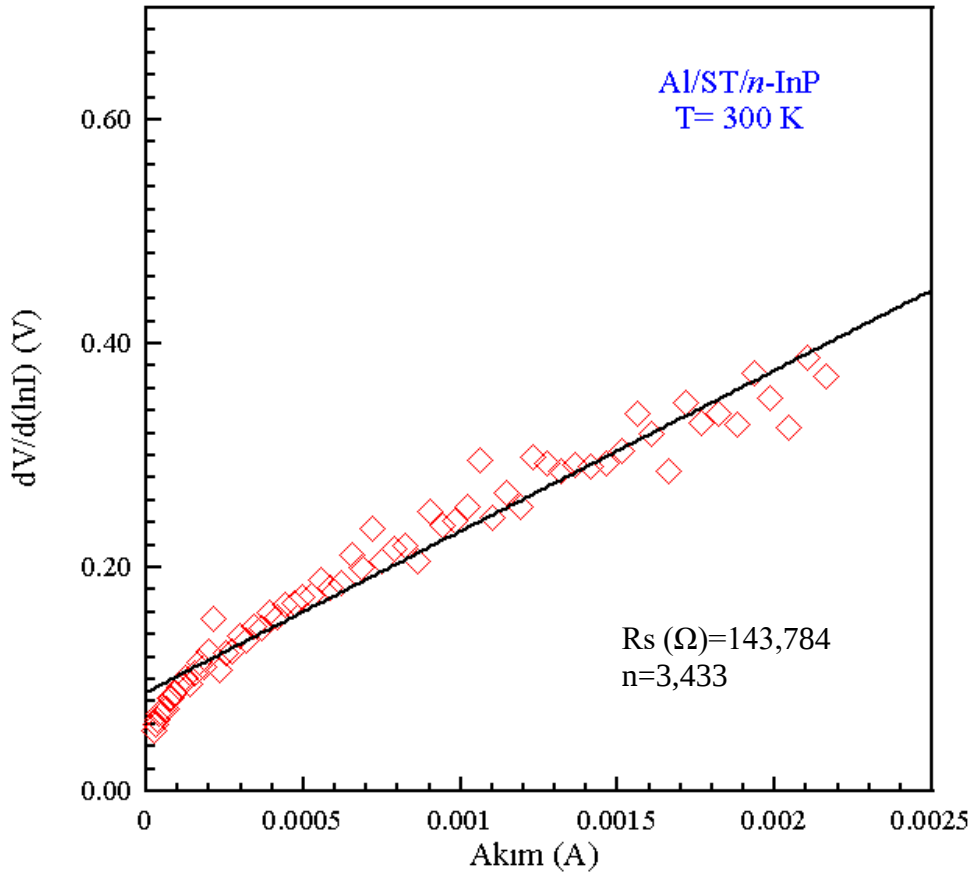
Şekil 4.2' de Al/ST/n-InP diyotunun karanlık ve ışık altında I-V grafikleri görülmektedir. Diyotun geri beslem gerilim ve ışık altında akım değerinin 10 kat fazla arttığı gözlenir. Işıktan dolayı ortaya çıkan elektron ve boşluk çiftlerinin akımda artışa olmuştur. İleri belsem değerinde ışığın akım üzerinde belirgin etkisi olmadığı, gerilim değeri arttıkça karanlık ve ışık ortamında da lineerlikten ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum literatüre uygun olarak seri direnç etkisiyle gerçekleşmektedir. I-V grafik verilerinden, çalışılan Al/ST/n-InP (MIS) diyotun doğrultucu bir davranış gösterdiği sonucuna varılır.

Seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi diyot parametrelerinin bulunabilmesi için birkaç yöntem vardır. Bunlardan biri Cheung tarafından türetilen Cheung fonksiyonlarıdır.

$dV/d(\ln I)$ metodu ile idealite faktörü n ve seri direnç değeri R_s ;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (4.6)$$

eşitliğinden bulundu.



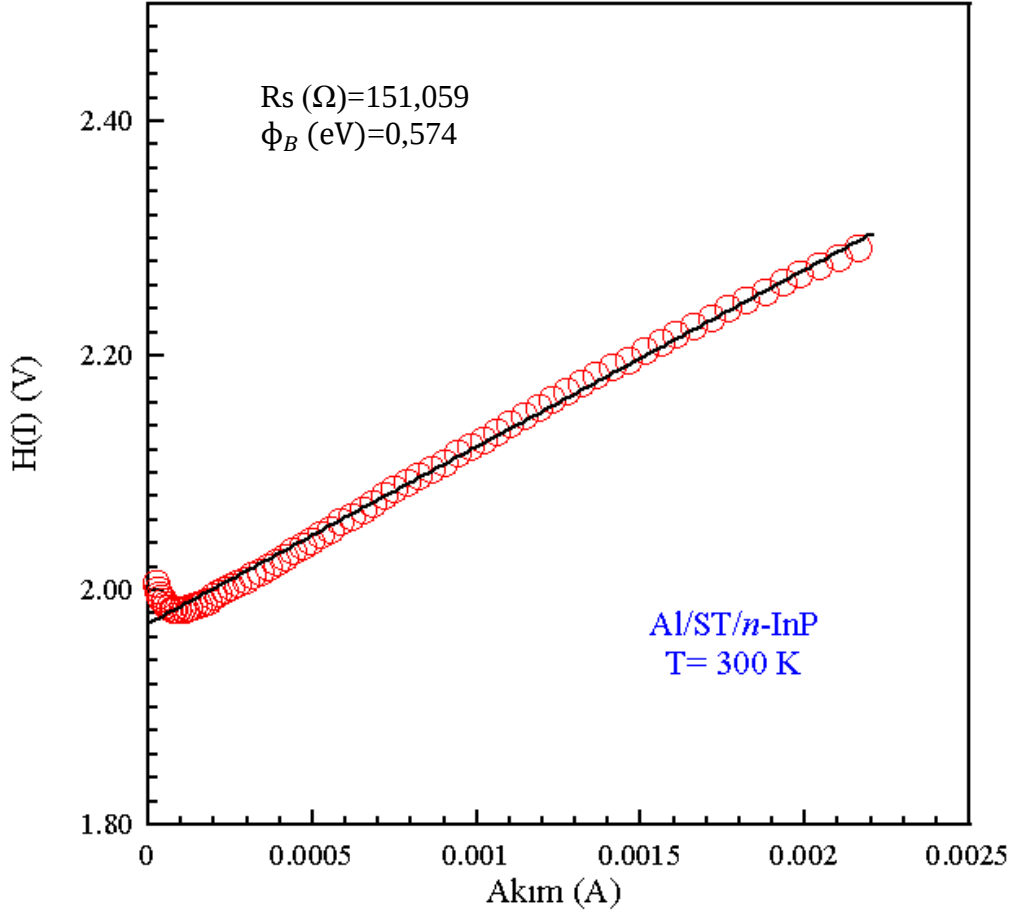
Şekil 4. 3 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $dV/d(\ln I)$ - I grafiği

Şekil 4.3' de Al/ST/n-InP diyotun $dV/d(\ln I)(V) - I$ grafiğinden lineer doğrunun eğiminden diyotun Cheung fonksiyonuna göre $R_s=143,784 \Omega$ olarak bulundu. Cheung fonksiyonuna göre lineer doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü $n=3,433$ olarak elde edilmiştir. İdealite faktörünün 1'den büyük olması arayüzey durumlarının yanında ölçüm yöntemine de atfedilmiştir.

$H(I)$ - I metodu ile Schottky bariyer engeli ϕ_B ve seri direnç değeri R_s ;

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (4.7)$$

eşitliğinden bulundu



Şekil 4. 4 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $H(I)$ - I grafiği

Şekil 4.4' de $H(I)$ - I grafiğinden Al/ST/n-InP diyotunun seri direnci $R_s=151,059 \Omega$, grafiğin lineer doğrusunun düşey $H(I)$ eksenini kestiği noktadan Schottky bariyer engel yüksekliği $\phi_B=0,574$ eV olarak ölçülmüştür.

Eşitlik 4.7'ye göre çizilen $H(I)$ - I grafiğinin eğiminden hesaplanan seri direnç değerinin, $dV/d(\ln I)(V) - I$ grafiğinden ölçülen seri direnç değerine yakın bir değer olduğu görülmüştür.

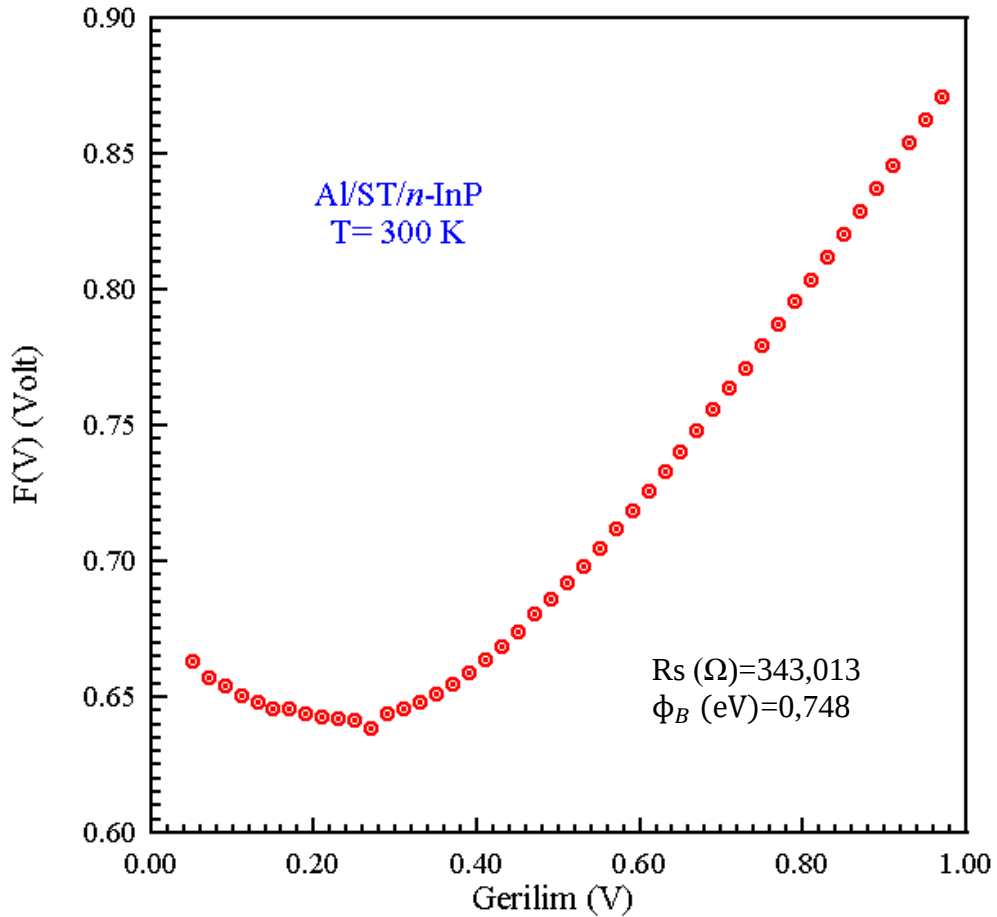
Diyot parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise Norde metodudur. Bu metot ile de seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü hesaplandı. Hesaplamalar için bölüm 3.3.3' de ifade edilen,

$$n = \left(\frac{e}{kT} \right) \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (\text{İdealite Faktörü}) \quad (4.8)$$

$$\Phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{e} \quad (\text{Engel Yüksekliği}) \quad (4.9)$$

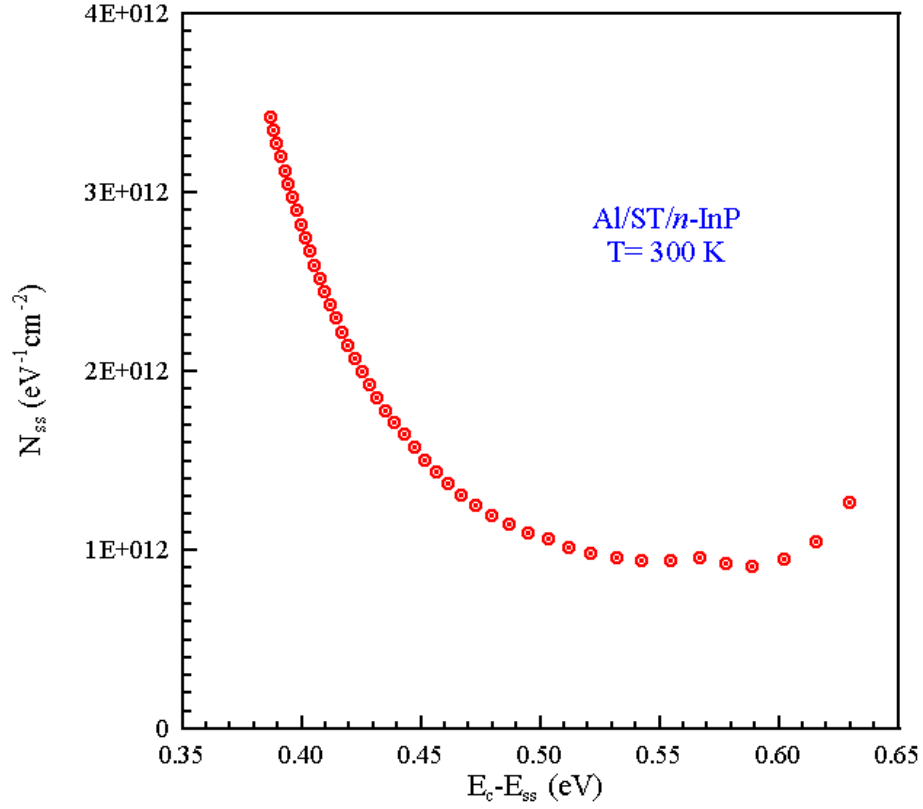
$$R_s = \frac{kT(\gamma - \eta)}{eI_0} \quad (\text{Seri Direnç}) \quad (4.10)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplamalar yapıldı.



Şekil 4. 5 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Norde Fonksiyonlarından elde edilen $F(V)$ - V grafiği

Norde fonksiyonlarından elde edilen $F(V)$ - V grafiğinden yapılan ölçümlerde (Çizelge 4.1) elde edilen engel yükseklik değeri $\Phi_B = 0,748$ eV olarak, Seri direnç etkisi de $R_s = 343,013 \Omega$ olarak ölçüldü.



Şekil 4. 6 Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Norde Fonksiyonlarından elde edilen $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafiği

Arayüzey durum yoğunluğu Rhoderick ve Card (1971) tarafından ifade edilmiştir. Şekil 4.6' da elde edilen N_{ss} değerleri yarıiletken yapılar için uygun olarak yaklaşık $10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebesinde elde edilmiştir.

Çizelge 4. 1 Al/ST/n-InP diyotundan alınan ölçümlerin Cheung ve Norde fonksiyonlarından elde edilen diyot parametreleri

Cheung Fonksiyonu				I-V Grafiği		Norde Fonksiyonu	
dV/d(lnI)-I Grafiği		H(I)-I Grafiği				F(V ₀)-V ₀ Grafiği	
R _s (Ω)	n	R _s (Ω)	ϕ _B (eV)	n	ϕ _B (eV)	R _s (Ω)	ϕ _B (eV)
143,784	3,433	151,059	0,574	1,687	0,661	343,013	0,748

4.1.2. Kapasite – gerilim karakteristikleri

Al/ST/n-InP diyotun C-V ölçümlerinden yararlanarak elde edilen kapasite-gerilim karakteristikleri aşağıya çıkarılmıştır. Hesaplamalar 3.4 başlığında ifade edilen eşitliklerin aşağıdaki son ifadelerinden ve grafiklerden yararlanılarak elde yapıldı.

$$C = A \left(\frac{\epsilon_s \epsilon_0 e N_d}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(V_d - \frac{kT}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Diyot kapasitesi}) \quad (4.11)$$

$$C^{-2} = \frac{2(V_d + V)}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 N_d} \quad (\text{Diyot kapasitesi}) \quad (4.12)$$

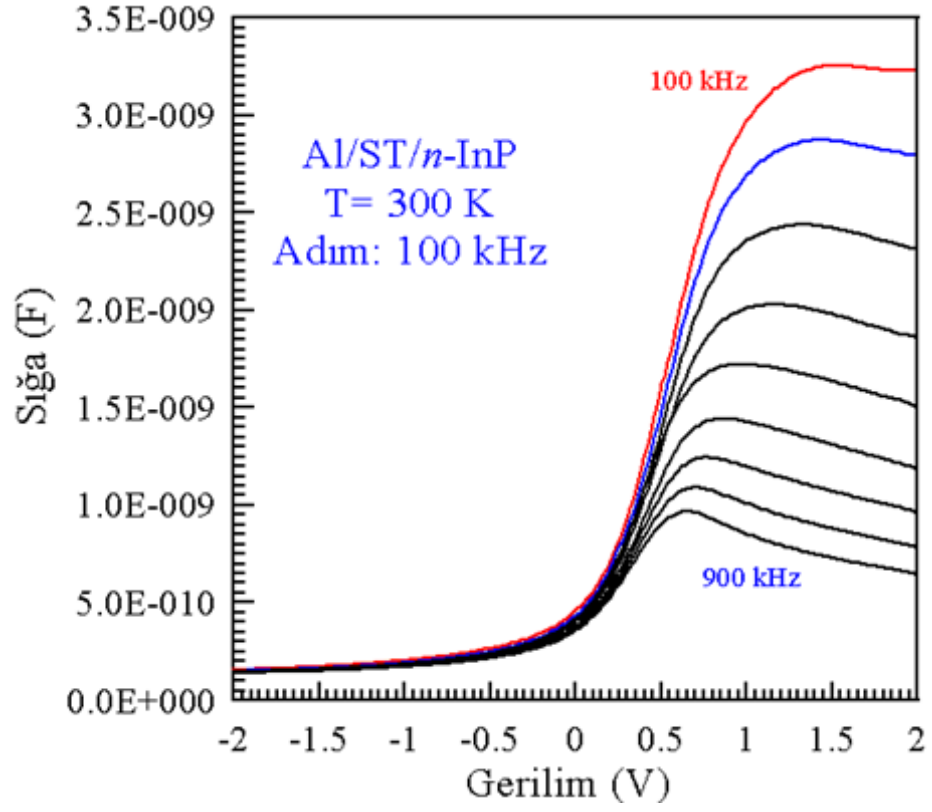
$$N_d = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 \frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (\text{Donor konsantrasyonu}) \quad (4.13)$$

$$E_f = kT \ln \left(\frac{N_d}{N_c} \right) \quad (\text{Fermi Enerji seviyesi}) \quad (4.14)$$

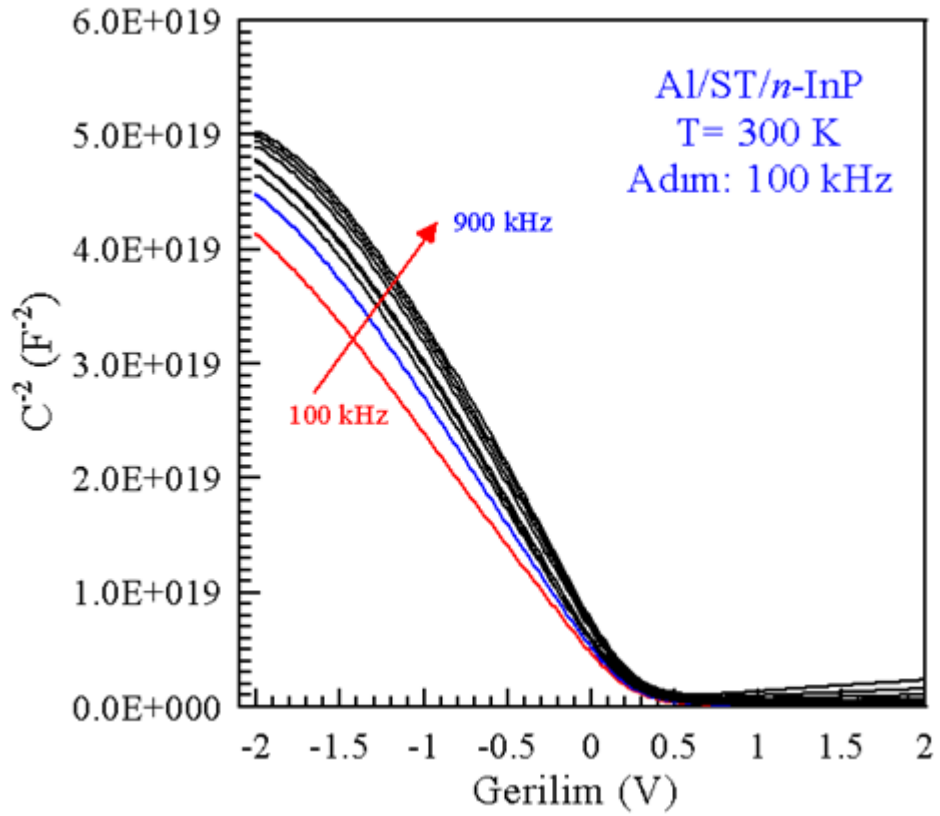
Diyotların C-V ölçümlerinden elde edilen veriler diyotların yarı iletken teknolojisindeki kullanım durumu ve çalışmaların daha ileriye gidebilmesi için önemli parametreler içermektedir.

Çizelge 4. 2 Al/ST/n-InP diyotundan alınan ölçümlerin Kapasite- grafiklerinden elde edilen diyot parametreleri

Frekans (kHz)	C-V			
	V_d (V)	E_f (eV)	$N_d (\times 10^{15} \text{ cm}^{-3})$	Φ_B (eV)
100	0,390	0,100	10,420	0,490
200	0,391	0,102	9,439	0,493
300	0,422	0,103	9,124	0,525
400	0,477	0,103	9,078	0,580
500	0,523	0,103	9,327	0,626
600	0,546	0,103	9,044	0,649
700	0,582	0,103	9,062	0,685
800	0,619	0,103	9,105	0,722
900	0,727	0,102	9,455	0,829



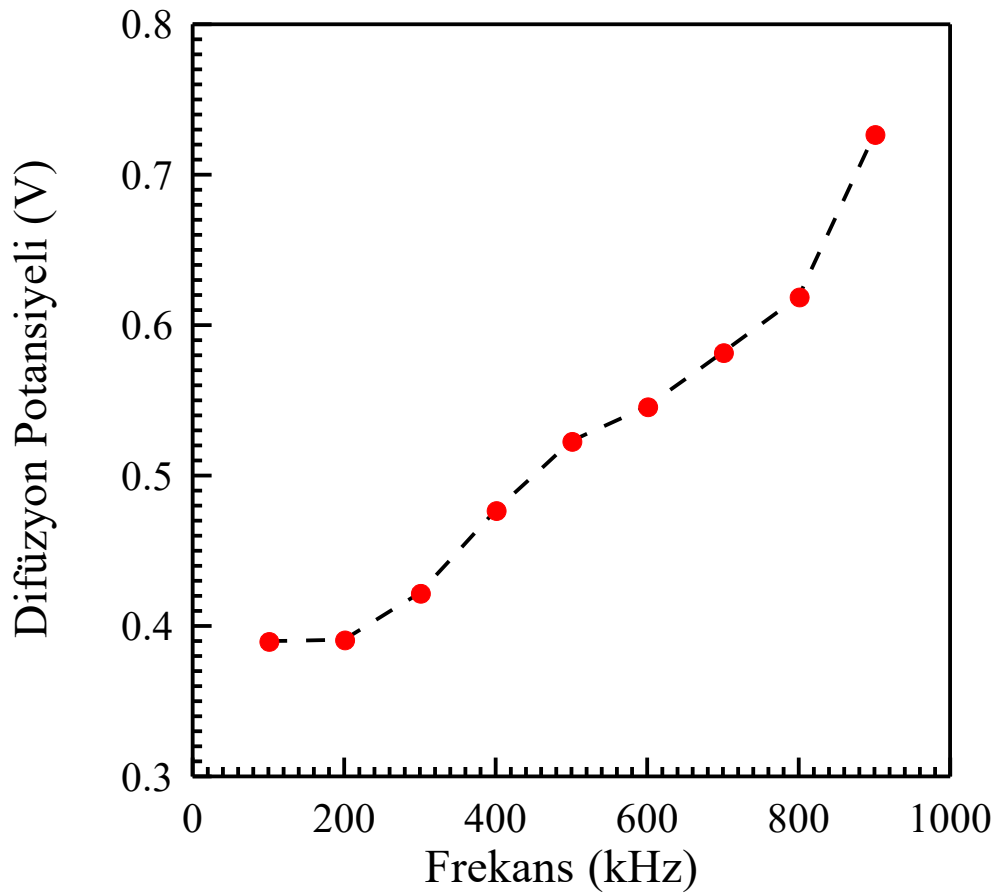
Şekil 4. 7 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında C-V grafikleri



Şekil 4. 8 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında $1/C^2$ -V grafiği

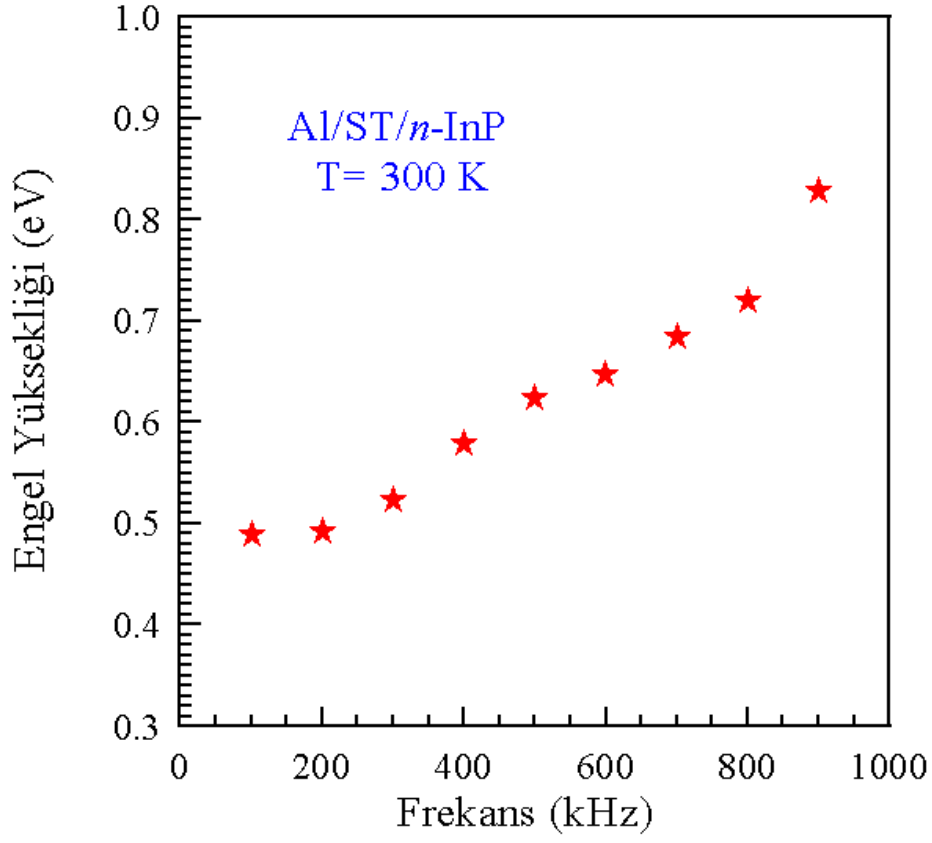
Şekil 4.7’ de 100 kHz adımlarla 100-900 kHz aralıklarında alınan ölçümlerden elde edilen verilerden elde edilen C-V grafiği görülmektedir. Grafikte ileri beslemde frekansın azalmasıyla sığa değerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 4.8’ de C^{-2} -V grafiğinin lineer doğrusunun yatay eksenini kestiği noktadan V_d hesaplandı. V_d artan frekansla 0,390 V değerinden başlayarak yaklaşık iki katına çıkarak 900 kHz değerinde 0.727 V değerine ulaşmıştır. 900-100 kHz adımlarla 100-900 kHz’ e kadar ters beslem geriliminde kapasite değerinin azaldığı görülmektedir. Shottky bariyer engeli $\Phi_B=0,490$ eV’ dan başlayıp $\Phi_B=0,829$ eV değerine kadar çıktığı görülmektedir.

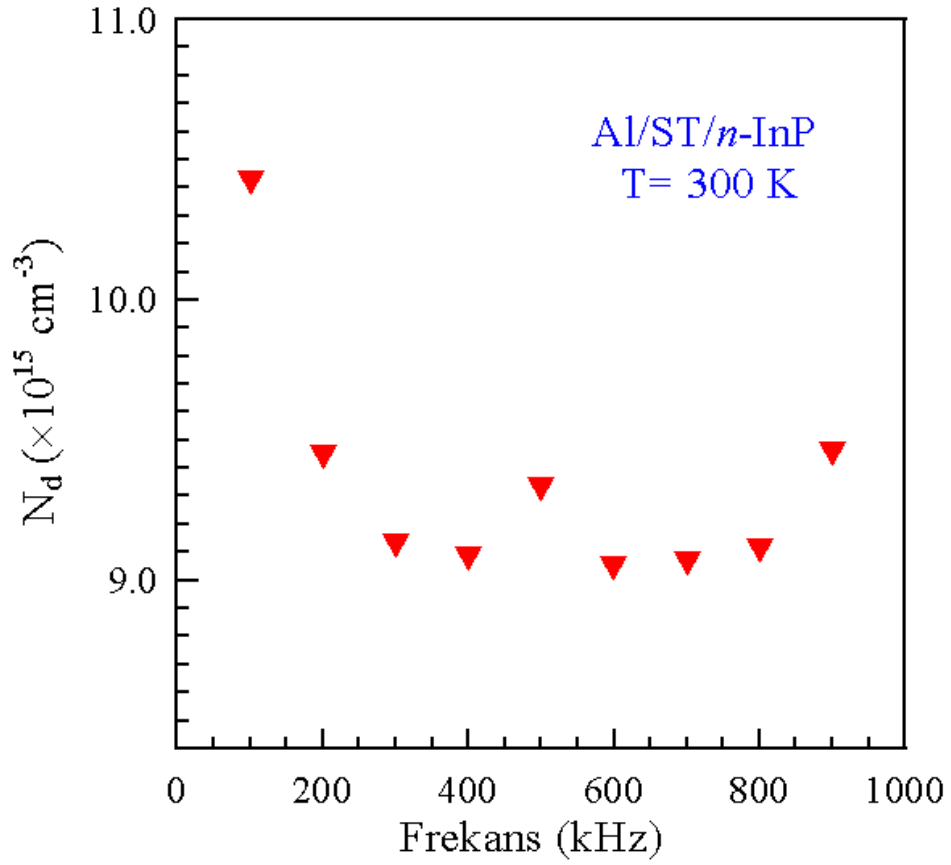


Şekil 4. 9 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Difüzyon potansiyeli-Frekans grafiği

Al/ST/n-InP diyotundan 100 kHz frekansla başlamak üzere 100 kHz’ lik adımlarla alınan ölçümlerden difüzyon potansiyel değerinin 900 kHz ölçümüne kadar yaklaşık 2 katına çıktığı görülmektedir (Şekil 4.9).



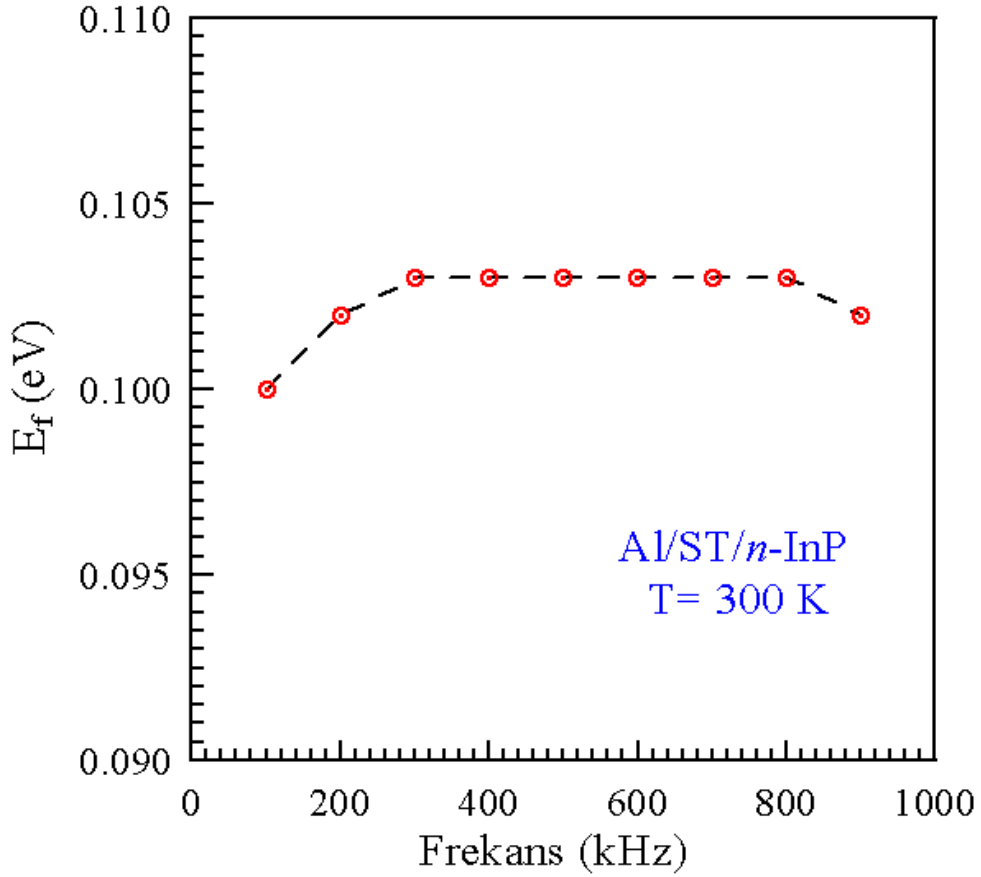
Şekil 4. 10 Organik ara yüzeyli Al/ST/*n*-InP diyotunun oda sıcaklığında Engel Yüksekliği-Frekans grafiği



Şekil 4. 11 Organik ara yüzeyli Al/ST/*n*-InP diyotunun oda sıcaklığında Nd-f grafiği

Şekil 4.10' da frekans değerinin artmasıyla engel yüksekliğinin arttığı görülmektedir.

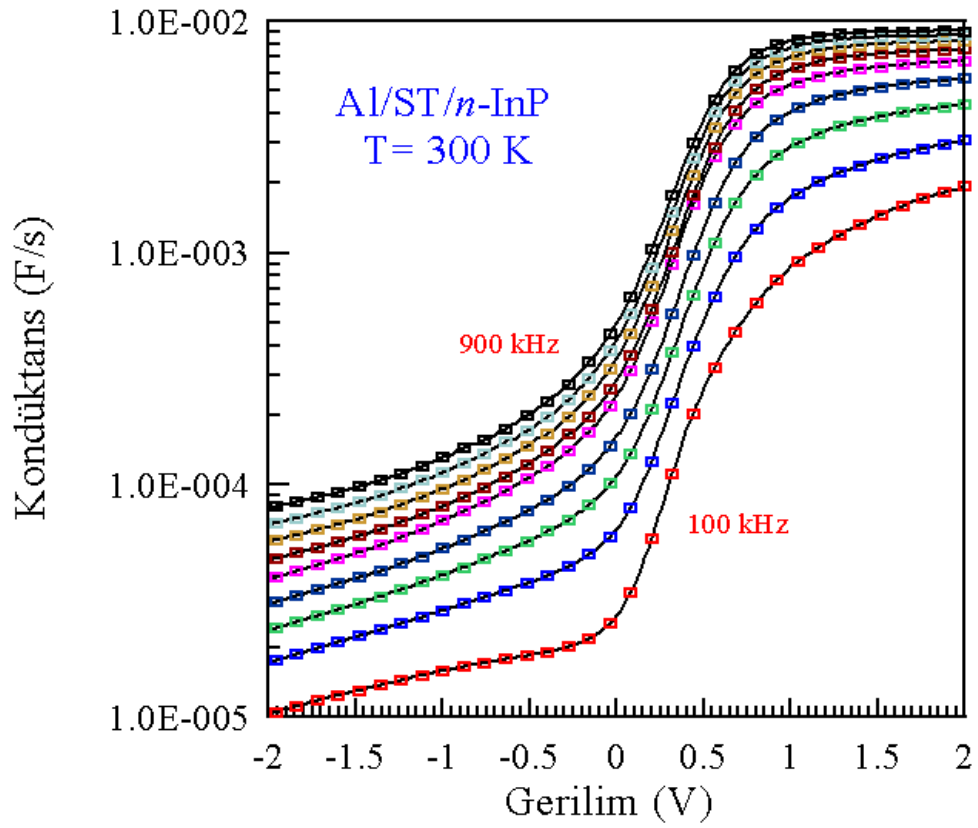
Şekil 4.11' de donör konsantrasyonunun tam bir kararlılık doğrusu izlemediği ancak 200 kHz-900 kHz frekans değerleri aralığında yatay görünüm izlemektedir. Çizelge 4.2' de donör konsantrasyon değeri N_d , $9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ değerinden biraz yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 12 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Fermi enerji seviyesi-Frekans grafiği

Şekil 4.12' de Fermi seviyesinin frekansa bağlı grafiği incelendiğinde fermi enerji seviyesinin frekansa bağlı olarak belirgin bir değişme göstermediği görülmektedir.

Fermi seviyesi; 100 kHz frekansta $E_f=0,100 \text{ eV}$ ile başlayıp 900 kHz frekansta $E_f=0,102 \text{ eV}$ değerini almaktadır. Fermi seviyesi 200 kHz ile 900 kHz aralığında yatay görünüm izlemektedir.



Şekil 4. 13 Organik ara yüzeyli Al/ST/n-InP diyotunun oda sıcaklığında Kondüktans-Gerilim grafiği

C-V ölçümleri arayüzey değerlerine bağlı olarak hassaslık göstermektedir. Kullanılan arayüzeyin fiziksel durumu da parametreleri etkilemektedir. Frekans arttıkça gerilimle de doğru orantılı olarak kondüktans değerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.13). Sonuç olarak kondüktans değerleri artan frekans değeri için artan gerilimle arttığı görülmüştür.

MIS yapıların kalitesi N_{ss} ve R_s değerlerine bağlıdır. Bu yapıların teknolojiye uygulamalarında en iyi verim için frekansa bağlı karakterizasyonu iyi anlaşılmalıdır. < kapasitans ve kondüktans değerleri de N_{ss} ve R_s değerlerine bağlıdır. N_{ss} , frekansın güçlü bir fonksiyonu olarak artan frekansla üstel olarak azalmaktadır. Aynı şekilde C-V ve kondüktans-gerilim değerleri de frekansa bağlıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada Al/ST/n-InP (MIS) diyotun elektriksel ve arayüzey özellikleri oda sıcaklığında, karanlık ortamda ayrıca 100 mW/cm^2 ışık gücünde solar simülatörü ile ışık altında incelendi. Diyotun akım-gerilim (I-V) ve kapasite gerilim (C-V) ölçümleri diyot üzerinden belirlenen bir noktadan KEITHLEY 4200-SCS cihazı ile alındı. Ölçüm değerlerinin grafikleri aynı cihaz ile elde edildikten sonra diyotun karakteristikleri hesaplandı (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2). Ölçümlerde Cheung ve Norde fonksiyonlarından yararlanıldı.

Akım-Gerilim (I-V) ölçümlerinde referans Al/n-InP diyotunun idealite faktörü $n = 1.1$ olarak Schottky engel yüksekliği $\phi_B = 0.45 \text{ eV}$ olarak ölçüldü (Şekil 4.1). Çalışmada kullanılan Al/ST/n-InP diyotun Chung fonksiyonlarına göre elde edilen $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinden idealite faktörü $n = 3.433$ ve bariyer engeli de $\phi_B = 0.574 \text{ eV}$ ve seri direnci $R_s = 143,784 \Omega$ olarak ölçüldü. $H(I)$ -I Grafiği ile elde edilen seri direnç etkisi $R_s = 151,059 \Omega$ olarak ölçüldü. Aynı ölçümlerin Norde Fonksiyonlarıyla elde edilen $F(V_0)$ - V_0 grafiğinden elde edilen seri direnç $R_s = 343,013 \Omega$ ve potansiyel engeli $\phi_B = 0.748 \text{ eV}$ olarak ölçülmüştür. Bu değerler arasındaki farklılık ölçme yöntemlerindeki farklılığa atfedilmiştir.

Diyot üzerinde tespit edilen bir ölçüm noktasından, 100 mW/cm^2 ışık gücünde solar simülatörü kullanılarak ışık altındaki ölçümleri alındı Aynı noktadan oda sıcaklığında ve karanlık ortamda ölçümler alındı (Şekil 3.4). Karanlık ve ışık altındaki ölçümler ile elde edilen akım-gerilim (I-V) grafiğinden, geri beslem gerilimde ışık etkisiyle akım şiddetinin karanlık ortama göre 10 kat yüksek olduğu görüldü. Bu durum metal-yarıiletken yüzeyler arasına konulan arayüzey ST tabakasında ışık etkisiyle elektron ve hol çiftlerinin arttığına atfedilmiştir.

Diyottan alınan ölçümler ile Cheung fonksiyonundan elde edilen $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinden seri direnç değeri $R_s = 143,784 \Omega$, idealite faktörü $n = 3,433$ olarak ölçülmüştür. Direnç etkisi ST arayüzeyin varlığına atfedilmiştir. Akım-gerilim (I-V) ölçümlerinden Cheung eşitlik 4.2 'deki fonksiyonundan elde edilen $H(I)$ -I grafiğinden (Şekil 4.4) elde edilen seri direnç değeri $R_s = 151,059 \Omega$ ve Schottky bariyer engeli yüksekliği $\phi_B = 0.574 \text{ eV}$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler literatüre uygundur.

Güllü ve ark. 2008 yılında, elde ettikleri Al/ST T/n-Si/AuSb Schottky diyodun geri beslem gerilimde bariyer yüksekliğini $\phi_B=0,780$ eV, idealite faktörünü de $n = 3.52$ olarak ölçmüşlerdir. Elde ettikleri değerlerin bu çalışmada kullanılan Al/ST/n-Inp ile elde edilen idealite faktörü ve bariyer yüksekliğindeki farklılığa kullanılan altlık maddesinin farklılığına yorumlanabilir.

Arayüzey durum yoğunluğu yarıiletken diyotların önemli parametrelerden biridir. Şekil 4.6' da arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}), E_c-E_{ss} değerinin artan değeriyle azaldığı görülmüştür. Ölçümlerde N_{ss} değeri, diyotlar için öngörülen 10^{12} mertebesinde bulundu.

Al/ST/n-InP diyotun kapasite-gerilim (C-V) ölçümlerinden elde edilen veriler çizelge 4.2'de verilmiştir. Diyotun tespit edilmiş noktasından alınan C-V ölçümlerinden elde edilen sığa-gerilim grafiğinde ileri beslem gerilim altından frekansın azalan değeriyle sığanın arttığı, geri beslemde ise sığanın gerilimden bağımsız olduğu görülmüştür. Bu durum, ileri beslem gerilimle arayüzeyin dış bölgelerinde artan yük birikimi ve arayüzey ST maddesinin dielektrik özelliğine atfedilmiştir.

Al/ST/n-InP diyotundan elde edilen $C^{-2}(F^{-2})$ -V grafiğinde geri beslem gerilimde artan frekansla kapasitenin azaldığı, ileri beslemde kapasitenin gerilimden bağımsız olduğu görülmüştür. Difüzyon potansiyeli-Frekans grafiğinde (şekil 4.9), difüzyon potansiyelinin artan frekansla arttığı görülmüştür. Bu durum, ST arayüzey tabakanın kontak yapıldığı metal ve yarıiletken yüzlerinde artan yük miktarına atfedilmiştir. Schottky bariyer yüksekliğinin artan frekansla arttığı görülmüştür. Donor konsantrasyonu diyotların önemli parametrelerinden biridir. Çalışılan diyotun C-V ölçümlerinden elde edilen verilerle donör konsantrasyonu 9.10^{15}cm^{-3} 'den biraz büyük olduğu, 200-900 kHz frekans aralığında frekans değişiminden belirgin olarak etkilenmediği görülmüştür.

Fermi enerji seviyesi diyotlar için hayati önemde bir parametredir. Ölçümler ve elde edilen Fermi enerji seviyesinin frekansa bağlı grafiğinde, 100-300 kHz frekans aralığında Fermi seviyesinin artan frekansla arttığı, 300-900 kHz aralığında ise frekans değişiminden bağımsız olduğu görülmüştür. Bu durumun arayüzeyde oluşan arınma bölgesindeki stabiliteden kaynaklandığı düşünülmüştür. Çalışılan diyotun kondüktansının da artan gerilim ve frekansla arttığı görülmüştür. Bu durum arayüzeydeki hareketli yük yoğunluğuna atfedildi.

Sonuç olarak;

Akımın değerinin Işık durumuna bağlı olduğu görüldü, bu durum ışık etkisiyle arayüzeyde yük yoğunluğunun artmasına atfedilmektedir. Al/ST/n-InP diyot fotovolttaik özellik göstermektedir. İleri beslemde ışık durumunun parametrelerde belirgin bir değişmeye neden olmadığı görüldü. Ters beslemde ışık etkisiyle akım değerinin yükseldiği görüldü. Akımda meydana gelen artışa ışık etkisiyle elektron ve boşluk çiftlerindeki artışın neden olduğu değerlendirilmiştir.

Akım değerinin organik arayüzey kullanıldığında Karanlık ortamda ve ters beslemde 2 merteye (100 kat) değerinde azaldığı görüldü. Bu durum organik arayüzeyin direnç etkisini arttırdığına atfedildi.

Kapasitans (C) ve Kondüktans (G) ölçümlerinin, Al / ST / n-InP yapısı için ön gerilim ve frekansa güçlü bir şekilde bağlı olduğu bulunmuştur. Her frekansta, ölçülen kapasitans, 100-900 kHz frekans aralığındaki arayüzey durumlarının sürekli dağılımından dolayı artan frekans ile azaldığı görülmüştür. Kondüktans değerleri her frekans değeri için artan gerilimle arttığı görülmüştür.

ST organik bileşiğinin yarıiletken teknolojisinde kullanılabileceği görülmüştür.

5.2 Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında, devam eden ve yapılacak yeni çalışmalar için aşağıdaki öneriler sıralanmıştır.

- Bu çalışmada ölçümler oda sıcaklığında alındı. ST arayüzey kullanılarak elde edilecek MIS kontakların farklı sıcaklık değerlerinde birden çok ölçümü yapılarak kontakın parametrelerine sıcaklık etkisi de araştırılabilir.
- Elde edilecek MIS kontakta organik ST arayüzey tabakanın farklı kalınlıklarda kullanılması ile arayüzeyin kalınlığının diyot parametrelerine etkisi incelenebilir.
- Bu çalışmada ölçümler 0.2V adımlarla -2V ~ 2V ters ve ileri beslem gerilim aralıklarında yapıldı. Gerilim aralıkları ve adımları değiştirilerek uygulama geriliminin parametrelere etkisi incelenebilir.
- Diyot ölçümleri farklı frekans adımları ve aralıklarında alınarak bu çalışmada yer almayan parametrelerin frekansa bağlı durumları incelenebilir.
- Elde edilen Al/ST/n-InP diyotun ters beslemde akım değerinin arttırmak üzere elektronik devre elemanı olarak kullanılabilir.

- Çalışmada kullanılan diyotun ışıık altında akımı arttırdığı gözlenmiştir. Bu yönüyle ışıık duyarlı elektronik devre sistemlerinde devre elemanı olarak kullanılabilir. Ayrıca farklı ışıık gücünde ışıık kaynağı ile ölçümler alınabilir.

- Diyotlarda alınan ölçümlerin ideallığı diyotun hazırlanma aşamasındaki yöntemlere de bağılıdır. Bunlar; kullanılan malzemelerin temizliğı, pürüzsüzlüğü gibi, kontak oluştururken kullanılan metalin direnci vb. özelliklerdir. Ölçüm aşamasında verileri etkileyecek önemli durumlardan biri ise ölçümün alındığı noktadır. Ölçüm noktalarının homojensizliğı dikkate alınarak, farklı noktalardan ölçümler alınabilir.

KAYNAKLAR

- Ando K., Yamamoto A. and Yamaguchi M. , 1981, “Surface Band Bending Effects on Photoluminescence Intensity in n-InP Schottky and MIS Diodes”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 20, Number 6.
- Aslan F., Güllü Ö., Ocak Y.S., Rüzgar Ş., Tombak A.,Özaydın C., Pakma O., Arsel İ., 2015, Batman Üniversitesi *Yaşam Bilimleri Dergisi*; Cilt 5 Sayı 2, Organik Arayüzey Tabakalı Al/CuPc /p-InP Kontakların Fabrikasyonu Ve Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi.
- Aslan F., 2014, “Metal/ CuPc / İnorganik Yarıiletken kontakların Fabrikasyonu Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi,Bingöl Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*.Bingöl.25-29.
- Aydoğan Ş., 2004. Sn/PPy/n-Si/Au-Sb yapının bazı karakteristik parametrelerinin sıcaklığa bağlı akım-gerilim, kapasite-gerilim ve kapasite-frekans ölçümlerinden tayin edilmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Aydoğan Ş. , Güllü Ö. , Türüt A., 2008 , *Mat. Sci. Semicond. Process.* 11, 53-58.
- Balkanski, M., Wallis, R. F., 2000, *Semiconductor Physic and Applications* , Oxford Univ. Press, New York.
- Bilgili A.K., 2015, “n-InP Yarıiletkeni İle Hazırlanan TiO₂ Arayüzey Tabakalı Metal Yarıiletken Kontakların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek lisans Tezi,Gazi Üniversitesi *Fen bilimleri Enstitüsü*.Ankara.29-30.
- Bohlin, K. E. 1986. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *J.Appl. Phys.* 60, 1223
- Boy F., 2013, “Organik Arayüzeyli GaAs Schottky Diyodların Elektriksel Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi,Selçuk üniversitesi *Fen bilimleri Enstitüsü*.Konya.3-8.
- B Tuck, G Eftekhari and D M de Cogan,1982, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 15, Number 3
- Campbell I. H. , 2008, Rubin S. , Zawodzinski T. A. , J. D. Kress, R. L. Martin, D. L. Smith, N. N. Barashkov, *J. P. Ferraris, Phys. Rev. B* 54 (20) ,14321.
- Chattopadhyay P., Ray -Chaudhuri B., 1993, *Solid State Electron* 36 , 605.
- Card, H.C., Rhoderick, E.H., 1971, “Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes”, *J.Phys.D: Appl. Phys.*, 4: 1589-1601.
- Cheung, S. K. and Cheung, N. W., 1986, Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, 49, 85-87.

- Clausen T., 1993, *Semicond. Sci. Technol.*, **8**, pp1731-1740.
- Cowley, A.M., Sze, S.M., 1965, "Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor Systems", *J. Appl. Phys.*, 36:3212-3216.
- Crowell, C. R., Sze, S. M., 1966, Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers , *Solid State Electron*, 9, 1035-1048.
- Çakıcı T., 2013, "In₂S₃ İnce Filminin n-InP Altlık Üzerine Kimyasal Püskürtme Metoduyla Büyütülmesi Ve Üretilen Au/n-InP/In Ve Au/In₂S₃/n-Inp/In Yapıların Numune Sıcaklığına Bağlı Olarak Elektriksel Karakteristiklerinin Karşılaştırılması" Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi ,*Fen Bilimleri Enstitüsü*.Erzurum.71-76.
- Çalışkan F., 2015, "Al/rubrene/n-GaAs Schottky Diyodların Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Karakterizasyonu" Yüksek Lisans Tezi, Selçuk üniversitesi *Fen bilimleri Enstitüsü*.Konya.3-11.
- Çelik G., 2006, "n-InP Yarıiletkeni Üzerine Schottky Diyotunun Yapımı, Diyotun Akım-Gerilim Ve Kapasitans-Gerilim Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Niğde üniversitesi *Fen bilimleri Enstitüsü*.Niğde.6-12.
- Çetin H. and Ayyıldız.E., 2005, Temperature dependence of electrical parameters of the Au/n- InP Schottky barrier diodes. *Semiconductor Science and Technology*, 20, 625-631.
- Çetin H., Ayyıldız E., Türüt A., 2005, Barrier Height enhancement and stability of the Au/n-InP Schottky barrier diodes oxidized by absorbed water vapor. *J.Vac. Sci. Technol. B*. 23(6).
- Efe U., 2016, " Sol-Gel Yöntemi Kullanılarak Metal/NiPc/ İnorganik Yarıiletken Yapıların Oluşturulması Ve Elektriksel Parametrelerinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*.Bingöl.23-26.
- Eftekhari G., 1983, *J. Phys. D:Appl. Phys.*, **16**, pp 1099-1107.
- Eftekhari G., Tuck B. and de Cogan D. (1983). Electrical properties of InP MIS devices. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 16,1099.
- Esen M., 2011, "Al/polythiophene(PTh)-SiO₂/p-Si/Al diyodun elektronik özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.30-34.
- Favennec P. N., Le Contellec M., L'Haridon H., Pelous G. P., and Richard J., 1979, *Appl. Phys. Lett.* **34**, 807
- Fonash S.J., "A reevaluation of the meaning of capacitance plots for Schottky barrier-type diodes", *J. Appl. Phys.*, 54: 1966 (1983)
- Gaonach C., 1990, *Semicond. Sci. Technol.*, **5**, pp 322-327

- Gupta R.K., Yakuphanoglu, F., Ghosh, K. and Kahol, P.K., 2011, Fabrication and characterization of p-n junctions based on ZnO and CuPc, *Microelectronic Engineering*, 88, 3067-3069.
- Gupta R. K., Singh, R. A., 2004, Schottky diode based on composite organic semiconductors, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 7, 83-87.
- Gupta R. K., Singh, R. A., 2005, Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organics semiconductor, *Composites and Science and Technology*, 65, 677-681.
- Güllü Ö., Türüt, A., 2008. Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92, 1205-1210.
- Güllü Ö. , Aydoğan Ş. , Türüt A. , 2008, “ Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure”, *Semicond. Sci. Technol.* 23, 075005 (5pp).
- Güllü Ö., Kılıçoğlu T. and Türüt A., 2010, Electronic Properties Of The Metal/Organic Interlayer/Inorganic Semiconductor Sandwich Device, *J. Phys. and Chem. Solid*, 71, 351-356.
- Güllü Ö. , 2010, “Ultrahigh (100%) barrier modification of n-InP Schottky diode by DNA biopolymer nanofilms”, *Microelectronic Engineering* 87(4):648-651.
- Güllü Ö, Cankaya M., Reddy V. R. , 2018, “Barrier enhancement of Al/n-InP schottky diodes by grafene oxide thin layer”, *Indian Journal Physics*, September 2018.
- Henisch H. K., 1984, *Semiconductor Contacts* ,Celerondon Press, New York.
- Janardhanam V., Jyothi I., Lee J.H, Reddy V.R., Choi C.J., “Electrical Properties and Carrier Transport Mechanism of Au/n-GaN Schottky Contact Modified Using a Copper Pthalocyanine (CuPc) Interlayer”, 2014, *Volume 55 Issue 5 Pages 758-762*.
- Kamimura K., Suzuki T. and Kunioka A., 1980, “InP (MIS) Schottky Barrier Solar Cells”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 19, Supplement 19-2.
- Kanbur H., 2008, “ Yalıtkan Tabakalı Al/p-Si Schottky Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” Doktora Tezi, Gazi üniversitesi ,*Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara.50-53.
- Lee T. C., 1993, *Semicond. Sci. Technol.*, 8, pp 709-711.
- Lile D. L., and Collins D. A. ,1976, “ An InP MIS diode”, *Appl. Phys. Lett.* **28**, 554
- Maaref H. and C. Barret, 1990, *J. Phys. III. France*, 1, pp 749-758
- Montgomery, 1982, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 15, pp 5887-5897.

- Mott, N. F., 1938, Note on the Contact Between a Metal and an Insulator or Semiconductor, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 34, 568-572.
- Morgan D. V., 1978, *J. Phys. D:Appl. Phys.*, 11, pp 1341-1350
- Nathan, 1996, *Solid State Elect.*, 39, pp 1457
- Neaman, D., "Semiconductor Physics and Devices", R. R. *Donnelley & Sons Company, Sydney*, 1992.
- Newman N., Kendelewicz T., Bowman L., , and Spicer W.E., 1998, "Electrical study of Schottky barrier heights on atomically clean and air-exposed *n*-InP (110) surfaces", *Appl. Phys. Lett.* 46, 1176.
- Norde., H., 1979. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50 (7). 5052.
- Northrop D.C. and Rhoderick E.H., 1978, "The physics of Schottky barriers ", in *Variable Impedance Devices*, 37-73.
- Ouennoughi Z., 1994, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 27, pp 1014-1019.
- Özerden E., Yıldız M., Ocak Y. S., Tombak A., Kılıçoğlu T., 2014, *Mat. Sci. Semicond Proc.* 28,72-76.
- Özerden E., 2014, "Metal/Organik/İnorganik Yarıiletken Yapıların Sıcaklığa Bağlı Olarak Elektriksel Ve Optik Parametrelerinin Belirlenmesi", Doktora tezi, Dicle Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 26-57.
- Rajagopal Reddy V., Umapathi A., Dasaradha Rao L.; *Current Applied Physics* 13, 2013, 1604-1610, Effect of annealing on the electronic parameters of Au/poly(ethylmethacrylate)/*n*-InP Schottky diode with organic interlayer.
- Reddy D., Reddy M., Reddy N., Reddy V, 2011, ;*Journal of Modern Physics*, 2, Schottky Barrier Parameters of Pd/Ti Contacts on N-Type InP Revealed from I-V-T And C-V-T Measurements, 113-123.
- Reddy R., Reddy V. , Padmasuvarna R., Narasappa T., 2015, *Procedia Materials Science* 10, Ru/Ti schottky contacts on n-type In-P (100): Temperature Dependence of Current-Voltage (I-V) characteristics, 666 – 672.
- Rhoderick E.H., 1982, "Metal-Semiconductor Contacts", *IEEE Proc.* 129:(1), 1-14.
- Schottky, W., 1938, The development of silicon crystal rectifiers for microwave radar receivers, *Z. Phys.* 113, 367-414.
- Shi Z.Q. ve Anderson W.A, 1991, "Electrical and optical characterization of metal/*n*-InP interfaces formed by a cryogenic process in high vacuum", *Solid-State Electronics Volume 34, Issue 3, March 1991, Pages 285-289*

- Sing A. , Cova, P., Masut R.A., 1994, *J. Appl. Phys*, vol.76, no.4, p.2336-2342
- Smit G. D. J. , 2002, *D: Appl. Phys and DDMES*, Deft University of Technology Lorentzweg, 1, pp 2628
- Sze S. M., 1981, “Physics of Semiconductor Devices,” 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Tuck B., 1982, *J. Phys. D:Appl. Phys.*, 15, 457-465.
- Tung R. , 2001, *Materials Sience and Engineering R*, 35, 1-138.
- Wada O.; Majerfeld A., 1978, “Low leakage nearly ideal Schottky barriers to n-InP”, *Electronics Letters* Volume: 14 , Issue: 5 ,125-126.
- Wilmsen, C. W., 1985, *Physics and Chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces*. Plenum Press, New York.
- Wu C.Y., 1980, “ Interfacial layer theory of the Schottky barrier diodes” ,*Journal of Applied Physics* 51, 3786.
- Yahia, I. S., Farag A. A., Yakuphanoglu, and F., Farooq, W. A. (2011). Temperature dependence of electronic parameters of organic Schottky diode based on fluorescein sodium salt. *Synthetic Metals*, 161(9-10), 881-887.
- Yıldız D. E., 2008, “Al/ SiO₂/p-Si (MY) Yapıların Akım-İletim Mekanizması Ve Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” , Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.Ankara,1-12.
- Ziel, A. V., 1968, *Solid State Physical Electronics*, (Prentice-Hall New-Jersey), p.245-260.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hilal AYDIN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurtalan 1971
Telefon : 0505 540 30 71
Faks :
e-mail : hilalaydin72@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Beşiri Lisesi, Beşiri, Batman	1986
Üniversite	: Dicle Üniversitesi, Merkez, Diyarbakır	1990
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi FBE Fizik ABD, Merkez, Batman	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1992-1994	Hakkari Tic. Mesl. Lisesi	Öğretmen
1994-1998	Batman Lisesi	Öğretmen
1998-2010	Özel Dershane	Öğretmen
2010-2011	Yenişehir Lisesi-Şanlıurfa	Öğretmen
2011-2015	Mehmet Akif Ersoy A.L -Batman	Öğretmen
2015-	Fen Lisesi-Batman	Öğretmen

YABANCI DİLLER

Fransızca

DiĞER:

2014 yılında CERN-İsviçre araştırma merkezinde öğretmen eğitim programı kapsamında “1.Turkish Teacher Program”na katıldı.

YAYINLAR

1-“1st International Engineering And Technology Symposium”,İets 2018,Oral presentation, “Current-voltage characteristics of the organic/inorganic semiconductor schottky device at room temperature”. *Batman University Engineering Faculty*, Batman-Turkey. (Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir)

2-“1st International Engineering And Technology Symposium”,İets 2018,Oral presentation, “Capacitance-voltage features of the Al/ST/n-InP structure as a function of the frequency””, *Batman University Engineering Faculty*, Batman-Turkey. (Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir)