



**ALTIN VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİ İLE GRAFEN
OKSİT NANOKOMPOZİTLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE
ÜRETİLEN Au/AuNPs-GO/n-InP VE Ag/AgNPs-GO/n-InP
YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ**

Cengiz AYKAÇ

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fiziği Bilim Dalı
Doç. Dr. Betül GÜZELDİR
2019**

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALTIN VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİ İLE
GRAFEN OKSİT NANOKOMPOZİTLERİN BÜYÜTÜLMESİ
VE ÜRETİLEN Au/AuNPs-GO/n-InP VE Ag/AgNPs-GO/n-InP
YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA
BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ

Cengiz AYKAÇ

FİZİK ANABİLİM DALI
Katıhal Fiziği Bilim Dalı

ERZURUM
2019

Her hakkı saklıdır



TEZ ONAY FORMU

**ALTIN VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİ İLE GRAFEN OKSİT
NANOKOMPOZİTLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE ÜRETİLEN Au/AuNPs-GO/n-InP VE
Ag/AgNPs-GO/n-InP YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Betül GÜZELDİR danışmanlığında, **Cengiz AYKAÇ** tarafından hazırlanan bu çalışma, 13/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **Fizik** Anabilim Dalı **Katıhal Fiziği** Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mustafa SAĞLAM

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Betül GÜZELDİR

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **19.09/2019** tarih ve **...37.../...33....** nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisan Tezi

ALTIN VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİ İLE GRAFEN OKSİT NANOKOMPOZİTLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE ÜRETİLEN Au/AuNPs-GO/n-InP VE Ag/AgNPs-GO/n-InP YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ

Cengiz AYKAÇ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Betül GÜZELDİR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, 400 µm kalınlıklı (100) yönelimli n-tipi InP yarıiletkeninden Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları üretildi ve bu yapıların elektriksel karakteristikleri hem oda sıcaklığında hem de değişen numune sıcaklığına bağlı olarak araştırıldı. Kristal taban malzemenin mat yüzeyine Au-Ge alaşımı buharlaştırılarak omik kontak yapıldı ve bu omik kontaklı n-InP yarıiletkeni elmas kalem yardımıyla 3 parçaya bölündü. Bu parçalardan 2 tanesinin parlak yüzeyi ve cam altlıklar üzerine Hummers metoduyla sentezlenen altın nanopartikülleri-grafen oksit (AuNPs-GO) ve gümüş nanopartikül-grafen oksit (AgNPs-GO) nanokompozit malzemeleri spin kaplama yöntemi ile büyütüldü. Büyütülen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeleri Raman, TEM ve SEM gibi çeşitli analitik teknikler ile karakterize edildi. Bu ölçümler sonucunda AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin homojen olarak kaplandığı gözlemlendi. Omik kontaklı n-InP, AuNPs-GO/n-InP ve AgNPs-GO/n-InP yapılar üzerine Au ve Ag metalleri buharlaştırılarak Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları elde edildi. Oda sıcaklığında alınan akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden engel yükseklikleri ve idealite faktörleri karşılaştırılmalı olarak incelendi. Daha sonra Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının I-V ölçümleri sıcaklığa bağlı olarak 320-80 K aralığında alındı ve değişen numune sıcaklığına bağlı I-V karakteristikleri incelendi. Artan sıcaklık değerleri ile engel yüksekliği değerlerinin arttığı ve idealite faktörü değerlerinin de azaldığı görüldü. İkili Gauss dağılımına sahip engel yüksekliği düşüncesinin geleneksel termoyonik emisyon metodu ile birleştirilmesi sonucu modifiye edilen Richardson grafiklerinden düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri için sırasıyla; Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 4,21-7,57 A/cm²K² ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için 3,82-6,55 A/cm²K² olarak Richardson sabiti değerleri elde edildi. Sonuç olarak, AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeleri ile InP tabanlı yapılar üretilerek Schottky engel yüksekliği değerlerinin modifiye edilebileceği tespit edildi.

2019, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Altın ve gümüş nanopartikül, Grafen oksit, Schottky Kontak, Çift Gaussian Dağılımı.

ABSTRACT

Master Thesis

GROWTH OF GRAFEN OXIDE NANOCOMPOSITES USING GOLD AND SILVER NANOPARTICLES AND INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF PRODUCED Au / AuNPs-GO / n-InP AND Ag / AgNPs-GO / n-InP STRUCTURES DEPEND ON TEMPERATURE

Cengiz AYKAÇ

Atatürk University
Institute of Natural Sciences
Department of Physics
Department of Solid State Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Betül GÜZELDİR

In this master thesis, n-type InP semiconductors were used to produce Au/AuNPs-GO/n-InP and Ag/AgNPs-GO/ n-InP structures with the 400 μm thickness (100) oriented and the electrical characteristics of these structures were investigated at room and changing sample temperature. Au-Ge alloys were evaporated on the matt surface of the crystals to make ohmic contact and this ohmic contact n-InP semiconductor was divided into 3 parts with the help of diamond pen. Gold nanoparticles-graphene oxide (AuNPs-GO) and silver nanoparticles-graphene oxide (AgNPs-GO) nanocomposite materials synthesized by Hummers method were grown method on shiny crystal surface and glass substrates by spin coating. The AuNPs-GO and AgNPs-GO nanocomposite materials were characterized by various analytical techniques Raman, TEM and SEM. As a result of these measurements, AuNPs-GO and AgNPs-GO nanocomposite materials were observed to grow homogeneously in desired structures. Au and Ag metals were evaporated above the n-InP, AuNPs-GO/n-InP and Ag/AgNPs-GO/n-InP to obtain Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP and Ag/AgNPs-GO/n-InP structures. The barrier heights and ideality factors were compared from the current-voltage (I-V) measurements at room temperature. Then, I-V measurements of Au/AuNPs-GO/n-InP and Ag/AgNPs-GO/n-InP structures were taken in the range of 320-80 K depending on the temperature and I-V characteristics were investigated depending on the changing sample temperature. The barrier height values increased and the ideality factor values decreased with increasing temperature values. The Richardson constant values were obtained for Au/AuNPs-GO/n-InP structure 4,21-7,57 $\text{A}/\text{cm}^2\text{K}^2$ and for Ag/AgNPs-GO/n-InP structure 3,82-6,55 $\text{A}/\text{cm}^2\text{K}^2$ at low and high temperature, respectively from the modified Richardson plots by combining with dual Gaussian distribution and the traditional thermoionic emission method. As a result, it was concluded that the Schottky barrier height values can be modified with the AgNPs-GO and AuNPs-GO nanocomposite materials on the InP based structures.

2019, 78 pages

Keywords: Gold and silver nanoparticle, Graphene oxide, Schottky Contact, Double Gaussian Dispersion

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Elektronik Proses Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Çalışmalarım boyunca yaptığım araştırmalar için beni yönlendiren, destek ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Betül GÜZELDİR'e en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı yaparken fikir ve önerilerinden faydalanıp araştırmalarımın devam edebilmemde yol gösteren saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa SAĞLAM'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında çalıştığım numunelerin hazırlanması ve ölçümlerinin yapılmasında bana büyük katkıları olan, bilgi ve desteğini esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. Duygu EKİNCİ'ye, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali BALTAKESMEZ'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TAŞER'e çok teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında ve yol gösterme, destek olma hususunda her zaman yanımda olan Sayın Öğr. Gör. Oğuzhan ÖZAKIN'a ve Sayın Arş. Gör. M. Selim ÇÖGENLİ'ye çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince her zaman yanımda olan, yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Cengiz AYKAÇ

Eylül, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. p-n Eklem Diyotlar.....	10
2.2. Diyot Akımı.....	12
2.3. Kontak Potansiyeli.....	17
2.4. Schottky Kontaklar, Schottky Engelleri ve Omik Kontaklar.....	19
2.5. Heteroeklemler.....	27
2.6. Grafen Oksit Oluşumu ve Kimyasal Yapı Mekanizması.....	29
2.6.1. Temel yapı.....	30
2.7. Grafen Oksit Üretim Yöntemleri.....	32
2.7.1. Hummers metodu.....	34
2.8. Altın-Gümüş Nanopartiküller ve Grafen Oksit Nanokompozitleri.....	34
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. Grafen Oksit Sentezi.....	36
3.2. Altın ve Gümüş Nanopartiküllerin (AuNPs ve AgNPs) Sentezi.....	37
3.3. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Sentezi.....	37
3.4. Taban Malzemelerin Temizlenmesi.....	38
3.4.1. Cam taban malzemelerin temizlenmesi.....	38
3.4.2. n-InP yarıiletkeninin temizlenmesi ve omik kontakların yapılması.....	38
3.5. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Cam ve InP Altlıklar Üzerine Büyütülmesi.....	39
3.6. Spektroskopik Teknikler.....	40
3.6.1. Raman spektroskopisi.....	40

3.7. Görüntüleme Teknikleri	41
3.7.1 Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)	41
3.7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	42
3.8. Raman, TEM ve SEM Ölçümlerinin Alınması	43
3.9. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapıların Üretilmesi	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	45
4.1. Giriş	45
4.2. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Karakterizasyonu.....	45
4.2.1. Raman spektroskopisi çalışmaları	45
4.2.2. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) çalışmaları.....	47
4.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları.....	48
4.3. Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapılarının Oda Sıcaklığında Alınan Akım Voltaj Karakteristiklerinin İncelenmesi	49
4.4. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapılarının Numune Sıcaklığına Bağlı I-V Ölçümlerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması	52
4.5. Norde ve Cheung Metotları ile Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs- GO/n-InP Yapılarının Numune Sıcaklığına Bağlı Bazı Parametrelerinin Hesaplanması	61
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	67
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\rho(x)$	Konuma bağılı uzay yükü yoğunluğu
$J_{m \rightarrow s}$	Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$	Yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu
$\Psi(x)$	Yüzey potansiyeli
τ	Zaman sabiti
Φ_b	Schottky engel yüksekliği
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
A	Diyotun etkin alanı
A^*	Richardson sabiti
AgNPs-GO	Gümüş nanopartikül-grafen oksit
AuNPs-GO	Altın nanopartikül-grafen oksit
DLTS	Derin seviye geçici spektroskopisi
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
eV	Elektronvolt
E_v	Valans bandının tavanı
GO	Grafen oksit
h	Planck sabiti
I_0	Sızıntı akımı
$I-V$	Akım-voltaj
J	Akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
m^*	Etkin kütle
m_e	Elektronun kütlesi
MISFET	Metal-yalıtkan yarıiletken alan etkili tranzistör

n	İdealite faktörü
N_c	Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
N_d	Donor konsantrasyonu
Q	Birim alan başına düşen yük yoğunluğu
q	Elektronun yükü
R_s	Seri direnç
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TE	Termiyonik Emisyon
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
V_{dif}	Difüzyon potansiyeli
W	Uzay yükü bölgesinin genişliği
α	Soğurma katsayısı
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
λ	Dalga boyu
ν	Frekans
C-V	Kapasite-Voltaj
MIS	Yönetim Bilişim Sistemi
XRD	X-ışınım Kırınım Yöntemi
LED	Işık Yayan Diyot
ϵ	Elektrik Alan
GB-NIR	Raman Spektroskopisinde monokromatik ışıktan oluşan güçlü bir lazer kaynağı
DAYTAM	Doğu Anadolu İleri teknoloji Uygulama Ve Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir p-n eklem diyotun birkaç uygulama alanı ile beraber devre gösterimi	10
Şekil 2.2. Valans bandı, iletkenlik bandı ve Fermi enerji seviyeleri ile bareber dengedeki bir p-n eklemnin enerji bant yapısı.	12
Şekil 2.3. p-n eklemde dört akım mekanizmasının akış yönü	13
Şekil 2.4. Harici bir voltaj kaynağına bağlı p-n eklem diyot	15
Şekil 2.5. Düz beslem voltajı altında p-n eklem diyodu	15
Şekil 2.6. Ters beslem voltajı altında p-n eklem diyodu	16
Şekil 2.7. Uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak p-n eklem diyot akımları	17
Şekil 2.8. Dengede olan p-n eklemde enerji seviyelerinin gösterimi	19
Şekil 2.9. İki taraf arasında herhangi bir yük akışı olmadan n-tipi bir yarıiletken ile metal arasında oluşan kontak gösterimi.....	20
Şekil 2.10. n tipi yarıiletken kullanılarak elde edilen (a) omik ve (b) Schottky kontak için enerji bant diyagramları.....	22
Şekil 2.11. p tipi yarıiletken ile metal arasında oluşan omik kontak için enerji bant diyagramlarının gösterimi	26
Şekil 2.12. p-tipi GaAl ile n tipi Ga _{1-x} Al _x arasında oluşan heteroeklemin enerji bant diyagramı.....	28
Şekil 2.13. Çözelti halindeki GO ve bir altlık yüzeyinden alınan GO'nun SEM görüntüleri	31
Şekil 3.1. Omik ve Schottky kontak yapımında kullanılan termal buharlaştırma sistemi.....	44
Şekil 4.1. Cam ve InP altlıklar üzerinde büyütülmüş (a) GO, AuNPs-GO ve (b) GO, AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin raman spektroskopileri	46
Şekil 4.2. AuNPs-GO nanokompozit malzemelerin farklı çözünürlükteki TEM görüntüleri	47
Şekil 4.3. AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin farklı çözünürlükteki TEM görüntüleri	47
Şekil 4.4. AuNPs-GO nanokompozit malzemenin a) cam ve b) InP altlıklar	

üzerindeki SEM görüntüleri	48
Şekil 4.5. AgNPs-GO nanokompozit malzemenin a) cam ve b) InP altlıklar	
üzerindeki SEM görüntüleri	49
Şekil 4.6. Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının	
oda sıcaklığında I-V karakteristikleri	51
Şekil 4.7. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının	
320-80 K aralığında alınan I-V karakteristikleri.....	53
Şekil 4.8. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının	
açılma voltajı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi	55
Şekil 4.9. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının	
değişen sıcaklık değerleri için engel yüksekliği ve idealite faktörü	
değerlerinin değişimleri.....	56
Şekil 4.10. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının	
sıcaklığa bağlı engel yüksekliği ve $(1/n)-1$ değerlerinin $1/2kT$	
değişimleri	58
Şekil 4.11. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için	
$\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/kT$ ve $1/nkT$ 'ye karşı değişimleri	59
Şekil 4.12. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için	
modifiye edilmiş $\ln(I_0/T^2)-q^2\sigma^2/(2k^2T^2)$ 'nin $1/kT$ 'ye karşı değişimi	
karakteristikleri.....	61
Şekil 4.13. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için	
farklı sıcaklıklarda ölçülen $F(V)-V$ değişimleri	62
Şekil 4.14. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için farklı sıcaklıklardaki (a) $dV/d(\ln I)-I$	
ve (b) $H(I)-I$ grafikleri	64
Şekil 4.15. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için farklı sıcaklıklardaki (a) $dV/d(\ln I)-I$	
ve (b) $H(I)-I$ grafikleri.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısının numune sıcaklığına bağlı I-V değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri	54
Çizelge 4.2. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısının numune sıcaklığına bağlı I-V değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri.	54
Çizelge 4.3. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısının Norde ve Cheng metodu ile 320-80 K sıcaklık aralığında hesaplanan diyot parametreleri	65
Çizelge 4.4. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısının Norde ve Cheng metodu ile 320-80 K sıcaklık aralığında hesaplanan diyot parametreleri	65

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile günümüzde yarıiletken tabanlı elektronik devre elemanlarının kullanımı hızla gelişme göstermektedir. Bu devre elemanlarından en yaygın olarak kullanılanlarından bir tanesi, metal ile yarıiletkenin kontak haline getirilmesi ile elde edilen metal-yarıiletken diyotlardır. Bu diyotlar; yüksek frekanslarda uygulanan gerilimin yön değiştirmesine hızlı yanıtlar verebilmeleri, kararlı yapıları, ihtiyaç duyulan karakteristiklerde üretilebilmeleri, yüksek güç kapasiteleri ve düşük gürültü seviyeleri gibi özellikleri sayesinde elektronik devre elemanı teknolojisinin her alanında tercih edilmektedirler (Seeger 1991).

Metal-yarıiletken kontakların elektronik devre elemanı endüstrisinde tercih edilen birçok uygulama alanları mevcuttur. Bu uygulama alanlarını güneş pilleri, yarıiletken dedektörler, metal-yalıtkan yarıiletken alan etkili transistörler (MISFETs), mikrodalga devre elemanları, hızlı anahtarlama uygulamaları, varaktörler olarak sıralamak mümkündür. Ayrıca bu malzemelerden üretilen modülatör, doğrultucu, dedektör, fotosel ve termistör gibi araçlar savunma sanayi, elektrik elektronik, bilgisayar ve optiksel sistemlerdeki gelişmeleri belirlediğinden bu alana yönelme ihtiyaçları artmıştır (Tung 2001).

1900'lü yılların başlarında ince bir metalin yarıiletken yüzeyine dokundurulması ile ilk pratik yarıiletken devre elemanı olan nokta kontaklar elde edilmiştir. 1930 yılında ilk ciddi metal-yarıiletken kontak çalışmaları Schottky tarafından yapılmış ve metal-yarıiletken kontaklara Schottky'ye atfen Schottky engel diyot adı verilmiştir. Schottky yarıiletkende oluşan elektrik alanın deplasyon bölgesine olan uzaklıkla lineer, uygulanan potansiyel ile ikinci dereceden artığı düşüncesini ortaya atmış ve Poisson denklemi ile uyumlu olduğunu göstermiştir. 1931'de metal-yarıiletken kontakların doğrultma işlemlerinin anlaşılabilmesi için ilk adımlar atılmış, Störmer ve Shottky bir çeşit potansiyel engeli nedeniyle, akımdan dolayı oluşan gerilim düşmesinin kontakta olacağını göstermişlerdir. 1932'de kuantum mekaniğinin önemli bir şekilde gelişmesiyle

Wilson ve diğerk bilim adamları elektronların engelden kuantum mekaniksel tünelleme olayına dayanarak doğrultma işlemine farklı bir boyut getirmişlerdir. Ancak daha sonra, bu mekanizmada akımın akış yönünü yanlış belirlediklerini fark etmişlerdir. 1938’de Mott ve Schottky birbirinden bağımsız olarak, doğrultmanın gözlenen yönünün, potansiyel engeli, difüzyon işlemi ve normal sürüklenme işlemi ile elektronun aştığını öngörerek açıklamışlar ve potansiyel engelini çıkma nedenini yarıiletken ve metallerin iş fonksiyonları arasındaki farka bağlamışlardır. Mott, ileri sürdüğü teoride elektrik alanının sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin metale kadar lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında, germanyum, nokta doğrultucular ve mikrodalga radarlarda silisyum kullanılması sonucunda metal-yarı iletken kontaklarının anlaşılmasında önemli gelişmeler olmuştur. Özellikle Bethe’nin Termoiyonik Emisyon teorisi bu ilerlemeye çok büyük katkıda bulunmuş ve bu gelişmeler sayesinde yarıiletken fiziğinin gelişmesi daha ivme kazanmıştır. Bethe bu teorisiyle elektronların vakum seviyesine geçme süresiyle, engeli aşma süresinin aynı olduğu gerçeğini ileri sürmüş, sonraki yıllarda Sze ve Crowell tarafından Schottky’nin ve Beth’in bu teorileri bir bütün olarak düşünölmüş ve emisyon-difüzyon teorisi ortaya atılmıştır (Rhoderick 1988). Potansiyel engelin karakteristiğinin belirlenmesinde, uzay yükünün katkısı hakkındaki benzer düşünceler Sovyetler Birliğinde Davydov (1941) tarafından geliştirilmiştir. 1942 yılında Bethe tarafından geliştirilen Termiyonik Emisyon teorisi bu sürece katkı sağlamıştır. Bu teoriye göre akım, Mott ve Schottky’nin savundukları gibi yarıiletkende difüzyon ve sürüklenmeden ziyade, elektronların metale emisyon süreci ile belirlenmiştir. 1945’den sonra, metal-yarıiletken kontaklar üzerinde yapılan çalışmalar, nokta kontak transistorlarının icadına kadar uzanan yarıiletken fiziği alanında yoğun faaliyetlerle harekete geçirilmiştir. Bunun sonucunda azınlık taşıyıcıların enjektörleri olarak nokta kontaklar üzerinde odaklanılmıştır.

Yüksek bir vakum sistemi kullanılarak, metal filmlerinin buharlaştırılması sonucunda nokta kontaklardan çok daha kararlı ve yeniden üretilebilir kontakların oluşumu gerçekleştirilmiştir. 1950’ler ve 1960’larda başlatılan bu faaliyetler bu konudaki mevcut kapsamlı olarak elde edilen bilgilerin temelini oluşturmuştur. Böylece yarıiletken teknolojisinde kontakların önemi ortaya koyulmuştur. Bu konudaki faaliyetler, büyük

ölçüde 1965'te Goodman ile Sze'nin teorik çalışmaları ve Sze ile Cowley'in yarıiletken yüzeylerin enerji durumlarını hesaba katarak metal-yarıiletken kontak sistemlerinin engel yükseklikleri için sundukları teori ile alakalı olmuştur. 1966'da Geppert ile arkadaşları farklı yarıiletkenler üzerine farklı metallerin biriktirilmesi ile oluşan kontakların özelliklerini incelemişler ve çalışmalar sonucunda Schottky diyotların engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonu, yarıiletkenin elektron ilgisi ve yüzey durumu gibi parametrelere bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Miura ve arkadaşları yarıiletkenler üzerine biriktirilen alaşım metallerinin bileşenlerine bağlı olarak engel yüksekliği ve iş fonksiyonundaki değişimleri incelemişlerdir.

Metal-yarıiletken kontakların farklı karakterizasyon teknikleri ile elde edilmesi (Termiyonik Emisyon, Difüzyon ve Termiyonik Emisyon Difüzyon Teorisi), numune ve tavlama sıcaklığına bağlı değişimleri, çeşitli dozlarda maruz bırakılan radyasyon ortamlarındaki davranışları, yeni malzemelerle oluşturulan arayüzey tabakaları ve hidrostatik basınç gibi değişen şartlarda karakteristik parametrelerinin (idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç vs.) değişimi yarıiletken ve devre teknolojisi alanında geçmişten günümüze kadar devam eden çalışma başlıkları arasındadır. Özellikle bu karakteristik parametrelerden engel yüksekliği üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmekte ve arayüzey durumlarının, metal ile yarıiletken arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkileri araştırılmaya devam etmektedir.

InP yarıiletkeni kullanılarak yapılan metal yarıiletken kontaklar, düşük engel yüksekliği ve büyük ters beslem sızıntı akımı problemleri nedeniyle diğer yarıiletkenler kullanılarak yapılan kontaklara nazaran kararlılık seviyeleri düşüktür (Cakici *et al.* 2014). Bu kararsızlık problemini gidermek için ilk çalışmalar değişik solüsyon çözeltilerle yüzey pasivasyonları ile yapılmış ve yüzeyin iyileştiği gözlemlenmiştir (Iyer *et al.* 1988; Iyer and Lile 1991). Bu yıllardan sonra InP yarıiletkeni ile yapılan kontak çalışmalarının büyük bir kısmı metal ile yarıiletken tabakalar arasına değişik yöntemlerle arayüzey tabakaları oluşturularak problemin giderilmesi üzerine yoğunlaşırken, diğer çalışmalar yüksek iş fonksiyona sahip bir metal kullanarak yüzeyin Fermi seviyesinin üzerine yoğunlaşmıştır (Aydoğan *et al.* 2005).

(Korucu 2009), LEC tekniğiyle elde edilmiş p-InP ve MBE tekniğiyle elde edilmiş n-InP yarıiletken altlıklarını kullanarak Sn/p-InP, Au/n-InP Schottky engel diyotları elde etmişler ve geniş bir sıcaklık aralığında I-V, C-V ve derin seviye geçiş spektroskopisi (DLTS) ölçümlerini almışlardır. Sn/p-InP ve Au/n-InP Schottky engel diyotların artan sıcaklıkla değişen akım-voltaj ölçümlerinden ideallik faktörü değerlerinin azaldığı, engel yüksekliği değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Bu durumu engel yüksekliklerindeki homojensizliklere, arayüzey durumlarına ve seri direncin etkisine atfetmişlerdir. Ayrıca Sn/p-InP diyotun 80-400 K sıcaklık aralığında yapılan DLTS ölçüm sonuçlarından yasak bant aralığında $E_v+0,31$ eV pozisyonunda yerleşmiş bir adet derin tuzak seviyesi, Au/n-InP diyotun 100- 340 K sıcaklık aralığında DLTS ölçüm sonuçlarından $E_c-0,14$ ve $E_c-0,70$ eV seviyelerinde yerleşmiş iki tuzak seviyesi tespit etmişlerdir.

(Ejderha *et al.* 2010), Ni/p-InP Schottky engel diyotunun (I-V) karakteristiklerini 60-400 K sıcaklık aralığında 10 K adımlarla incelemişlerdir. İdealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerini sırasıyla 300 K'de 1,27 ve 0,87 eV, 400 K'de 1,13 ve 0,91 eV olarak hesaplamışlardır. İdealite faktörünün yüksek sıcaklıklarda daha büyük değerler gösterdiğini tespit etmişler ve bu yüksek değerlerin yarıiletken/metal arayüzeyindeki oksit tabakasının varlığından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Deneysel ve teorik I-V verilerinin 60-400 K sıcaklık aralığında birbirleriyle mükemmel bir uyum içerisinde olduğunu vurgulamışlardır.

(Gullu 2010), çalışmasında DNA/n-InP arayüzeyini oluşturarak nano metre mertebesinde arayüzey kalınlığına bağlı olarak aygıtın engel yüksekliği değerini arttırmıştır. Fakat kullanılan bu arayüzey malzemesi yapının idealite faktörü değerinde artışa sebep olmuş ve nano mertebede büyütölen bu organik filmin yapının elektriksel özellikleri üzerinde iyileştirici bir etki sergilemediği vurgulanmıştır. (Soylu *et al.* 2011), Pyronine-B/n-InP ince organik malzemesini arayüzey olarak metal/n-InP yapısında kullanarak elde ettiği yapının oda sıcaklığında engel yüksekliği değerini referans metal/n-InP yapılarına göre daha büyük olarak hesaplamışlardır. İdealite faktörü değerinin arttığını görölse bile bu değerin ideallik sınırını aşmadığını belirtmişler ve yapının I-V karakteristiklerini geniş bir sıcaklık aralığında incelemişlerdir.

(Yildirim *et al.* 2011), Au/SiO₂/n-Si (MIS) yapıların 120- 400 K sıcaklık aralığında C-V ölçümlerini almışlar, elektrik ve dielektrik özelliklerini incelemişlerdir. Yapının C-V ölçümlerine bağlı elektriksel iletkenlik, öz direnç, dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, kayıp tanjant, elektrik modülünün reel ve gerçekteki kısımları gibi karakteristik parametreleri sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan iletkenlik, öz direnç, dielektrik sabiti, dielektrik kayıp değerlerinin 280-400 K sıcaklık aralığında artan sıcaklıkla üstel olarak arttığını 120 K-240 K sıcaklık aralığında ise hemen hemen sabit kaldığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan düşük (120-240 K) ve yüksek (280-400 K) sıcaklık aralığında iki farklı iletim mekanizması için aktivasyon enerjisi değerlerini hesaplayarak sırasıyla düşük ve yüksek sıcaklıklar için 4 meV ve 201 meV olarak bulmuşlardır.

(Deniz *et al.* 2013), organik çözümlü faz yöntemi ile sentezledikleri demir oksit (Fe₃O₄) manyetik nanoparçacıkları, Au/Fe₃O₄/p-Si kontakların üretimi için kullanmışlardır. Üretilen Au/Fe₃O₄/p-Si Schottky kontakların 40 K ile 370 K sıcaklık aralığında I-V ölçümleri kullanılarak yapının karakteristik parametreleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenmişlerdir. İdealite faktörü ile engel yüksekliği değerlerinin çok güçlü bir şekilde sıcaklığa bağlı değişim gösterdiği, artan sıcaklık değeri ile engel yüksekliği değerlerinin arttığı, idealite faktörü değerlerinin ise azaldığı vurgulanmıştır. Bu değişim Fe₃O₄/p-Si arasındaki arayüzey hallerine ve homojen olmayan engel yüksekliğine atfedilmiştir. Ayrıca Termiyonik Emisyon teorisi ile beraber Gaussian dağılımı göz önünde bulundurularak Richardson sabiti değeri 2,99 A/K²cm² olarak hesaplanmıştır.

(Deniz *et al.* 2014), monodispersiv olarak 5-nm boyutlarındaki Pd nano parçacıklarını bir boran tert-butilamin kompleksi kullanarak, oleylamin içinde paladyum (II) acetylacetonate'ın indirgenmesi yoluyla sentezlemişlerdir. Sentezlenen bu parçacıklar Au/Pd/p-GaAs Schottky diyotların üretimi esnasında arayüzey tabakası olarak kullanılmış ve bu diyotların karakteristik parametreleri önce oda sıcaklığında incelenmiştir. Au/Pd/p-GaAs diyotu için engel yüksekliği değerini 0,680 eV olarak hesaplamışlar ve bu değer literatürde daha önce çalışılan Au/p-GaAs diyotlardan elde edilen engel yüksekliği değerlerinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Böylece engel modifikasyonu için Pd nano parçacıklarının güvenle kullanılabilirliğini vurgulamışlardır.

Bu diyotların sıcaklığa bağılı I-V ölçümlerinden Termiyonik Emisyon Teorisi ile beraber Gaussian dağılımı göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmış, idealite faktörü ile engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa bağılı davranışları homojen olmayan engel yüksekliği ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca Norde yöntemiyle elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklık arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir.

(Cakici *et al.* 2014), laboratuvar koşullarında Au/n-InP /In diyotlarını üretmişler ve diyotların I-V ve C-V karakteristiklerini önce oda sıcaklığında incelemişlerdir. Daha sonra termal tavlamanın etkisini gözlemlemek amacıyla bu diyotları azot ortamında 3 dakika boyunca 100 ve 200°C sıcaklıklarda tavlamışlardır. Diyotların sızıntı akımı, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi karakteristik parametrelerini I-V ölçümlerinden ve difüzyon potansiyeli, donör konsantrasyonu, engel yüksekliği değerlerini C-V ölçümlerinden faydalanarak hesaplamışlardır. Artan tavlama sıcaklığı ile beraber kapasitans değerlerinin düştüğünü gözlemlemişler ve bunun sebebini yüklerin mobilite değerlerinin azalmasına atfetmişlerdir. Yine, tavlama sıcaklığı ile I-V ölçümünden elde edilen engel yüksekliği değerlerinin C-V ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliği değerlerinden daha küçük olduğunu tespit etmişler ve bu farklılığın arayüzey halleri, derin kirlilik seviyeleri, imaj kuvvet etkisi, kenar sızıntı akımları gibi sebepler sonucu oluştuğunu vurgulamışlardır.

Grafen; ilk kez 2004 yılında grafitin katmanlarına ayrılması ile tek katmanlı olarak sentezlenen, 40 yılı aşkın süredir deneysel olarak çalışılmaya devam eden ve hegzagonal iki boyutlu kafeste sp^2 hibritleşmesi yapan, tek atom kalınlığında karbon atomlarından oluşan yarıiletken bir malzemedir (Novoselov *et al.* 2004). Günümüzde kullanım amaçlarına göre, her biri farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip grafenin çeşitli türevleri ve bu türevlerinin kompozitleri sentezlenmektedir. Grafen oksit (GO) pek çok oksijenli fonksiyonel grup içeren grafenin oksitlenmiş formudur ve elektronik, mekanik, optik ve elektrokimyasal özellikleri büyük oranda değiştirebilir (Bozkurt *et al.* 2014; Lan *et al.* 2014). Sahip olduğu avantajları (fiziksel ve kimyasal olarak kolaylıkla elde edilebilirlik, elektronik özellikleri kontrol edilebilme ve yüksek geçirgenliğe sahip olması vs.) sayesinde; biyosensörler (Meral and Metin 2014), elektrokimyasal sensörler (Tan *et*

al. 2015), gaz sensörleri (Zhou *et al.* 2014), enerji depolama (Qi *et al.* 2010), güneş pili (Suresh *et al.* 2018) transistör (Karteri *et al.* 2015; Seo *et al.* 2019) ve diyot (Kim *et al.* 2014; Kumar *et al.* 2019) gibi geniş bir uygulama alanlarına sahiptirler.

Nanopartiküller; en az bir boyutlu, 1-100 nm aralığında parçacık boyutuna sahip, elektronik aletler, bilgisayarlar, kişisel bakım ürünleri, güç, enerji, çevre, gıda ve taşımacılık sektörleri gibi alanlarda sıkça tercih edilen materyallerdir. Bu grup içerisinde altın ve gümüş nanopartiküller (AuNPs- AgNPs) kolayca sentezlenebilmeleri, toksin olmamaları, biyouyumlu olmaları gibi özellikleri sayesinde öne çıkan malzemeler arasında yer almaktadır (Khoussa *et al.* 2018; Torrisi and Restuccia 2018; Yang *et al.* 2019).

Son yıllarda bu nanopartiküllerin grafen nano tabakalar gibi karbon materyaller ile kombinasyonu, her bir materyalin tek başına kullanımı ile kıyaslandığında, birçok uygulama için belirgin bir şekilde avantajlı ilave özellikler kazandırdığı için daha geniş çaplı ve daha etkili uygulama alanlarında (sensör, katalizörler ve biyomedikal uygulamalar vs.) bir araya getirilmektedirler (Wang *et al.* 2013; Zhang *et al.* 2013; Xu *et al.* 2014). Bu nanopartikülleri ile GO nano tabakaların bir araya getirilmesindeki en etkili sebeplerin başında GO'nin fonksiyonel grupları ile nanopartiküllerin büyümesi için çekirdeklenme merkezi olarak davranmasını sağlayarak nanoparçacıkları stabilize etmesi, arayüzey boşluklarında moleküllerin etkileşimine izin vermesi olarak sıralanabilir (Metin *et al.* 2014; Prabakaran and Pandian 2015).

(Bilkan *et al.* 2017), n-tipi Si yarıiletkeni ile hazırlanan SnO₂-PVA nanokompozit malzemelerin arayüzey tabakası olarak kullanıldığı Au/SnO₂-PVA/n-Si diyotların 80-400K sıcaklık aralığında numune sıcaklığına bağlı olarak incelemişlerdir. Nanokompozit filmlerin yapısal ve morfolojik özellikleri X-ışını difraktometresi (XRD) ile ve SEM kullanılarak araştırılmıştır. SnO₂-PVA nanokompozit malzemelerinin istenilen kristallenme seviyesinde homojen olarak kaplandığını vurgulamışlardır. İdealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin sırasıyla sıcaklığa bağlı olarak 3,77 ile 19,10 ve 0,84 eV ile 0,19 eV arasında değerler aldığını tespit etmişlerdir. Deneysel engel yüksekliğini ve

idealite faktörü değerlerini Gaussian fonksiyonu ile fit edilmiş I-V karakteristiklerinden sırasıyla 0,588 eV-1,0765 ve 0,158 eV-1,183 olarak bulmuşlardır. Ayrıca Gaussian fonksiyonları yardımıyla düşük ve yükseklik sıcaklık bölgeleri için deneysel Richardson sabitlerinin değerlerini sırasıyla 93,13 A/cm² K² ve 114,65 A/cm² K² olarak tespit etmişler ve n-Si için teorik olarak hesaplanan değerle yaklaşık olarak uyum içerisinde olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak Au/SnO₂-PVA/n-Si diyotların sıcaklığa bağlı karakteristiklerinin değişimini TE yöntemi ile çift bölge değişimi içeren Gaussian fonksiyonları yardımıyla açıklanabileceğini ileri sürmüşlerdir.

(Tasyurek *et al.* 2018), hidrotermal yöntemi ile sentezlenen GO materyali ile birleştirilmiş stronsiyum titanat (SrTiO₃) nanoküp malzemeleri ile hazırlanmış Ni/SrTiO₃ NC/n-Si yapıların oda sıcaklığında karakteristiklerini incelemiştir. Sentezlenen SrTiO₃ nanoküp malzemeler, TEM, SEM, XRD ve Raman spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. Deneysel sonuçlarla, n-Si üzerine spin kaplama yöntemi ile büyütülen SrTiO₃ nanoküp malzemelerin homojen dağılıma sahip olduğu ve aynı şartlarda bu malzemelerle yapılan farklı Ni/SrTiO₃NCs/n-Si yapılarının iyi doğrultucu özellik gösterdiği vurgulanmıştır. Bu yapıların idealite faktörü değerlerinin 1,05 ile 1,22 arasında değiştiği ve ayrıca tüm diyotlar için Norde fonksiyonları yardımıyla seri direnç değerlerinin hesaplandığı ve bu değerlerin de 96 ile 110 Ω arasında değiştiği belirtilmiştir. Son olarak bu diyotların C-V ölçümleri incelenmiş ve bu ölçümlerden elde edilen parametrelerin I-V ölçümlerinden elde edilen parametrelerle uyum içinde olduğu vurgulanmıştır.

(Baltakesmez *et al.* 2019), Ag/n-InP/Au-Ge referans diyotu ve AgNPs-GO nanokompozit malzemesi ile hazırlanmış AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge yapısının I-V karakteristiklerini 80-320K sıcaklık aralığında değişen numune sıcaklığına bağlı incelemiştir. İlk olarak Hummers metoduyla büyütülen AgNPs-GO'lerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri Raman spektroskopisi, UV-spektroskopisi, TEM, SEM ölçümleri kullanarak analiz edilmiştir. Bu analizlerden AgNPs-GO nanokompozit malzemenin sırasıyla Raman ölçümlerinden; istenilen D ve G karakteristik piklerinin elde edildiği, absorbans ölçümlerinden 400 ve 450 nm değerlerinde karakteristik piklerin gözlemlendiği ve paraçacık boyutuna bağlı bu pik değerlerinin yüzey plazmon rezonans pikleriyle uyumlu olduğu,

TEM ve SEM ölçümlerinden; AgNP'lerin farklı formlarının GO materyali üzerinde yaklaşık olarak homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. İkinci olarak, değişen numune sıcaklığında TE teorisi ile beraber Gaussian dağılımı göz önünde bulundurularak AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge yapısının karakteristik parametreleri incelemiştir. Değişen sıcaklık değeri ile birlikte idealite faktörü değerindeki artışı ve engel yüksekliği değerindeki azalışı homojen olmayan engel yüksekliği dağılımına atfetmişlerdir.

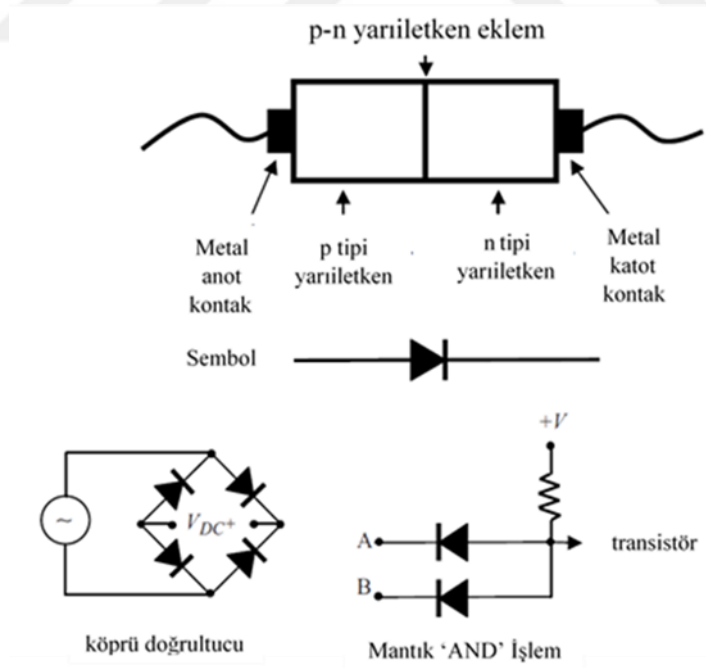
Yukarıda sunulan çalışma özetinden de anlaşıldığı gibi, devre elemanının performansı, güvenilirliği ve kararlılığı için kullanılan yarıiletkenin yüzey özellikleri ve yarıiletken yüzeyinde oluşturulan tabakanın yapısı önemli bir etkiye sahiptir. Kontaklarda yarıiletken yüzeyine büyütülecek ince bir tabaka ile yapının engel yüksekliği modifiye edilebilir. Bu nedenle bu tez çalışmasında GO tabanlı altın nanopartiküller ve gümüş nanopartiküller n-tipi InP üzerinde büyütülerek Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları oluşturulmuş ve bu yapıların karakteristik parametreleri oda sıcaklığı ve değişen numune sıcaklığına bağlı olarak incelenmiştir.

Yüksek lisans tezi olarak sunduğumuz bu çalışmanın birinci bölümü konu ile ilgili literatür çalışmasını içeren "Giriş" bölümü; ikinci bölümü, "Kuramsal Temeller"; üçüncü bölümü, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların hazırlanması ve üretilmesi için gerekli olan malzemeler ve bu yapıları üretmek için kullanılan sistemler ve ölçülerin alınmasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler içeren "Materyal ve Yöntem"; dördüncü bölümü GO tabanlı altın nanopartiküllerin ve gümüş nanopartiküllerin yapısal ve yüzeysel özellikleri ile Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların oda sıcaklığı ve numune sıcaklığına bağlı olarak ölçülen I-V karakteristikleri ve bu karakteristiklerden hesaplanan temel diyot parametrelerini içeren "Araştırma Bulguları" ve beşinci bölümde bulunan sonuçların yorumlanmasını içeren "Tartışma ve Sonuç" bölümlerinden oluşmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. p-n Eklem Diyotlar

Devreler içerisinde kullanım amaçlarına göre farklı görevler üstlenen p-n eklem diyotlar en basit tanımıyla bir yönde akım geçmesini sağlayan, diğer yönde akım geçmesini engelleyen devre elemanları olarak tanımlanmaktadır. Devrelerde yaygın olarak mantık toplayıcı, güç kaynaklarında bir doğrultucu ve radyo devrelerinde bir dedektör olarak görev alırlar. Diyot mantık yapısı 1960'larda popüler diyot-transistör mantık devrelerinde kullanılmış, fakat daha sonra az güç tüketen ve daha hızlı geçiş yapan transistör tabanlı tasarımlarla değiştirilmiştir. Günümüz teknolojisinde ise ışık emisyonu, ışık yayan diyot (LED) ve güneş enerjisi üretimi için yarıiletken diyotlar çokça tercih edilmektedirler. Bu devre uygulamalarından ikisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Kitai 2011).



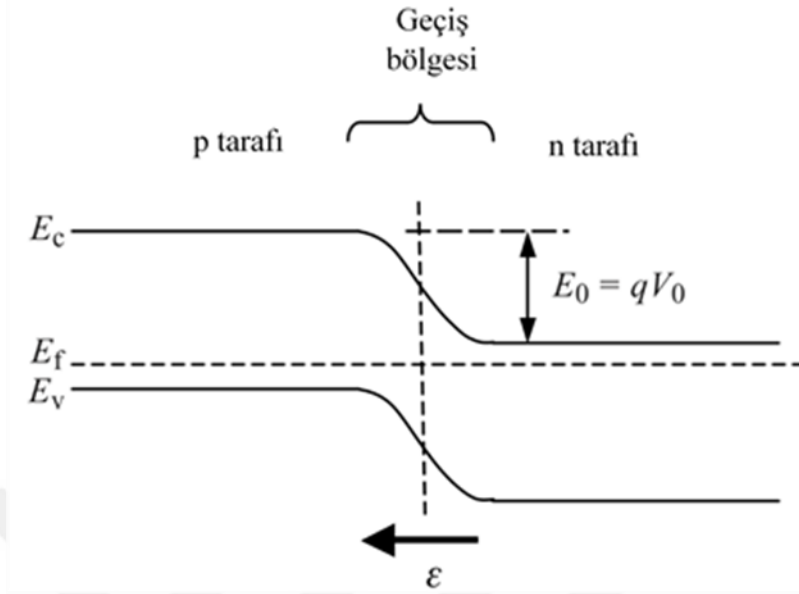
Şekil 2.1. Bir p-n eklem diyotun birkaç uygulama alanı ile beraber devre gösterimi

Bu diyotlar;

- (a) Bir metal yarıiletken eklem oluşması için p-tipi yarıiletkenle bareber bir metal anot kontak,
- (b) p tipi yarıiletken,
- (c) p-tipi ve n-tipi yarıiletkenler arasında bir p-n yarıiletken eklem,
- (d) n tipi yarıiletken,
- (e) Başka bir metal yarıiletken eklem oluşması için n-tipi yarıiletkenle bareber bir metal katot kontak şeklinde bileşenlerden oluşmak zorundadırlar.

p-n eklem diyotların temel çalışma prensiplerinin anlaşılması, hem tüm diyot tabanlı yarıiletken cihazların çalışma prensiplerini kavramak hem de bu cihazlarla oluşan devreleri karakterize etmek açısından önemlidir. Bunun için ilk olarak ani eklem yaklaşımını gözönünde bulundurarak analizler yapılmıştır. Uygulamada, yarıiletken kristalin sadece bir atomik tabaka mesafesi boyunca böyle bir geçiş yapması mümkündür. Ani eklem yaklaşımı, modellemesi ve anlaması en kolay yöntemlerden biridir ve bu yaklaşımın kavramları katkılama geçişinin ani değil aşamalı olduğu diyotlara da genişletilebilir.

Şekil 2.2'de gösterilen denge durumu için enerji-bant modeli p-n eklemlerinin elektron ve hol davranışlarını anlamak için kullanılır. n-tipi ve p tipi yarıiletken bölgeler birbirleriyle dengede oldukları için Fermi enerji seviyesi sabittir. Eklem her iki tarafındaki değerlik ve iletim bandı enerjileri için pozisyon farkı dikkate alınır, eklem p tarafından n tarafına doğru uzanan sürekli bir iletim bandı ile valans bandı, taşıyıcı geçişlerinin ve enerji bantlarının olduğu bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Buradaki bant eğimi özellikle yarıiletken içerisindeki dahili bir elektrik alanı göstermektedir.



Şekil 2.2. Valans bandı, iletkenlik bandı ve Fermi enerji seviyeleri ile beraber dengedeki bir p-n eklemının enerji bant yapısı.

Alanın yönü, bant eğiminin yönü ile tutarlı olacak şekilde Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Built-in (yerleşik) alanı, eklem boyunca elektron ve hollerin sürüklenme akımlarını oluşturur. p-n eklemінде denge şartlarının geçerli olması koşuluyla engel yüksekliği E_0 simgesi ile gösterilir ve potansiyeldeki değişimin yük ile çarpılmasıyla elde edilebilir;

$$E_0 = qV_0 \quad (2.1)$$

burada V_0 p-n eklemının kontak potansiyelidir.

2.2. Diyot Akımı

Denge durumunda p-n eklemalarında yerleşik alan ϵ geçiş bölgesindeki taşıyıcıların sürüklenmesine neden olacaktır. Ek olarak, eklem boyunca mevcut taşıyıcı konsantrasyon gradyanları oluşacak; elektronlar için, n tarafındaki yüksek elektron (çoğunluk taşıyıcı) konsantrasyonu p tarafındaki düşük elektron (azınlık taşıyıcı) konsantrasyonuna doğru

hareket edecektir. Bu elektron konsantrasyon gradyanının yanı sıra benzer bir boşluk konsantrasyon gradyanı da oluşacaktır.

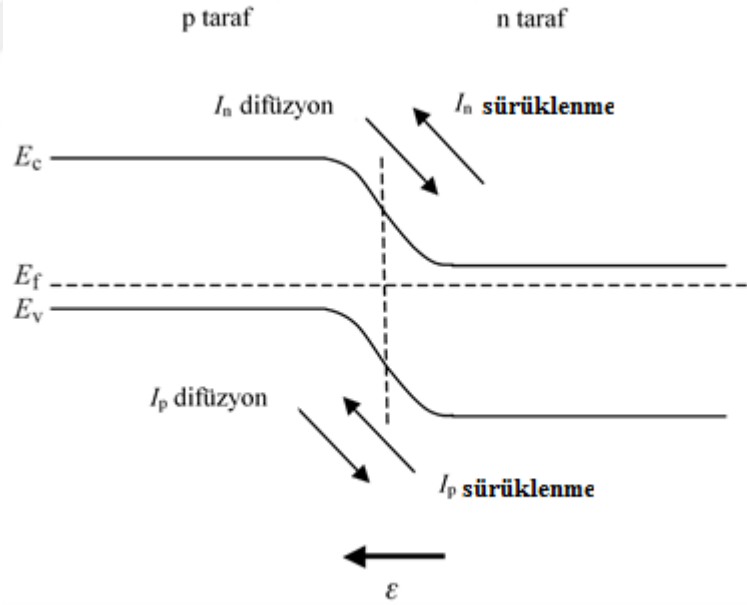
Bu durumda dikkate alınacak dört akım mekanizması oluşacaktır. Bunlar;

I_n sürüklenme : Geçiş bölgesine giren p tarafındaki elektronlar (azınlık taşıyıcıları) sağa doğru n-tarafına doğru sürüklenecektir. Bu akım, yerleşik elektrik alan tarafından oluşturulur.

I_p sürüklenme : Geçiş bölgesine giren n tarafındaki (azınlık taşıyıcıları) holler, p tarafına doğru sola doğru sürüklenecektir. Bu akım, yerleşik elektrik alan tarafından oluşturulur.

I_n difüzyon : Bu akım elektron konsantrasyon gradyanı tarafından oluşturulur.

I_p difüzyon: Bu akım, boşluk konsantrasyon gradyanı tarafından oluşturulur.



Şekil 2.3. p-n eklemde dört akım mekanizmasının akış yönü

İki difüzyon akımı eklem boyunca elektronların veya boşlukların konsantrasyon gradyanları ile, iki sürüklenme akımı ise elektrik alanı tarafından oluşturulmaktadır. Elektron difüzyon yönü sola ve elektron sürüklenme yönü sağa doğrudur. Bu dört akım

Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmektedir. Elektronlar negatif yük taşıdığından, elektron akımları akım akış yönünün tersi yönündedir (Kittel 1986).

Denge durumunda p-n eklemesindeki mevcut akımlar için aşağıdaki eşitlikler geçerli olmaktadır:

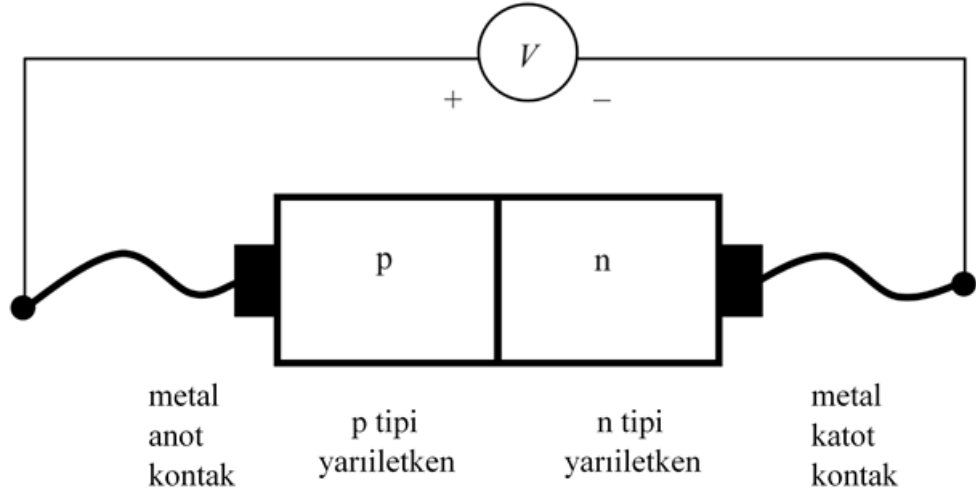
$$I_p \text{sürüklenme} + I_p \text{difüzyon} = 0 \quad (2.2a)$$

$$I_n \text{sürüklenme} + I_n \text{difüzyon} = 0 \quad (2.2b)$$

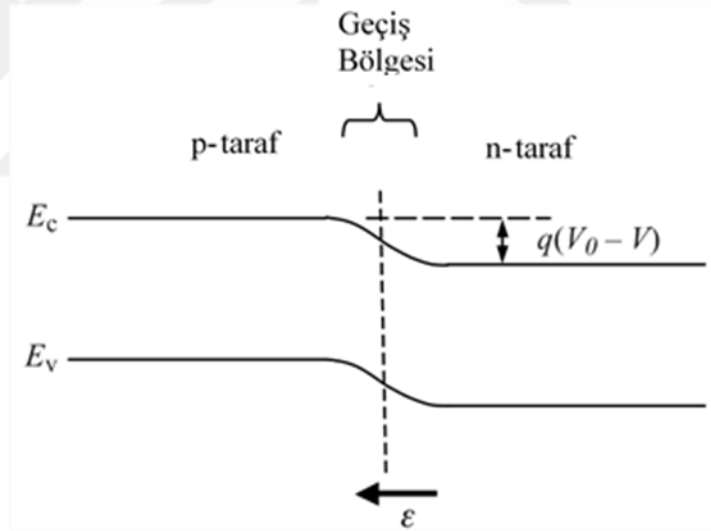
Şekil 2.4’de gösterildiği gibi p-n eklemine harici bir voltaj kaynağı bağlanırsa eklemdeki denge durumu ortadan kalkacaktır (p bölgesi pozitif, n bölgesi negatif uca bağlı, $V > 0$). Uygulanan voltaj, p-n eklemının geçiş bölgesi boyunca düşecek ve engel yüksekliği değerinin yanı sıra Şekil 2.5’de gösterildiği gibi elektrik alanının değeri de azalacaktır. Engel yüksekliğindeki düşüş net bir akıma sebep olacak ve sürüklenme akımı artık tüm difüzyon akımını iptal etmek için yeterli olmayacaktır. Net akım akışı, bir net çoğunluk taşıyıcı difüzyon akımının oluşmasına neden olacak, bu da

$$I = I_p \text{difüzyon} + I_n \text{difüzyon} - I_p \text{sürüklenme} - I_n \text{sürüklenme} > 0 \quad (2.3)$$

denkleminle ifade edilecektir.



Şekil 2.4. Harici bir voltaj kaynağına bağlı p-n eklem diyot



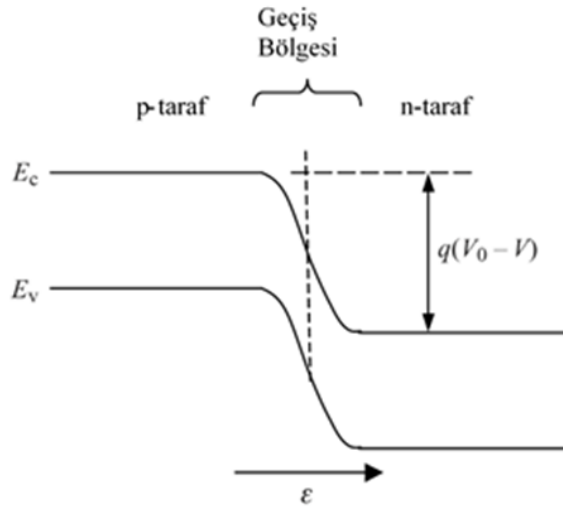
Şekil 2.5. Düz beslem voltajı altında p-n eklem diyonu

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi, harici bir voltaj kaynağı bağlandığında elektron ve holler için tüm akımlar, toplam diyot akımını elde etmek için eşitlik 2.3 formu şeklinde yazılmaktadır. Geçiş bölgesi boyunca potansiyel engeli daha küçüktür ve difüzyon akımlarının baskın olduğu daha yüksek akımlara neden olur. Deplasyon bölgesinde elektrik alan daha küçük olacak ve sürüklenme akımları difüzyon akımlarını telafi edemeyecektir.

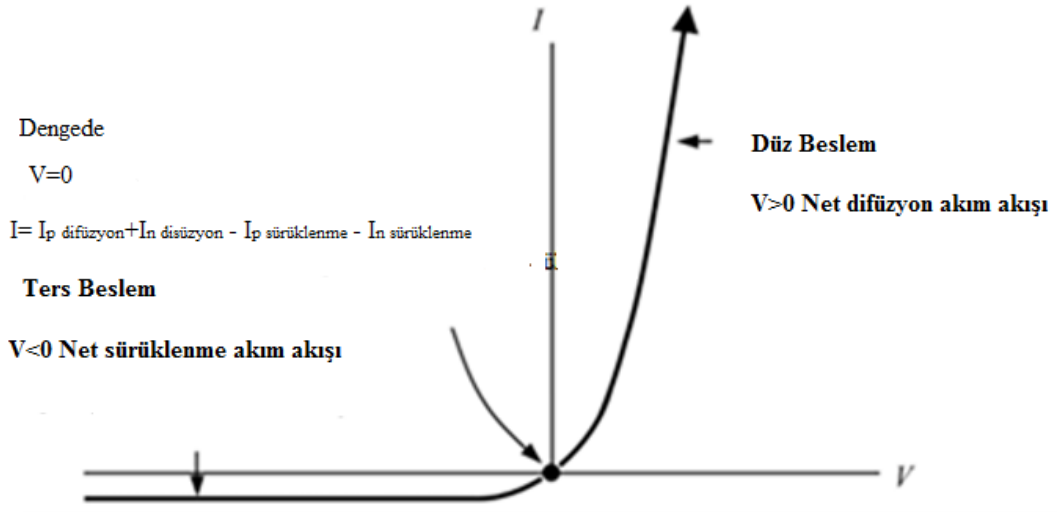
$V < 0$ olan bir ters beslem durumu göz önüne alındığında, uygulanan voltaj p-n eklemının geçiş bölgesi boyunca tekrar düşecek, bu da Şekil 2.6’da gösterildiği gibi hem potansiyel engelin hem de elektrik alanının büyüklüğünü artıracaktır. Potansiyel engelindeki artış, sürüklenme akımının difüzyon akımına etkili bir şekilde karşı çıkmasına neden olacaktır. Bununla birlikte, termal olarak üretilen azınlık taşıyıcıları nedeniyle oluşan akımlar da bu akımlara ek olarak ortaya çıkacaktır. Bu küçük bir net azınlık taşıyıcı sürüklenme akımını oluşturacak ve elektrik alanı tarafından desteklenecektir. Net akım, termal olarak üretilen azınlık taşıyıcı sürüklenme akımlarının hâkimiyeti altındadır. Eksenler üzerinde uygulanan gerilimlere bağlı olarak oluşan akımlar Şekil 2.7’de çizilmiştir. Denklem 2.2’den

$$I = I_p \text{difüzyon} + I_n \text{difüzyon} - I_p \text{sürüklenme} - I_n \text{sürüklenme} < 0 \quad (2.4)$$

elde edilir.



Şekil 2.6. Ters beslem voltajı altında p-n eklem diyodu



Şekil 2.7. Uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak p-n eklem diyot akımları

Uygulanan gerilim V negatif olduğundan, potansiyel engelinin yanı sıra elektrik alanı, geçiş bölgesi boyunca daha büyük olacak ve difüzyon akımlarını neredeyse tamamen ortadan kaldıracaktır. Toplam akım I , üretilen azınlık taşıyıcıların sürüklenme miktarı tarafından kontrol edildiği ve elektrik alanın büyüklüğü az da olsa önemli olduğundan, uygulanan voltajdan neredeyse bağımsız olacaktır. Bu nehirdeki bir şelalenin yüksekliğini değiştirmeye benzer. Şelalenin içinden akan suyun miktarı şelaleye yaklaşan suyun mevcut akışına bağlı olacak ve şelalenin yüksekliğinden etkilenmeyecektir. Bu akımın büyüklüğü, ters doyma akımı, I_0 olarak bilinir ve dolayısıyla I_0 , azınlık taşıyıcılar tarafından sağlanan net termal olarak üretilen sızıntı akımıdır.

2.3. Kontak Potansiyeli

Enerji bantları gözönünde bulundurularak kontak potansiyeli V_0 hesaplanabilir. Bunun için önce (Kittel 1986)

$$p_0 = N_v \exp\left(\frac{-(E_f - E_v)}{kT}\right) \quad (2.5)$$

denklemleri yazılabilir.

Küçük ters doyma akımı gözönünde bulundurulur ve $V = 0$ olduğunda net akım sıfır olur. Denklem 2.5'i eklemnin hem n tarafına hem de p tarafına uygulanabilir. Buradan n tarafı ve p tarafı için ayrı ayrı

$$(E_f - E_v)_{p \text{ taraf}} = kT \ln \left(\frac{N_v}{p_0} \right) = kT \ln \left(\frac{N_v}{p_p} \right) \quad (2.6)$$

$$(E_f - E_v)_{n \text{ taraf}} = kT \ln \left(\frac{N_v}{p_0} \right) = kT \ln \left(\frac{N_v}{p_n} \right) \quad (2.7)$$

denklemleri elde edilir. Denklemede p_p , p tarafındaki denge boşluk konsantrasyonu, p_n ise n tarafındaki denge boşluk konsantrasyonudur. Denklem 2.6. ve 2.7'den

$$E_0 = (E_v)_{p\text{-taraf}} - (E_v)_{n\text{-taraf}} = kT \ln \left(\frac{p_p}{p_n} \right) \quad (2.8)$$

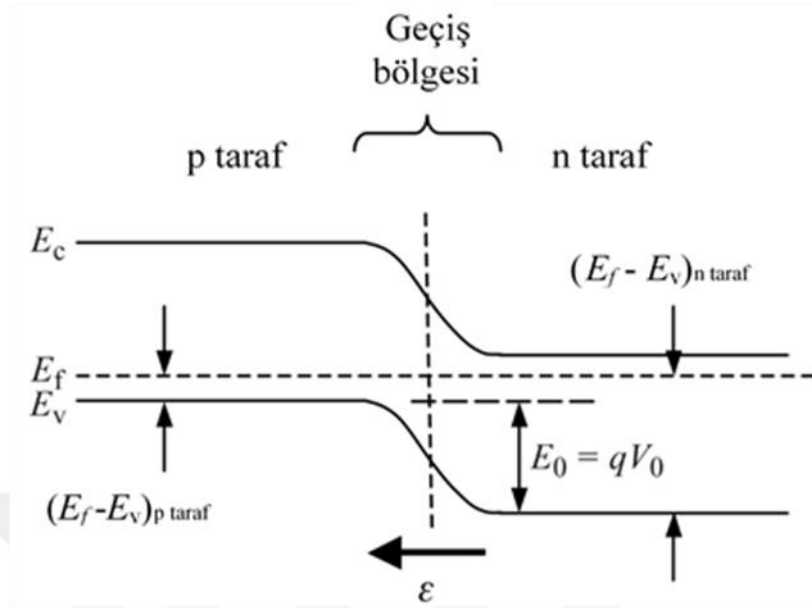
eşitliği yazılabilir. Bu denklemdeki her bir parametre Şekil 2.8'de gösterilmektedir (Kitai 2011).

Denklem 2.8. ve 2.1. kullanılarak V_0 katkı seviyeleri cinsinden sırasıyla

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{p_p}{p_n} \right) \quad (2.9)$$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_a N_d}{n_i^2} \right) \quad (2.10)$$

eşitlikleri elde edilir.



Şekil 2.8. Dengede olan p-n eklemde enerji seviyelerinin gösterimi

Kontak potansiyeli elektron konsantrasyonları kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$N_a N_d = p_p n_n \text{ ve } n_p = \frac{n_i^2}{p_p} \text{ ve } p_n = \frac{n_i^2}{n_n} \quad (2.11)$$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{n_n}{n_p} \right) = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{p_p}{p_n} \right) \quad (2.12)$$

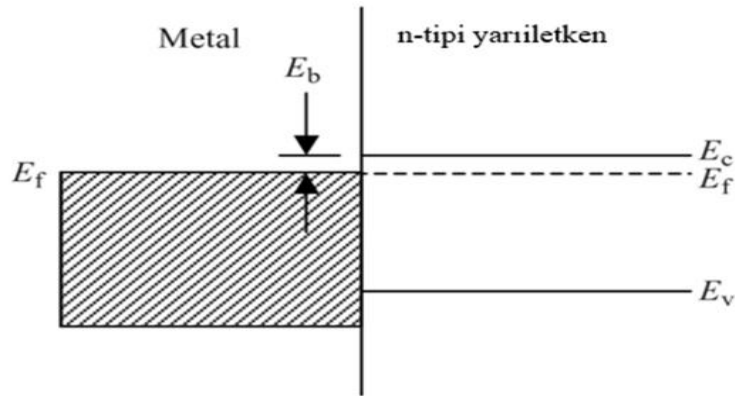
Bu denklemlerden p tipi ve n tipi bölgelerdeki katkı seviyelerini kontrol ederek, belirli bir yerleşik potansiyele sahip olan bir p-n eklem tasarlanmanın mümkün olabileceği görülmektedir.

2.4. Schottky Kontaklar, Schottky Engeller ve Omik Kontaklar

Metal-yarıiletken tabanlı devre elemanları p-n eklemlerinde olduğu gibi yapılarında çeşitli akım iletim mekanizmalarını barındırdığından, bu akım iletim mekanizmalarını tam olarak analiz etmek, akımı oluşturan taşıyıcıların hareketlerini tam olarak karakterize etmek gerekir.

Bir metal kısmen veya tamamen doldurulmuş bir iletkenlik bandına sahiptir, bu da metal içindeki Fermi enerjisinin bu bant içinde bulunduğu anlamına gelir. Metal ve yarıiletken arasında herhangi bir yük alışverişi yapılmazsa, Şekil 2.9'daki metal yarıiletken kontak için sabit bir Fermi seviyesini bulunduran dengede ideal bir metal yarıiletken kontak gösterilebilir. Bu diyagramda elektronlar yarıiletkenden metale kolayca akabilirler. Bununla birlikte, metaldeki elektronların yarıiletken içine akacak engel yüksekliğinin üstesinden gelmesi gerekir. Aslında hareketli yükler yarıiletken yüzeyinin yakınında birikebilir, metal-yarıiletken teması boyunca akabilir ve dolayısıyla Şekil 2.9'daki koşullar, denge koşullarını doğru şekilde göstermeyebilir.

Katkılama seviyesinin yeterince yüksek olması şartıyla, $E_c - E_f$ her iki yönde etkili elektron akışına izin verecek kadar küçük yapılabilir. Bunun en önemli nedeni E_f 'nin katkı arttıkça iletken bant kenarına doğru yaklaşması ve omik kontak oluşturmasıdır. Bazı durumlarda, diyot davranışına sahip olmak ilgi çekici olsada, birçok durumda akım akışının etkinleştirildiği ve eklem boyunca minimum voltaj değerine düşen değerlerle her iki yönde akım akışına izin veren omik kontaklar oluşabilmektedir.



Şekil 2.9. İki taraf arasında herhangi bir yük akışı olmadan n-tipi bir yarıiletken ile metal arasında oluşan kontak gösterimi

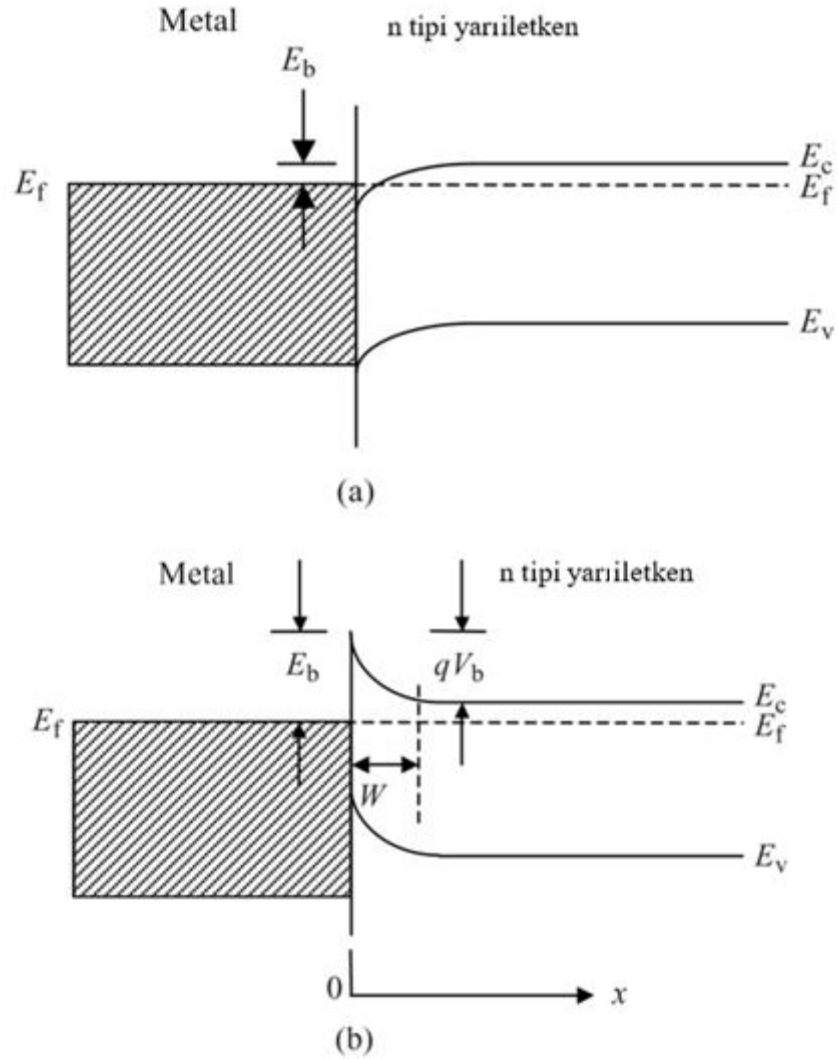
Engel yüksekliği enerjisi $E_b = E_c - E_f$ ile ifade edilir ve gösterilen düz bantlar, arayüzeyde ve yarıiletkende bant bükülmesine ve ilişkili elektrik alanların oluşumuna neden olmaktadır. Gerçek metal-yarıiletken temas kontaklarında metal yarıiletken arayüzey

boyunca akan yükler nedeniyle bantlarda bükülme oluşur. Ek olarak, metal-yarıiletken arayüzünde veya yakınında çeşitli kaynaklardan gelen yükler birikebilir. Bunların dışında aşağıda sıralandığı gibi başka etkilerde mevcuttur. Bunlar;

- 1) Metal ve yarıiletken arasındaki elektron akışı: Yarıiletken ve metal atomlarının elektron eğilimleri genellikle uyuşmamaktadır. Bu iki malzeme arasındaki işleyiş farkı serbest bir yüzeyde ölçülür. Bir arayüzey de ilgilenildiği ve iş fonksiyonları vakum ortamında yüzeyde düzgün bir şekilde ölçüldüğü için, bu çalışma fonksiyonun farkının metal-yarıiletken bağıntıya katkısı, gerçek arayüzey bağlama koşullarını hesaba katan modifiye edilmiş iş fonksiyonları kullanılarak anlaşılmaktadır. Sonuç olarak yarıiletkende ve metalde net bir yük akışı olacaktır. Bu yük akışı yarıiletkendeki birleşme noktasında difüzyon uzunluğu için önemli olacaktır.
- 2) Yarıiletken yüzeyindeki bağlar
- 3) Metal yüzeyindeki bağlar
- 4) Yarıiletken içine yayılan metal atomlarının katkılama etkisi; metal atomları yarıiletken atomdan farklı bir değere sahip olduğundan, yarıiletkendeki her metal iyonu bir yük ile ilişkilendirilecektir.
- 5) Schottky etkisi, yarıiletkendeki yükler ile Şekil 2.9'da yer almayan metal arasındaki Coulomb etkisi nedeniyle engel yüksekliği üzerinde etkiler meydana gelecektir.
- 6) Arayüzeyin yakınındaki metal-yarıiletken yüzeylerde oksijen veya diğer kirlilik atomları ile meydana gelen oluşum; Bir metal-yarıiletken kontakta oksijeni tamamen yok etmek çok zordur ve çoğu metaller, silisyum gibi yarıiletkenler oksijenle güçlü reaksiyona girmektedirler. Oksit tabakaları, bu bağlardan kaynaklanan elektron kaybı nedeniyle pozitif yükleri yakalama eğilimindedir.

Dolayısıyla metal-yarıiletken kontakların arayüzeyinde mevcut olan tüm olayları ve yük polaritesini tahmin etmek neredeyse imkansız gibidir. Ayrıca bu yük polaritesi, metal-yarıiletken kontakların elektriksel özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olup bant bükülmesine neden olmaktadır. Şekil 2.10.a'da yarıiletken yüzeyde yukarıda belirtilen kaynakların birçoğunun sonucunda oluşmuş pozitif yükler gösterilmiştir. Bu yükler Fermi enerjisinin arayüzeyde iletkenlik bandına doğru hareket etmesine neden olur; çünkü

yakalanan pozitif yük, iletken bandındaki elektronları arayüze doğru çekmektedir. Fermi enerjisi aslında iletken bandına girebilir. Bu da yarıiletken yüzeyde iletken bant elektronlarını çekmek için yeterli pozitif yükün mevcut olduğu anlamına gelir ve bunun sonucunda omik kontak meydana gelmektedir.



Şekil 2.10. n tipi yarı iletken kullanılarak elde edilen (a) omik ve (b) Schottky kontak için enerji bant diyagramları

Şekil 2.10.a'da görüldüğü gibi arayüzey pozitif olarak yüklenirse, bant bükülmesi yukarıya doğru olacak, bu durum yarıiletken katkılama seviyesinin engel yüksekliğini azaltacak kadar yüksek olması durumunda ortaya çıkacak ve omik kontak olarak

adlandırılacaktır. Şekil 2.10.b'de görüldüğü gibi arayüzey negatif olarak yüklenirse bantlarda aşağı doğru bükülme oluşacak, metalden yarıiletken elektron akışını engelleyen büyük bir engel yüksekliği ile sonuçlanacak ve yarıiletkendeki bir deplasyon bölgesi oluşumu ile sonuçlanacaktır. Bu durum ise Schottky kontak olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 2.10.b'de yarıiletken yüzeyinde negatif yük bulunmakta ve iletim bandı elektronları arayüzey yakınında yarıiletken bir deplasyon bölgesi oluşturulması ile negatif tutulan yükten uzağa doğru itilmektedirler. Fermi seviyesi yarıiletken yüzeyinde yaklaşık olarak orta bölgede sabitlenmektedir. Metalden yarıiletken elektron akışı için büyük bir engel dışarıdan harici bir voltaj uygulandığında bile akım akışını engellenmektedir. Yarıiletken hareket eden elektronlar için engel qV_b olarak ifade edilir. Şekil 2.10.b'de gösterilen metal-yarıiletken kontaklara, metal tarafı pozitif olacak şekilde doğru beslem voltaj uygulanırsa, engel yüksekliği değeri akım akışına izin verecek şekilde $q(V_b - V)$ değerine düşecektir. Yarıiletken göre metale V büyüklüğünde ters beslem voltajı uygulanırsa, qV_b engelini yüksekliği $q(V_b + V)$ değerine yükselecek ve akım akışı engellenecektir. Böylece klasik bilinen diyot davranışı elde edilmiş olacaktır.

Deplasyon bölgesinin yapısını daha iyi anlamak için p-n eklemlerde kullanılan deplasyon bölge yaklaşımı metal-yarıiletken kontaklara da adapte edilebilir. Eğer deplasyon bölgesinin W genişliği boyunca tamamen tükendiği varsayılırsa bu bölge sadece iyonize olmuş donörler nedeniyle statik yükleri içermektedir. n-tipi yarıiletken için üniform bir katkı derişimi N_d ile deplasyon bölgesindeki toplam yük qN_dW olarak yazılabilir. Gauss yüzeyi yaklaşımı deplasyon bölgesini saran diyota uygulanabildiğinden bu yük aynı zamanda yarıiletken yüzeyindeki elektrik alanını belirlemektedir. Gauss kanunu gözönünde bulundurularak aşağıdaki denklem diyotlar için yazılabilir (Kittel 1986).

($\epsilon = \epsilon_0$)

$$\oint_S \epsilon \cdot dS = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{qN_dWA}{\epsilon} \quad (2.13)$$

Yarıiletken nötr bölgede elektrik alanı sıfırdır. Dolayısıyla 2.13 denklemini aşağıdaki halini alır;

$$\varepsilon_s = \frac{qN_d W}{\varepsilon} \quad (2.14)$$

Deplasyon bölgesinin daha küçük kısımlarını kapsayan Gauss yüzeylerinin kullanılmasıyla elektrik alanı x derinliğinin bir fonksiyonu olarak bulunabilir ve bunun sonucunda elektrik alanının bu derinliğin $\varepsilon(x)$ bir fonksiyonu olarak büyüklüğü

$0 \leq x \leq W$ bulunur,

$$\varepsilon(x) = \frac{qN_d W (W-x)}{\varepsilon} \quad (2.15)$$

olarak elde edilebilir. Eğer $x = 0$ ise denklemler 2.14 ve 2.15'den $\varepsilon(x) = \varepsilon_s$ olacak ve $\varepsilon(x)$, $x = W$ konumunda sıfıra ulaşana kadar x 'in bir işlevi olarak doğrusal bir p^+-n bağlantısına benzeyecektir.

Bu elektrik alanından, tükenme bölgesi üzerindeki potansiyel fark, eşitlik 2.13 ile bütünleştirilerek elde edilebilir ve dolayısıyla,

$$V_b = - \int_0^W \varepsilon(x) dx = \frac{qN_d A}{\varepsilon} \int_0^W (W-x) dx = \frac{qN_d W^2}{\varepsilon} \quad (2.16)$$

denklemini ve elde ettiğimiz deplasyon bölgesi genişliği için;

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_b}{qN_d}} \quad (2.17)$$

sonucu elde edilir.

Ters beslem voltajı V uygulanması durumunda bu voltaj varolan gerilim değerine eklenir, deplasyon bölgesi genişliği artar ve aşağıdaki bağıntı elde edilmiş olur.

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon(V_b + V)}{qN_d}} \quad (2.18)$$

Metal-yarıiletken kontaklarda p-n eklemelerindeki akım iletim mekanizmalarından farklı olarak akım çoğunluk taşıyıcılar tarafından oluşturulmaktadır. Metaldeki elektronların engel üzerindeki davranışları TE adı verilen teoriye göre belirlenebilir. Elektronlar metalde bir dizi enerji durumu kaplarlar ve bu elektronların sadece bir kısmı eklemdeki ilgili engeli aşmak için yeterli kinetik enerjiye sahiptirler. Ayrıca engeli aşabilecek elektronların oranı T sıcaklığının yanı sıra engelin büyüklük değerine göre değişmektedir.

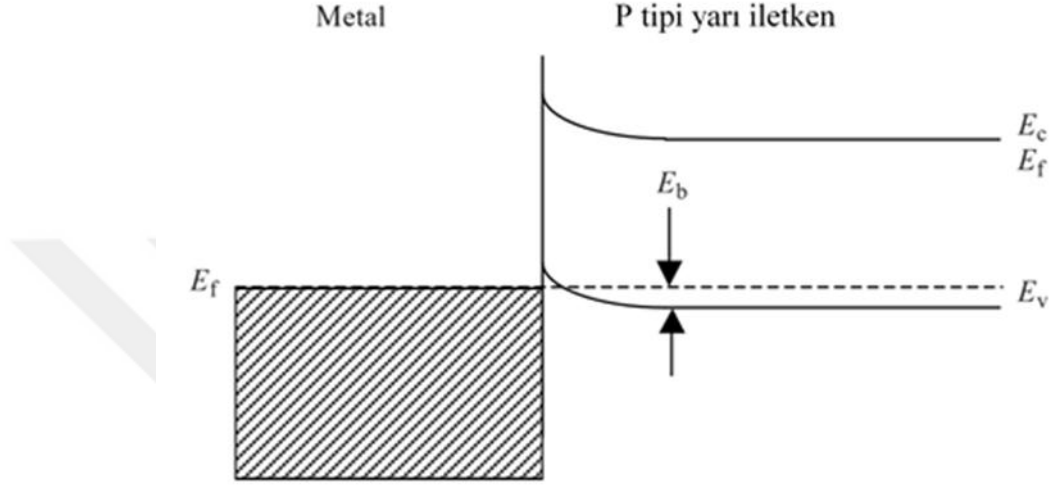
Şekil 2.10.b.'de gösterilen enerji bant diyagramında TE teorisine göre bir elektron sızıntı akımını (I_0) oluşacaktır. Denge koşullarının sağlanması için yarıiletkenden metale eşit ve zıt bir elektron akımının geçmesi gerekmektedir. n-tipi yarıiletkenden metale doğru akan bu son akım, bir p-n eklemesinde ki akımla aynı şekilde akmakta ve bu elektronlar, p⁺-n eklemesinin n-tipi tarafındaki bölge ile aynı mekanizmaya sahip olmaktadır. p⁺-n eklemelerindeki denkleme benzer olarak metal-yarıiletken kontaklar için I-V ilişkisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) \quad (2.19)$$

Burada I_0 sızıntı akımı, T sıcaklık, k Boltzmann sabiti ve V ise uygulanan voltajdır.

Uygulamada, herhangi bir yarıiletken ile etkili omik kontakların oluşumu deneysel olarak belirlenebilir ve optimize edilebilir. Buna rağmen teorik olarak tamamen modellenemezler. Çeşitli yarıiletkenler üzerinde omik kontaklar oluşturmak için çok çeşitli metaller, katkı maddeleri ve ısıl işlemler bilinmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi n tipi yarıiletken için Şekil 2.10'da, p tipi yarıiletken için ise Şekil 2.11'de gösterilen

yarıiletken yüzeyinin çok yüksek oranda katkılanması koşuluyla ortaya çıkan, deplasyon bölgesinin genişliği elektronun doğrudan metalden iletken bandına tünelleme yapılmasına izin verecek kadar küçük yapılması sonucu ortaya çıkmaktadır.



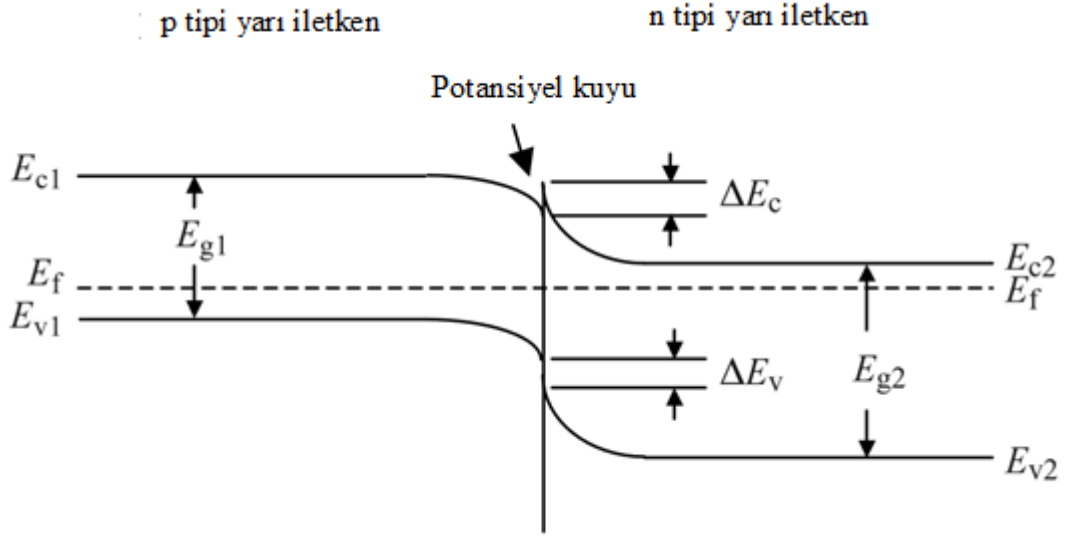
Şekil 2.11. p tipi yarıiletken ile metal arasında oluşan omik kontak için enerji bant diyagramlarının gösterimi

Bununla birlikte p-tipi yarıiletkendeki çoğunluk taşıyıcılar holler olduğundan, metalden yarıiletkene akan elektronlar hollerle birleşir ve daha fazla holün arayüzeye doğru akmasına izin verir. Hol ve elektron akışlarının yönleri birbirine zıt olmasına rağmen, aynı sızıntı akımını oluştururlar. Bu etkili bir omik kontak türüdür ve arayüzey yakınında bir p^+ bölgesi oluşmasını sağlar. Şekil 2.10'daki gibi uygulamada n-tipi silisyum üzerinde etkili bir omik kontak yapmak için, alüminyum gibi bir metal ile kontak yapılmadan önce bir n^+ bölgesi oluşturan silikon yüzeyine fosfor veya antimon gibi fazladan bir n-tipi katkının yapılması gerekir. p tipi silisyum için de alüminyum kullanılabilir. Her iki yarıiletken tipi içinde alüminyum ile kontak yapıldıktan sonra alüminyumun hem p^+ bölgesini hem de metal temasını oluşturan silisyum içine difüze olması için kısa bir ısıtma işlemi tabii tutmak gerekir. Metalden gelen elektronlar, p tipi yarıiletken yüzeyinin yakınında biriken yüksek konsantrasyonda hollerle birleşir. Böylece rekombinasyon yapan her hol, sürekli akım akışına yol açan başka bir holün yerini almasına izin verir.

2.5. Heteroeklemler

Bu kısma kadar anlatılan tüm p-n eklemler n ve p bölgelerini oluşturmak için katkılı tek bir yarıiletken malzemeden faydalanılarak oluşturulmaktadır. Katkı maddesi konsantrasyonu tipik olarak milyon aralığındaki değerlerde bulunmakta ve dolayısıyla bu yarıiletkenin Si gibi yarıiletkenler için tek bir elemente, GaN gibi bileşik yarıiletkenler için tek tip bir bileşiğe dayandığı anlamına gelmektedir.

Bir p-n eklemde, eklem her iki tarafında bir tane olmak üzere iki farklı yarıiletken mevcut ise artık heteroeklemlerden bahsetmek mümkündür. Buna örnek olarak bir p tipi GaAl ile n tipi $Ga_{0.8}Al_{0.2}$ verilebilir. Bu sistemde örgü sabiti için çok küçük bir uyumsuzluk olduğu için, yüksek kaliteli bir tekli kristal birleşim elde edilebilir. Bu tür bir heteroeklem için bir enerji bant şeması, Şekil 2.12'de gösterilmektedir (Kitai 2011). Bir deplasyon bölgesinin oluşumundan dolayı eklem yakınında bükülme olduğu görülmektedir. Ek olarak, iletkenlik ve değerlik bandı değerleri E_c ve E_v ortaya çıkmakta ve bu bant değerleri lokalize elektrik alanlarını ve eklemdeki çok ince bir tabakaya karşılık gelen yük yoğunluklarını göstermektedir. Metal-yarıiletken kontaklarda olduğu gibi, arayüzey yükü çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilir. Tek kristalli bir yarıiletken için baskın kaynaklar, iki yarıiletken arasında farklı elektron eğilimleri ve arayüzeyde oluşan yerel polarizasyon yükleridir. Ek olarak, örgü sabitleri genellikle mükemmel bir şekilde eşleşmediğinden, kaçınılmaz baskı ve oluşan zorlanma bu yerel yüke daha fazla katkıda bulunabilir.



Şekil 2.12. p-tipi GaAl ile n tipi $Ga_{1-x}Al_x$ arasında oluşan heteroeklemin enerji bant diyagramı

Şekil 2.12’de gösterilen göreceli değerler arayüzey yükleriyle belirlenir. Denklemlerin en belirgin sonucu elektronlar ve holler için etkin potansiyel engelindeki farktır. Örneğin, Şekil 2.12’de, elektronlar, $q(E_{v1} - E_{v2})$ için potansiyel engelden daha küçük olan bir potansiyel engel yüksekliğinin üstesinden gelmek zorundadırlar. Bu durum ise kontak boyunca hollerden ziyade elektron enjeksiyonunu kolaylaştırmaktadır. Taşıyıcıların enjeksiyonu potansiyel engel yüksekliğine bağlı olduğundan, hol ve elektron enjeksiyon hızlarında büyük bir fark elde edilebilir. İlgili oranların kantitatif olarak hesaplanması için; engelin şekli, her iki yarıiletken malzemedeki taşıyıcıların etkin kütleleri ve Şekil 2.12’nin iletken bandında gösterildiği gibi tünelleme olasılığı hakkında daha detaylı bilgi edinmek gerekir.

Heteroeklemlerde en çok dikkat çeken noktalardan biri de kondağa yakın bir potansiyel kuyu oluşmasıdır. Böyle bir potansiyel kuyu Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Elektronlar bu kuyuya sıkışmış olabilir, bu da yüksek frekanslı transistörlerde uygulamaları olan ince bir elektron tabakasına neden olabilir. Bununla birlikte, güneş hücrelerinde ve LED’lerde, heteroeklemler yüksek verimli cihaz tasarımlarını mümkün kılan önemli optik ve elektriksel özelliklere sahiptirler. İstenmeyen foton absorpsiyonu, geniş aralıklı yarıiletken bölge ile birlikte bir diyota giren veya çıkan fotonların uygun şekilde

düzenlenmesi ile büyük ölçüde azaltılabilir. LED yapısının bir örneği olarak Şekil 2.12’de gösterildiği gibi, E_{g1} boyunca elektronların ve hollerin rekombinasyonu ile yayılan fotonlar, E_{g2} ’nin yarıiletkeni tarafından önemli ölçüde yeniden absorbe edilmeyecektir. Bu ise ışık cihazdan ayrılmadan önce n-tipi yarıiletkeninden geçtiğinde LED’den gelen ışık kaybını etkili bir şekilde azaltacaktır.

2.6. Grafen Oksit Oluşumu ve Kimyasal Yapı Mekanizması

Grafen oksit (GO), yaklaşık 160 yıl önce ilk sentezlendiğinden bu zamana dek kimyacıların daima ilgisini çeken bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu harika malzemenin kimyasal yapısı, kimyacılar tarafından uygun bir yapısal model önerme çabalarına rağmen bugüne dek belirsizliğini korumuştur. Aynı zamanda, bazı nedenlerden dolayı çalışmalara ilk başlayan araştırmacıların GO kimyası konusundaki görüşlerinde yanlış olduğu kabul edilmektedir. Lerft’in ortaya koyduğu en yeni ve geniş kabul görmüş model bile bazı dezavantajlar içermekte ve tüm deneysel gözlemleri açıklayamamaktadır (Dimiev and Eigler 2016).

2004 yılında Novoselov ve Geim’in çalışmaları ile başlayan “grafen dönemi”, GO’in kendine özgü ve ilginç özellikleri sebebiyle GO’e ait olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte, yirminci yüzyılın tersine, modern GO ile ilgili çalışmaların büyük kısmı uygulamalı araştırmalardır ve birçok potansiyel uygulama için test edilmiştir. Bu malzemenin temel özellikleri daha az dikkat çekmiştir. Modern uygulama odaklı araştırmalarda, temel bilim bir lüks olarak kabul edilmekte ve böyle bir lüksü karşılayabilecek birkaç çalışma yapılabilmektedir. GO oluşum mekanizmasını anlamak, istenilen özelliklere sahip hedef ürünler ve düşük maliyetli üretim yöntemlerini geliştirmek için, gerçek kimyasal yapıyı keşfetmek ve anlamlı işlevsel yöntemleri geliştirmek kritik öneme sahiptir (Dimiev and Eigler 2016).

2.6.1. Temel yapı

GO, birkaç oksijen fonksiyonelliğini sağlayarak ana grafen bünyesinden türetilen iki boyutlu (2D) bir malzemedir. Oksijen atomları kovalent olarak karbon atomlarına bağlanmış ve bunları ana grafen içindeki sp^2 hibritlenmiş durumundan sp^3 hibritleştirilmiş duruma dönüştürmüştür. Tipik bir GO'de, oksijene bağlanmış karbon atomlarının sayısı, bozulmamış sp^2 hibritleştirilmiş karbon atomlarının sayısını aşmakta bu da GO'in grafen malzemesinden farklı olmasını sağlamaktadır. Öte yandan oksijenin bu işlevleri diğer türlü ideal grafen düzlemine eklenen kusurlar olarak düşünülebilmektedir. Bu kusurlar elektriksel olarak iletken grafeni bir yalıtkan haline dönüştürebilmektedir. Ayrıca oksijen işlevleri GO'e grafenin sahip olmadığı birçok benzersiz özellik sağlamaktadır. Bu özelliklerden biri, hidrofilik, yani suda ve bazı düşük molekül ağırlıklı alkollerde çözünebilirlik sağlaması ve kararlı koloid çözeltiler oluşturma kabiliyetidir. Diğer bir avantaj ise benzersiz optik ve elektronik özelliklerden sorumlu olan ayarlanabilir bir bant aralığı açmasıdır. Oksijen işlevleri, karbon örgü ağının her iki tarafından da bağlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, her bir GO katmanı, karbon katmanının iki oksijen atomu katmanı arasına sıkıştırıldığı (tratomik-katman) 2D malzemesi olarak düşünülebilir. Ancak bu basitleştirilmiş model tam olarak doğru olmayıp oksijen atomlarının karbon örgü ağını tam olarak kaplamaması gibi bir eksikliğe sahiptir. C/O atomik oranı birkaç dereceye kadar değişir ve yeterince okside olmuş GO örnekleri için yaklaşık 2:1 olarak kabul edilir. Oksijensiz bölgelerde grafit adı verilen alanlarda, GO parçacıkları sadece bir atomik kalınlıkta olan katmanlardır. Bu nedenle, her bir GO katmanının, belirli konumlarda düzlemden uzanan oksijen işlevleri ile kalın bir atomik katman olduğunu belirtmek daha doğru olacaktır. AFM, oksitli bölgeleri grafit bölgelerinden çözmekte zorlanır ve sadece bir GO parçacık için ortalama kalınlık sağlar. Bildirilen parçacık kalınlıkları 0,8 Å ile 1,2 Å arasında değişmektedir. Karşılaştırma için, bir altlık üzerinde bir tek katmanlı sağlam grafenin ölçülen kalınlığı 0.5-0.6 Å'dır. GO sadece bir karbon tabakası kalınlığında olsa da, parçacığın kalınlığı boyutu yüzlerce nanometreden onlarca ve hatta yüzlerce mikrometre arasında değişebilir. Gerçek 2D formunda, GO tek katlı tabakalara tamamen dökülmüş veya bir altlık yüzeyine yerleştirildiği çözeltide Şekil 2.13'de olduğu gibi bulunabilir (Dimiev and Eigler 2016).



Şekil 2.13. Çözelti halindeki GO ve bir substrat yüzeyinden alınan GO'nun SEM görüntüleri (Dimiev and Eigler 2016).

Gerçek 2D tek katmanlı formunda grafen oksit'in Şekil 2.13'de görüldüğü gibi çözelti rengi sarıdan kahverengiye değişebilir. Şekil 2.13'de Si/SiO₂ altlık üzerinde GO pullarının SEM görüntüsü katmanların saydamlığı ve opaklığı ile ayırt edilebilir. Bu görüntüdeki tüm parçacıklar tek katmanlıdır. Görüntü, yapılar üst üste geldiği yerde daha karanlık olup, çift katmanlı yapılar oluşturmaktadırlar.

Solüsyonlarda, GO parçacıkları tamamen çözücü molekülleri (su veya alkoller) ile çevrilidirler. GO parçacıkları altlık üzerinde iken, bir tarafı hava ile diğer tarafı da altlık yüzey ile temas halindedir. Büyük olasılıkla su molekülleri altlık yüzeyinde olsalar bile, her iki taraftaki GO yüzeyine hala kuvvetlice hapsedilmektedirler. Sulu çözeltilerde GO parçacıklarının, GO/su ara yüzünde elektriksel bir çift tabaka oluşumu ile negatif olarak yüklendiği de diğer önemli bir ayrıntı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kütle formunda, GO'in 2D karakteri tam olarak telaffuz edilememiştir. GO'in kütle formu, tarihsel olarak "grafit oksit" olarak adlandırılan katı bir malzemedir. Grafit oksit, önceden dökülmüş tek katmanlı GO tabakalarının yeniden üst üste gelmesiyle oluşan üründür. Grafit oksit, bir delaminasyon basamağı (tabakaların birbirinden ayrılması) uygulamadan grafit oksidasyonundan sonra da elde edilebilir. Bu madde, absorbe edilen su miktarına bağlı olarak kurucu GO tabakaları arasında tekrarlama mesafesi olan, gevşek bir şekilde düzenlenmiş bir yapıya sahiptir. Parçacıklar arasında zayıf bir etkileşime olmasına

rağmen, suda çözüldükten sonra, GO ince tabakalar tek katmanlı GO tabakalarının bir koloid çözeltisi oluşturmak üzere kolayca birbirlerinden ayrılırlar. Bu açıdan bakıldığında, katı grafit oksit, basit bir GO tabakalarının birikimi olarak kabul edilebilir. Bir başka açıdan, GO'in kimyasal yapısı malzemenin şekline ve çevresiyle etkileşme oranlarına da bağlıdır ve kimyasal yapısının hala tam olarak anlaşılmasının nedenlerinden biri de budur (Dimiev and Eigler 2016).

2.7. Grafen Oksit Üretim Yöntemleri

GO, konsantre asit ortamında güçlü oksidanlarla oksidasyon yoluyla grafitten üretilir. Oksitleyici ve asidik ortamın seçimine bağlı olarak, GO üretim metodlarının en önemlileri; Brodie yöntemi (Brodie 1855), Staudenmaier yöntemi (Staudenmaier 1898) ve Hummers yöntemidir (Hummers 1958).

Brodie metodunda nitrik asit ortamında oksidan olarak potasyum klorat ($KClO_3$) kullanılmaktadır. Bir adımda ve bir kapta reaksiyon tamamlanamadığı için bu yöntem etkili değildir. Birinci reaksiyondan gelen kısmen oksitlenmiş üründen yeterince oksitlenmiş ürün elde edilinceye kadar birkaç kez izole edilmesi, saflaştırılması ve yeni bir oksidasyon döngüsüne tabi tutulması gerekir. Staudenmaier metodunda, konsantre nitrik ve sülfürik asitlerin karışımında $KClO_3$ kullanılmaktadır. Brodie yöntemine benzer şekilde, oksidasyon sırasında reaksiyon karışımına eklenmesi için birden fazla $KClO_3$ gerekir. Çünkü yüksek konsantrasyonda oksitleyici etkenin asidik ortamda uzun süre saklanması zordur. Eklenen $KClO_3$ miktarı, hedef reaksiyona paralel, yani grafit'i oksitleyen bir reaksiyonda hızla ayrışır. Hummers metodunda ise konsantre sülfürik asit ortamında potasyum permanganat ($KMnO_4$) kullanılmaktadır. Hummers ve Offeman kendi kimyasal tepkimelerinin iki saat içinde tamamlandığını ve dolayısıyla Brodie ve Staudenmaier yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha etkili olduğunu iddia etmiştir. Aslında, bu yöntem daha etkili olmasına rağmen Hummers ve Offeman tarafından kullanılan sadece küçük partikül büyüklüğünde toz grafit kaynağı kimyasal tepkimelerin hızlı olmasını sağlamaktadır. Partikül büyüklüğündeki grafit tamamen

aynı Hummers metodu ile oksidasyona maruz kaldığında tam oluşmamış, okside olmuş bir grafit-GO hibrit elde edilir.

Bu yöntemlerle hazırlanan GO'ler kimyasal bileşimde biraz farklılık göstermektedirler (Poh *et al.* 2012; You *et al.* 2013; Dimiev 2016). Charpy-Hummers metoduyla hazırlanan numuneler normalde daha fazla okside iken, Brodie metoduyla hazırlanan numuneler daha az okside olmaktadır. Bunun sebebi ise Hummers yönteminde kullanılan potasyum permanganatın, potasyum klorattan daha güçlü bir oksitleyici etken olduğu gerçeğine bağlıdır. Ancak, gerçek durum o kadar basit değildir. GO'in oksidasyon seviyesi sadece oksidanların yapısına değil, en önemlisi oksidasyon için kullanılan oksidan miktarına da bağlıdır. Farklı oksidasyon seviyelerine sahip GO'ler kullanılan oksidan miktarını ve reaksiyon için gereken süreyi değiştirerek her üç yöntemle de hazırlanabilir.

Charpy-Hummers metodu, daha kısa reaksiyon süresi ve göreceli GO hazırlama kolaylığı nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Ayrıca, bu yöntem Brodie ve Staudenmaier yöntemleriyle büyük miktarlarda oluşan zehirli nitrik asit ve klor dumanlarının oluşumunun önüne geçer. Charpy-Hummers yaklaşımı (Kovtyukhova *et al.* 1999; Marcano *et al.* 2010), neredeyse orijinal Hummers metodu (Hummers 1958) kadar sık kullanılan iki ana modifikasyona sahiptir. Kovtyukhova modifikasyonu (Kovtyukhova *et al.* 1999), grafitin potasyum persülfat, difosfor pentaoksit (fosfor (v) oksit) ve sülfürik asit karışımına maruz kaldığı ön oksidasyon adımı içerir. Bu adım "ön-oksidasyon" olarak adlandırılırken asıl rolü, grafitle iç içe geçme destekli genişlemesidir. Bu genişleme, potasyum permanganat ile takip eden oksidasyon aşaması sırasında oksitleyici maddenin grafit yapılarına daha iyi erişimini sağlar. Sonuç olarak, daha yüksek oksidasyon oranları sağlanır. Daha fazla oksidan kullanımı, GO ürününün daha yüksek oksidasyon seviyelerini sağlarken, yazılanlarda iddia edildiği gibi fosforik asit ilavesi, daha az yapısal olarak zarar görmüş GO ürününü verir.

2.7.1. Hummers metodu

Staudenmaier yönteminden yaklaşık 60 yıl sonra, Mellon Endüstriyel Araştırma Enstitüsü kimyagerleri Hummers ve Offeman, GO elde etmek için farklı bir yöntem geliştirmişlerdir (Gao 2015). Konsantre sülfürik asit, sodyum nitrat ve potasyum permanganatın susuz bir karışımı hazırlanmış ve grafit oksidasyonu için bu çözelti 45 °C'nin altında tutulmuştur. Tüm oksidasyon işlemi 2 saat içinde bitmiş ve Staudenmaier'in elde ettiği GO dan daha yüksek oksidasyon derecesine sahip bir GO elde edilmiştir.

Ancak Hummers'in ürününün dış kabuklarda tamamen GO olmayan bir grafit çekirdeğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kovtyukhova tarafından, 80 °C'lik konsantre bir H₂SO₄, K₂S₂O₈ and P₂O₅ çözeltisi ile grafit elde etmek için oluşturulan proses yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ön işlemden geçirilen karışım seyreltilmiş, karıştırılmış, yıkanmış ve Hummers'in oksidasyon aşamasına geçmeden önce kurutulmuştur. (Gilje *et al.* 2007; Chen *et al.* 2013) başka çalışmalarda farklılık olarak potasyum permanganatın miktarının artırılması gibi durumları içermektedir. Bu modifiye edilmiş Hummers yöntemi günümüzde yoğun olarak kullanılan GO elde etme yöntemidir. Bu yöntemle hazırlanan tipik bir GO'nın kalınlığı 1 nm dir ve yanal boyutunun da yaklaşık olarak 1µ olduğu ve kimyasal bileşiminin C:O:H=4:2,95:2,5 olduğu belirlenmiştir.

GO'nın oksidasyonun derecesi ve verimi Brodie'nin elde ettiği GO ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde geliştirilmiştir. Ancak geliştirilmiş Hummers yönteminde ayırma ve saflaştırma işlemleri halen daha oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır.

2.8. Altın-Gümüş Nanopartiküller ve Grafen Oksit Nanokompozitleri

Altın ve gümüş nanopartikülleri çok farklı yöntemler ile sentezlenebilmektedirler. Bu yöntemler arasında en çok kullanılanı kimyasal metotlardır. Kimyasal metotlar, üründe yüksek kontrol, toksik olmayan çözeltileri seçme üstünlüğü, sıcaklık, reaktiflerin

değişimşive çözeltilinin türü ile nanopartiküllerin boyutları ve şekillerinin kontrol edilebilmesi ve en önemlisi düşük sıcaklıklarda reaksiyonun gerçekleşebilmesi gibi avantajlara sahiptirler. Kimyasal yöntem ile nanopartiküller hem sulu ortamda hem de organik ortamda sentezlenebilmektedirler.

Altın ve gümüş nanopartikülleri kararlı halde tutabilmek için birçok farklı stabilizatör kullanılmaktadır. Bunlardan en çok tercih edilenleri küçük tiyol molekülleri veya tiyol uç grubu içeren makro polimerlerdir. Alkanetiyoller ile altın, gümüş nanopartiküllerin stabilizasyonunda tiyol molekülleri, altın, gümüş ve sülfürün karakterleri nedeniyle kovalent bağ vasıtasıyla altına kuvvetli bir şekilde bağlanırlar.

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, nanopartiküllerin grafen nano tabakalar gibi karbon materyaller ile kombinasyonunun, her bir materyalin tek başına kullanımı ile kıyaslandığında, biyo uygulamalar için son derece arzu edilen ve belirgin bir şekilde avantajlı ilave eşsiz fizikokimyasal özellikler sergilediğini göstermiştir (Metin *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2015). GO üzerinde oksijen barındıran fonksiyonel gruplar, metal nanopartiküllerinin mevcut durumunu koruyan GO'in arayüzey boşluklarında moleküllerin etkileşimini sağlamaktadır. Bu durumundan dolayı GO altlık olarak kullanıma elverişli bir materyaldir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin sentezi, elde edilen bu malzemelerin yapısal ve morfolojik özelliklerinin Raman, TEM ve SEM ölçümleri ile belirlenmesi, n-InP yarıiletkenlerinin temizlenmesi, omik ve Schottky kontakların hazırlanması hakkında bilgiler verilecektir. Ayrıca elde edilen Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların elektriksel parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan teknikler ve cihazlara ait bilgiler de bu bölümde anlatılmaktadır.

3.1. Grafen Oksit Sentezi

İki aşamalı olarak sentezlenen grafen oksitin ilk aşamasında ham madde olarak kullanılan grafitin ön oksidasyonu yapıldı. İçerisinde 20 g grafit bulunan kaba sırasıyla 50 mL H_2SO_4 , 10 g $K_2S_2O_8$ ve 10 g P_2O_5 ilave edilerek karıştırıldı ve sıcaklığı 80 derece de sabit tutulup 6 saat boyunca bekletildi. Süreç sonunda koyu kahverengi-siyah tonda kıvamlı bir malzeme elde edildi. Malzemenin derecesi oda sıcaklığına geldiğinde kontrollü bir şekilde saf su eklenerek seyreltik çözelti elde edildi. Bu saf su ilavesi ile çözelti simli griye yakın bir renge dönüştü. Vakum pompası yardımıyla adi süzgeç kâğıdı kullanılarak vakum altında süzme işlemi yapıldı. Numuneyi safsızlıklardan arındırmak için önce 100 mL saf su daha sonra 100 mL etanol ile yıkandı. Numune etüve alınarak 100 derece de 12 saat süresince kurumaya bırakıldı. Elde edilen bu numune grafitin ön oksidasyonu olup, grafen oksit sentezi içinde kullanılmaktadır.

İkinci aşamada, elde edilen grafitten modifiye Hummers metodu yardımıyla grafen oksit sentezlendi. Reaksiyon, 700 rpm karıştırma hızında sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı üzerinde gerçekleştirildi. Reaksiyon kabına 1 g ön oksidasyonlu grafit, 1 g $NaNO_3$ ile 50 mL H_2SO_4 eklenerek karıştırıldı. Sıcaklık 0-4 derece arasına buz banyosu ile düşürüldü. Sıcaklığın değişmeyip sabit kalması için yavaş yavaş 6 g $KMnO_4$ eklendi. 30 dakika boyunca buz banyosu içerisinde bekletildikten sonra sıcaklık 35 dereceye çıkarılarak 3 saat boyunca bu sıcaklıkta karıştırıldı. Bu süreç sonunda kıvamlı bir ürün elde edildi.

Reaksiyon kabı, saf su eklenmesi ile meydana gelecek ani ısı değişimleriyle reaksiyon sıcaklığının artmaması için tekrardan buz banyosuna koyuldu. Sıcaklığın sabit kalmasına dikkat edilerek 50 mL saf su yavaş yavaş eklendi. Yaklaşık 30 dakika boyunca karıştırılarak koyu kahverengi bir malzeme elde edildi. Daha sonra 100 mL saf su yavaş yavaş eklendi. Ardından 8 mL %30'luk H₂O₂ damla damla ilave edildi. Süzme işlemi yapıldıktan sonra ortamdaki asiti uzaklaştırmak için 4 kere 100'er mL saf su ile yıkandı. Numune bu işlem sonunda sarıdan kahverengi renge dönüştü. Son olarak etüvde 90 derecede kurutularak grafen oksit numunesi sentezlenmiş oldu (Cogenli and Bayrakceken Yurtcan 2018).

3.2. Altın ve Gümüş Nanopartiküllerin (AuNPs ve AgNPs) Sentezi

Gümüş nanopartiküllerin sentezi literatürde bulunan Oliveira ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma örnek alınarak yapılmıştır (Oliveira *et al.* 2005). Öncelikle 0,03M AgNO₃ çözeltisi hazırlamak için 0.0191 g AgNO₃ tuzu alınarak 3,75 mL saf su içerisinde çözülmüştür. Hazırlanan bu çözelti 10 mL etanol ve 1.3x10⁻⁴ M mercaptoundecanoic asid ile manyetik karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında bir beher içerisinde karıştırılmıştır. Bu karışım içerisinde molar oran 1:1 tiol:Ag olacak şekilde hazırlanan 25,2 µl (1.05 × 10⁻⁴ mol) tiol ilave edilmiştir. 3,125 mL saf su içerisinde çözülen 0,0472 g NaBH₄ çözeltisi beher içerisinde karışmakta olan diğer çözeltinin içerisinde damla damla eklenmiştir. Bu işleme oda sıcaklığında 2 saat süresince karıştırma altında devam edilmiştir. Sentezlenen Ag nano partikülleri santrifüj yapılarak çözeltilerden alınmıştır. Daha sonra bu numune ilk olarak 100 mL hegzan ve sonrasında 100 mL etanol ile yıkanarak santrifüj yapılmıştır. Numunenin kurutma işlemi 90 dereceye ayarlanan etüv içerisinde 12 saat süresince tutularak yapılmıştır. AgNO₃ tuzu yerine HAuCl₄ tuzu kullanılarak aynı işlemler tekrar edilmiş ve Au nanopartikülleri sentezlenmiştir.

3.3. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Sentezi

Hummers metodu ile sentezlenen GO'den 5 mg alınarak, 5 mL etanol içerisinde 2 saat süresince manyetik karıştırıcıda karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır. Önceden hazırlanan

Au nanopartiküllerinden 5 mg alınıp hazırlanan bu GO çözeltisi içerisine eklenmiş ve homojen bir dağılım gerçekleşene kadar 3 saat süresince karıştırılmaya devam edilmiştir. Hazırlanan bu karışım 8000 rpm 15 dakika süresince santrifüj yapılarak AuNPs-GO nanokompozitleri elde edilmiştir. Au nanopartikülleri yerine Ag nanopartikülleri kullanılarak aynı yöntem ile AgNPs-GO nanokompozitleri sentezlenmiştir.

3.4. Taban Malzemelerin Temizlenmesi

3.4.1. Cam taban malzemelerin temizlenmesi

Cam altlıklar 1x1 boyutlarda elmas kesici ile kesildikten sonra deterjanlı su ile yıkandı. Ardından de-iyonize su ile durulandıktan sonra aseton içerisinde ultrasonik olarak 10 dakika boyunca temizlendi. Son olarak 1:1 oranda hazırlanan su etanol karışımı içerisinde ultrasonik olarak 10 dakika temizlendikten sonra deiyonize su ile durulanıp azot gazı ile kurutuldu.

3.4.2. n-InP yarıiletkeninin temizlenmesi ve omik kontakların yapılması

Bu çalışmada yarıiletken olarak 400 µm kalınlıklı (100) yönelimli fabrikasyon olarak parlatılmış n-tipi InP kullanılmıştır. n-InP yarıiletkenin yüzeyi parlak olduğundan direk olarak kimyasal temizleme işlemine maruz tutulmuştur. Kimyasal temizleme için aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanmıştır:

1. Trikloretilen’de ultrasonik olarak 3 dakika yıkandı.
2. Aseton’da ultrasonik olarak 30 dakika yıkandı.
3. Methanol’de ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı
4. Deiyonize su ile iyice durulandı.
5. ($H_2SO_4:H_2O_2:H_2O:5:1:1$) çözelti içerisinde 1 dakika boyunca bekletildi.
6. Deiyonize su ile iyice durulandı
7. Seyreltik HF ($H_2O:HF:10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
8. Deiyonize su içerisinde iyice durulandı.

9. Son olarak da azot gazı ile kurutuldu.

n-InP yarıiletkenlerine omik kontak yapmaya geçmeden önce, tavlama için kullanılacak olan kuvarz pota, molibden ısıtıcı aseton ve metanol ile ultrasonik olarak 5 dakika yıkandı. Azot gazı ile kurutuldu. Ayrıca omik kontak yapımında kullanılacak olan %88 Altın ve %12 Germanyum (Au-Ge) alaşımının kimyasal temizliği, seyreltilmiş HF çözeltisi kullanılarak 30 s süreyle yapıldı.

Omik kontak yapmak için kimyasal temizleme işlemi yapılan n-InP yarıiletkeni, molibden ısıtıcı ve ısıtıcı içerisine %88 Altın ve %12 Germanyum (Au-Ge) alaşımı vakum buharlaştırma ünitesine yerleştirildi. n-InP yarıiletkenin mat tarafı vakum sistemi içerisinde bulunan uygun yükseklikteki levhanın üzerine metal koyduğumuz ısıtıcıya bakacak şekilde dizayn edildi. Daha sonra metal buharlaştırma ünitesi vakuma alındı. Vakum içerisindeki basınç 10^{-7} torr değerine düşüncüye kadar beklenildi. Isıtıcıya akım verilerek indiyum metalini yarıiletkenin mat yüzeyine buharlaştırarak yüzeyin metalle kaplanması sağlandı. Kısa bir süre sonra vakum ortamına hava verildi. Vakum ortamından alınan numune kuvarz pota içerisine yerleştirilerek önceden 520°C 'ye ayarlanıp dengeye gelen tavlama fırınında 3 dakika boyunca azot gazı ortamında tavlandı. Böylece n-InP yarıiletkeni için omik kontak işlemi tamamlanmış oldu.

3.5. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Cam ve InP Altlıklar Üzerine Büyütülmesi

Kimyasal temizleme işlemi tamamlanan cam ve InP altlıklar spin kaplama ünitesine sırasıyla yerleştirildi. AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeler yine bu kaplama ünitesine ait şırınga ile ayrı ayrı altlık yüzeyler üzerine gönderildi. Altlıkların yerleştirildiği tabla 1000 rpm hızda döncecek şekilde ayarlandı ve büyütme işlemine üç dakika boyunca devam edildi. Son olarak farklı altlıklar üzerindeki bu AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeler etüv içerisinde 100°C 'de beş dakika boyunca tavlansak büyütme işlemi sonlandırılmış oldu.

3.6. Spektroskopik Teknikler

3.6.1. Raman spektroskopisi

Raman spektroskopisinin temellerini 1928 yılında Hintli bilim adamı C.V. Raman atmış ve bu buluşundan dolayı 1931 Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır. Raman spektroskopisinin temeli, numunenin GB veya NIR monokromatik ışıktan oluşan güçlü bir lazer kaynağıyla ışınlanmasıyla, saçılan ışının belirli bir açıdan (genellikle 90 derece) ölçümleri olarak tanımlanır. Raman Spektroskopisi maddenin her türlü halinin titreşim, dönme ve diğer düşük frekanslı durumlarının çalışıldığı spektroskopik bir tekniktir.

Raman spektroskopisi çoğunlukla görünür, yakın infrared veya yakın ultraviyole bölgede bir lazerden gelen monokromatik bir ışığın (fotonun) elastik olmayan saçılması esasına dayanır.

GO'nun Raman spektroskopisi, yapıya özgü titreşimli fonon modlarını ortaya çıkaran etkili bir karakterizasyon yöntemi olarak kullanılabilir. GO gibi grafit ve grafit tabanlı malzemelerin Raman spektrumları, çeşitli ayırt edici özelliklere sahiptir ve bu malzemeler için D ($\sim 1385 \text{ cm}^{-1}$), G ($\sim 1580 \text{ cm}^{-1}$) ve G' veya 2D ($\sim 2700 \text{ cm}^{-1}$) bilinen spesifik bantlardır (Kaniyankandy *et al.* 2011; Kochmann *et al.* 2012). D bandı bir fonon içeren ikinci dereceden bir etkiden kaynaklanır ve sp^2 grafit yapısında bir kusurdur; bu sp^2 hibritleşmesinden meydana gelen düzensizlikten kaynaklanır. Genellikle 2D olarak adlandırılan G' bandı, karşıt momentuma sahip iki fonon oluşumundan kaynaklanır ve grafit tabaklarının sayısına kuvvetli bir şekilde bağlıdır.

D', D + G, D + D', G + D', 2D', vb. gibi diğer daha az öne çıkan bantlar da bazı durumlarda tespit edilebilir (Kaniyoor and Ramaprabhu 2012). Ancak G bandı sp^2 grafit yapısını açıkladığından ve D bandı da bu yapıdaki kusurlarla ilişkilidir. Grafit tabanlı malzemeler için çoğunlukla G ve D bantları önem arz etmektedir. I_D / I_G arasındaki şiddet oranı, sp^2 karbon örgüsündeki kusur varlığının iyi bir ölçüsüdür. GO'ye ait bu bantlar, grafit ve grafitinkinden biraz farklıdır. D bandı GO için geniş ve yoğun bir banttır ve G

bandı ise biraz basık, geniş ve bazen de biraz daha yüksek frekanslara kaymış durumdadır (Kudin *et al.* 2008). Bu kayma muhtemelen, sentezlenmiş GO olarak gözlemlenen katkılama kaynaklı G bandını değiştirme davranışına uygun olarak katkı etkileri ile ilişkilendirilebilir (Ang *et al.* 2009; Kumar *et al.* 2014).

3.7. Görüntüleme Teknikleri

3.7.1 Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)

TEM, görüntüleme ve kırınım tekniklerini birlikte kullanarak malzemelerin mikro yapısal incelemesini ve kristal yapılarının belirlenmesini birlikte sağlayabilen çok özel bir malzeme karakterizasyon cihazıdır. Bir başka deyişle, nanometre mertebesinde çok küçük ve ince alanlardan, milyon katı büyütme malzemenin kristalografik ve morfolojik bilgilerine aynı anda ulaşılmasını olanaklı kılan bir tekniktir. Yüksek ayırma gücü, aynı anda kırınım ve görüntü bilgilerinin alınabilmesi gibi üstünlüklerine rağmen, bu tekniğin de belli sınırlamaları vardır: Üç boyutlu bir numuneden alınan iki boyutlu ve kırınım kökenli görüntülerin yorumlanması uzmanlık gerektirir. Özellikle biyolojik ve polimerik malzemelerde öne çıkan ışın hasarı etkisi numune özelliklerinin değişmesine yol açabilmektedir. En büyük kısıtlama ise numune hazırlamada ortaya çıkar. Elektron mikroskopta incelenecek numune kesinlikle katı malzeme olmak zorundadır ve 3mm çapında, 100 mm'den daha ince ve elektron geçirgenliğine sahip (bir kaç mm) bir disk olarak hazırlanma zorunluluğu sorun yaratabilir. Dolayısıyla elektron geçirgenliğine uygun olarak hazırlanamamış bir numuneden bir görüntü kontrastı elde etmek mümkün olamamaktadır. TEM'de görüntü ve kırınım bilgisini elde etmenin temel prensibi, ortasında çok küçük bir delik bulunan numuneye paralel bir elektron demeti göndermek ve numuneden doğrudan geçen kırınım uğramamış ışınları (TB) ve numunenin belirli düzlemlerinden Bragg şartlarına uygun açılarda kırınım uğramış (DB) ışınları numunenin altında toplamak esasına dayanır.

TEM, ince bir numuneden iletilen elektronların tespitine dayanır. Grafen ve GO gibi 2D materyaller için çok uygun bir yöntemdir; çünkü numuneler bir TEM ızgarası üzerine

pullar asılarak kolayca hazırlanabilir. Bununla birlikte, GO ile ilgili çalışmalar için TEM kullanımı nispeten sınırlıdır. Bunun nedeni TEM'deki nispeten küçük görüntüleme alanıdır ve tek seferde tek bir pul görülebilir. Bu, SEM'e kıyasla bir dezavantajdır, aynı anda çok sayıda pul görüntülenmesini sağlar. Karşılaştırma amacıyla ve istatistiksel analiz için avantajlıdır. TEM, nanopartiküller ile katılanmış GO gibi nanokompozit malzemeleri incelemek için faydalı olabilir. Tek katmanlı GO, elektron demetinde tamamen saydam olduğundan, GO tabaka ile nanopartiküller arasındaki iyi kontrast elde edilebilir.

3.7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Elektron demeti raster tarama düzeni ile yüzeyi tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturulur.

SEM görüntüleri, ortamdaki elektron ışını tarafından uyarılan örnek atomların yaydığı ikincil elektronların tespit edilmesi ve toplanmasıyla üretilir. SEM görüntüleme tekniği GO örneklerini analiz etmek için en sağlam mikroskopi yöntemidir. Aynı görüntü üzerinde onlarca ve hatta yüzlerce farklı GO pulunun bulunduğu bir numunenin geniş yüzey aralığında hızlı bir şekilde taranmasını sağlar. 500-100000 arasında değişen büyütmelemlerle yüksek kaliteli GO görüntüleri elde edilebilir. GO pulları bir altlık üzerine biriktiğinde, SEM pul büyüklüğü dağılımı, karbon katman sayısı, pul morfolojisi vb. hakkında tam bilgi sağlamaktadır. Kolaylığı ve sağlamlığı göz önünde bulundurulduğunda SEM tekniği, GO üretimi endüstriyel ölçekte geldiğinde rutin bir kalite kontrol yöntemi olarak bile kullanılabilir.

3.8. Raman, TEM ve SEM Ölçümlerinin Alınması

Hummers metodu ile sentezlenen, spin kaplama yöntemi ile 1x1cm boyutlarında cam ve InP yarıiletkeni üzerine büyütülen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozitlerin her biri Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM)'da sırasıyla aşağıda marka ve modelleri belirtilen cihazlarla ölçümleri alınıp karakterize edilmiştir:

Raman ölçümleri: WITec Alpha300 Micro Raman

TEM ölçümleri: FEI Technai G2 Spirit BiO (TWIN)

SEM ölçümleri: Zeiss Sigma 300 Field Emission.

3.9. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapıların Üretilmesi

Omik kontaktları yapılan n-InP/Au-Ge, AuNPs-GO/n-InP/Au-Ge, AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge yapılarının üzerine Schottky kontak yapmak için kullanılan Au ve Ag metalleri ultrasonik banyo içerisinde seyreltilmiş HF çözeltisi içerisinde temizlendi. Deiyonize su ile iyice yıkandıktan sonra azot gazı ile kurutuldu. Daha sonra vakum sistemi içerisinde aynı şartlarda omik kontaktları yapılmış olan n-InP ve AuNPs/GO üzerine yarıiletkenlerinin parlak yüzeylerine 10^{-7} basınç değerinde Au buharlaştırılarak ve AgNPs/GO üzerine Ag buharlaştırarak doğrultucu kontaklar elde edildi. Buharlaştırma sırasında, kontak alanlarının belirlenmesi amacıyla, merkezleri arası 3 mm olan 1 mm çapındaki daire şeklinde deliklere sahip ince bir molibden maske kullanıldı. Kontaktların yapıldığı vakum sistemi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Omik ve Schottky kontak yapımında kullanılan termal buharlaştırma sistemi

Elde edilen $Ag/n-InP/Au-Ge$, $Au/AuNPs-GO/n-InP/Au-Ge$, $Ag/AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge$ yapıları önceden hazırlanan numune tutucularına ayrı ayrı yerleştirildi. Yapıların oda sıcaklığında ve karanlıkta I-V ölçümleri “KEiTLEY 2400 Picoammeter/ Voltage Source” cihazı ile alındı ve idealite faktörü, engel yüksekliği gibi temel diyot parametreleri hesaplandı.

$Au/AuNPs-GO/n-InP/Au-Ge$, $Ag/AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge$ yapılarının her birinin I-V karakteristikleri üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için sıcaklık kontrol ünitesi kapalı devre Leybold kryostat içerisine yerleştirilerek sıcaklığa bağlı I-V ölçümleri 320 K’den başlanılarak 20 K adımlarla 80 K’e kadar Keithley 487 Picoammeter/Voltage Source cihazı ile alındı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

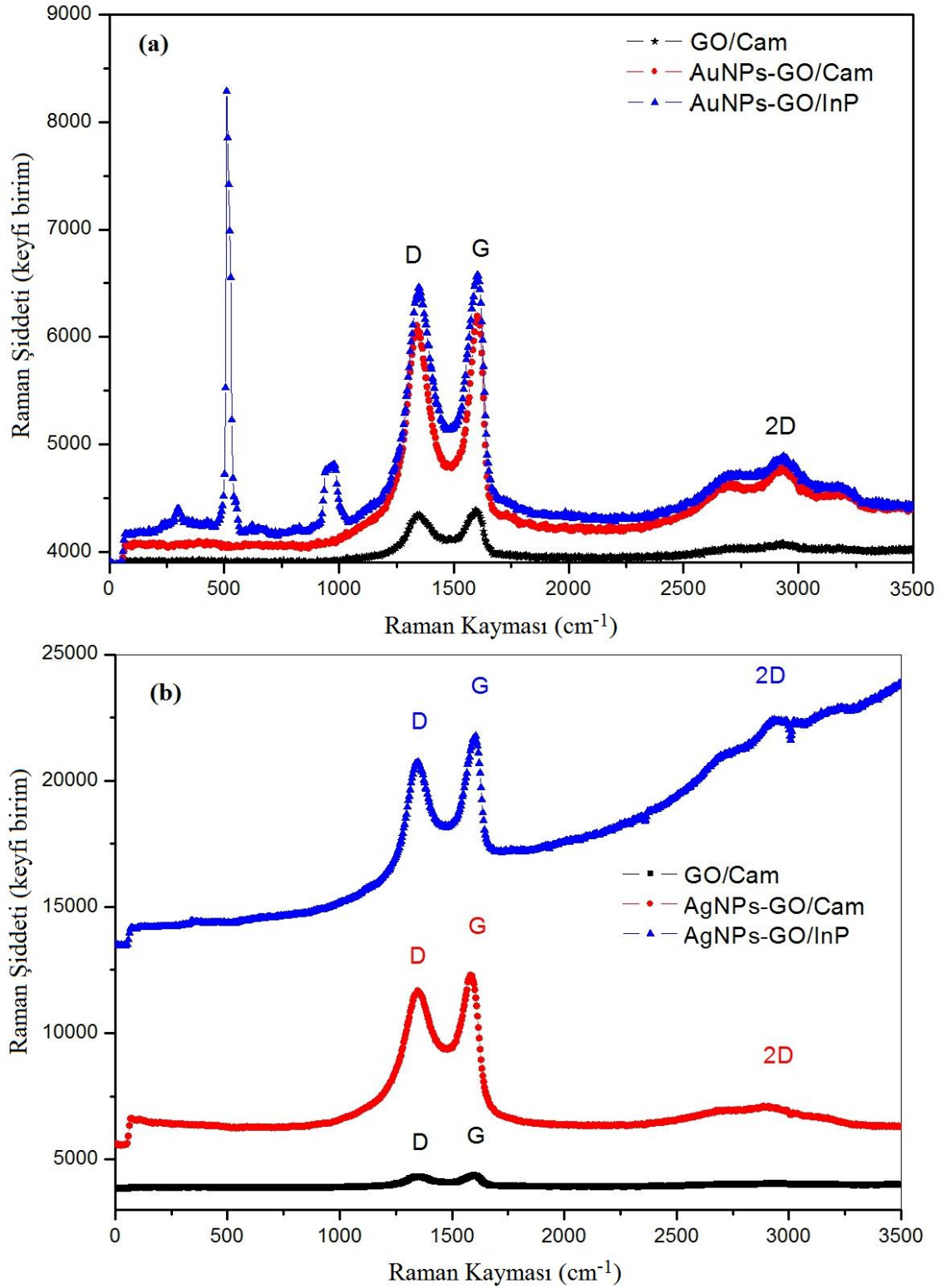
4.1. Giriş

Bu bölümde ilk olarak AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozitlerin yapısal ve yüzeysel özellikleri karakterize edilmiştir. Daha sonra Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının oda sıcaklığında I-V karakteristiklerinden elde edilen diyot parametreleri araştırılmıştır. Son olarak Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının karakteristikleri üzerine değişen numune sıcaklıklarının etkisi incelenmiştir.

4.2. AuNPs-GO ve AgNPs-GO Nanokompozitlerin Karakterizasyonu

4.2.1. Raman spektroskopisi çalışmaları

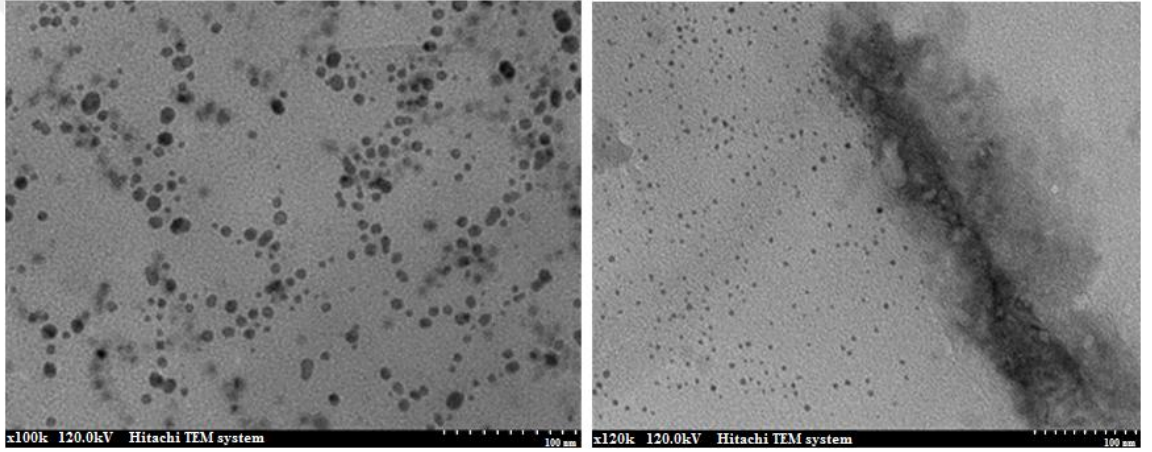
Şekil 4.1’de farklı altlıklar üzerine spin kaplama yöntemi ile kaplanmış GO, AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozitlerin raman spekturumları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Raman spektroskopisi, atomların titreşimi ve malzemenin kimyasal bileşimi hakkında güvenilir bilgi elde etmek için kullanılmaktadır. Grafen ya da türevi yapılar için 1331 cm^{-1} D ve 1595 cm^{-1} ’de G karakteristik pikleri elde edilir. D piki, A_{1g} simetrisinin k noktası fononlarının emilim moduna atanırken, G piki, sp^2 bölgelerinin şekillerine duyarlı olan E_{2g} simetrisinde ki düzlem titreşimlerine atfedilir (Kudin *et al.* 2008; Shen *et al.* 2009; Tao *et al.* 2018). Ayrıca taban malzeme olarak n-InP kullandığında da D ve G piklerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Spektrumdaki, AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit filmlerinin, D ve G Raman pik şiddetleri GO filminin raman pik şiddetlerinden birkaç kat daha büyük olmasına rağmen tepe noktaları değişmemektedir. Bu nedenle, artan pik şiddet yoğunluğunun bu çalışmada temel olarak GO ile AuNPs ve AgNP arasındalı kimyasal tepkimelere bağlı olduğu söylenebilir. Bu nedenle, birçok fonksiyonel gruba sahip olan GO filminin yüzeyi AuNPs ve AgNPs’lerin kimyasal etkileşimi için uygun ortam meydana getirmektedir.



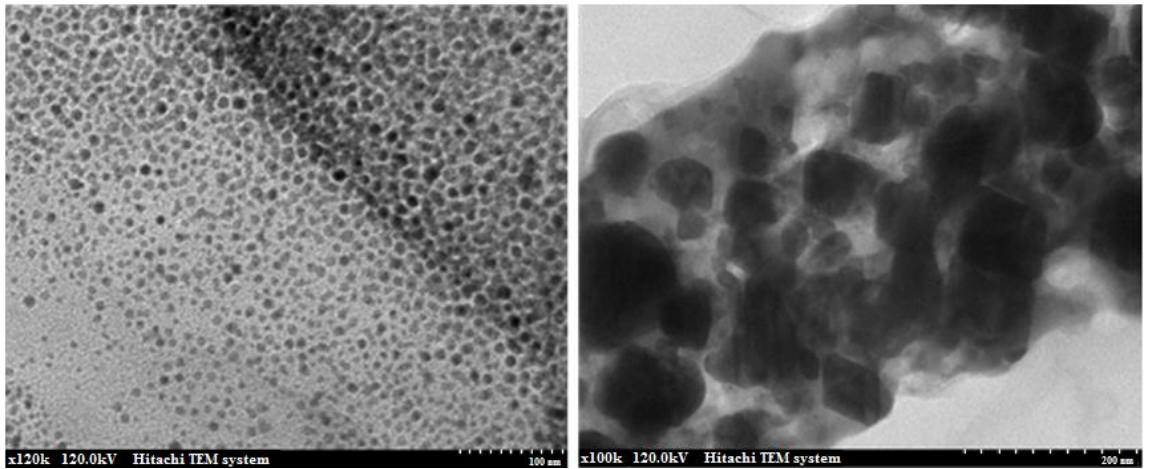
Şekil 4.1. Cam ve InP altlıklar üzerinde büyütülmüş (a) GO, AuNPs-GO ve (b) GO, AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin raman spektroskopileri

4.2.2. TEM çalışmaları

Nanopartiküllerin homojenliğini ve boyutunu belirlemek için TEM analizi kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Hummers yöntemi ile senetzlenen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit yapıların TEM görüntüleri, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Bu görüntülerden AuNP ve AgNP'ların GO yüzeyinde mevcut oksitlenmiş kusurlar sayesinde yaklaşık homojen bir şekilde GO yüzeyine dağıldığı görülmekte ve nanopartikül çekirdeklenmesinin bu kusurlarda gerçekleştiği düşünülmektedir.



Şekil 4.2. AuNP-GO nanokompozit malzemelerin farklı çözünürlükteki TEM görüntüleri

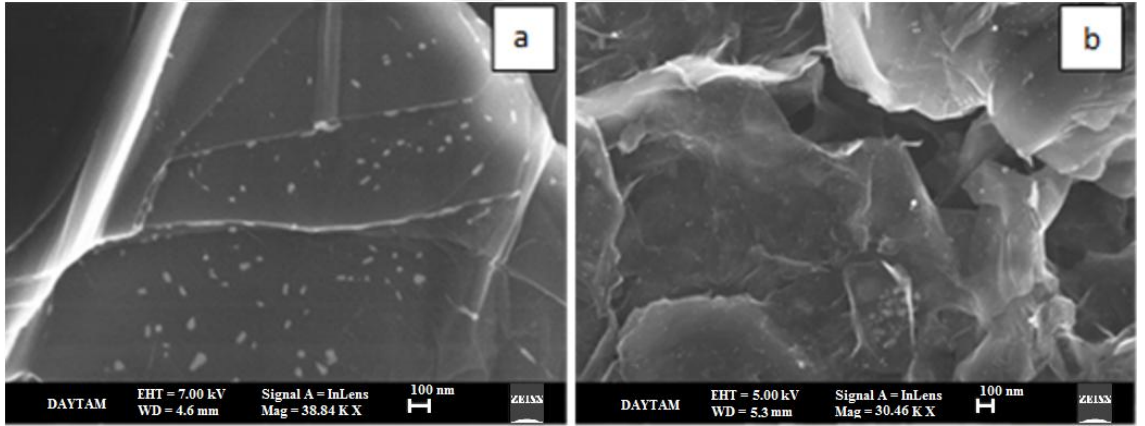


Şekil 4.3. AgNP-GO nanokompozit malzemelerin farklı çözünürlükteki TEM görüntüleri

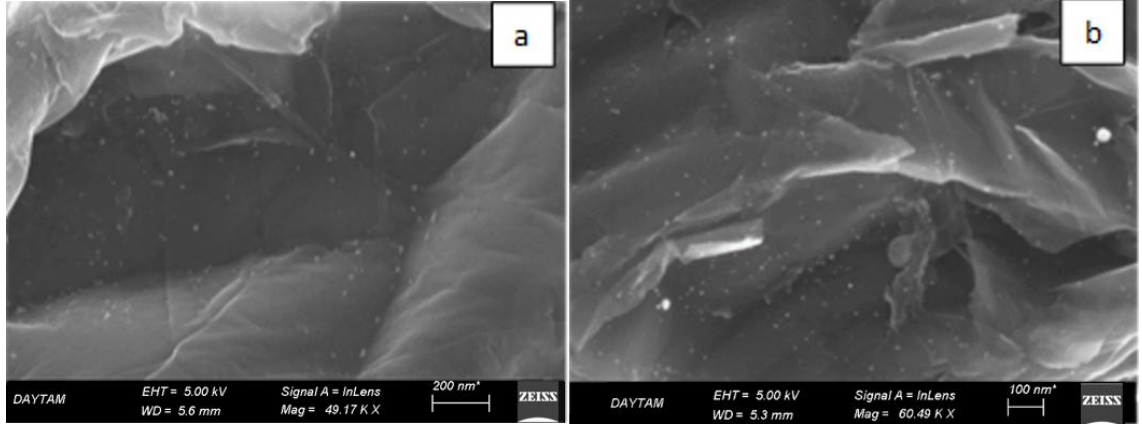
Görüntülerde de aynı zamanda nanopartikül boyut dağılım analizlerini de gözlemlemek mümkündür. Bu görüntülerden Au ve Ag nanopartiküllerin tek düze parçacık dağılımında küresel biçimlere sahip oldukları söylenebilir.

4.2.3. SEM çalışmaları

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 Hummers metodu ile sentezlenip, cam ve n-InP altlıklar üzerinde büyütilen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin SEM görüntülerini göstermektedir. Bu görüntülerden GO ve Au, Ag nanopartiküllerin altlıkların yüzeylerini homojen bir şekilde kapladığı görülmektedir. Ayrıca küçük boyutlu Au ve Ag nanopartiküllerin yüksek yoğunluğu, sadece GO tabakalarının birikmesini önleyerek yüzeylerin Au,Ag ve GO nanopartiküllerle tamamen kaplanmasını sağlamıştır.



Şekil 4.4. AuNPs-GO nanokompozit malzemenin a) cam ve b) InP altlıklar üzerindeki SEM görüntüleri



Şekil 4.5. AgNPs-GO nanokompozit malzemenin a) cam ve b) InP altlıklar üzerindeki SEM görüntüleri

4.3. Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapılarının Oda Sıcaklığında Alınan I-V Karakteristiklerinin İncelenmesi

Metal-yarıiletken kontakların elektriksel parametreleri (idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri vs.) I-V ölçümleri vasıtasıyla doğru beslem I-V grafiklerinden hesaplanabilir. İdeal diyot denklemi (Rhoderick and Williams 1988);

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

ile verilir. Burada I_0 sızıntı akımıdır ve

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

denklemi ile verilir. Burada A diyot alanı, Φ_B engel yüksekliği, q elektronun yükü, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, $A^* = 4\pi qm^*k^2/h^3$ Richardson sabiti ve değeri 9,4 A/K²cm² (n-InP için) dir (Baltakesmez *et al.* 2019).

n idealite faktörü Schottky diyotlarda deneysel I-V verilerinin sapması olarak tanımlanır ve boyutsuz bir sabiti temsil eder. Schottky diyotlarda düz beslem altında $qV \gg 3kT$ olduğundan, denklem 4.1 deki 1 terimi ihmal edilebilir. Bu durumda (4.1) denklemi

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right] \quad (4.3)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. (4.3) denkleminin her iki tarafının tabii logaritması alındıktan sonra V 'ye göre türevi alınırsa idealite faktörü

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

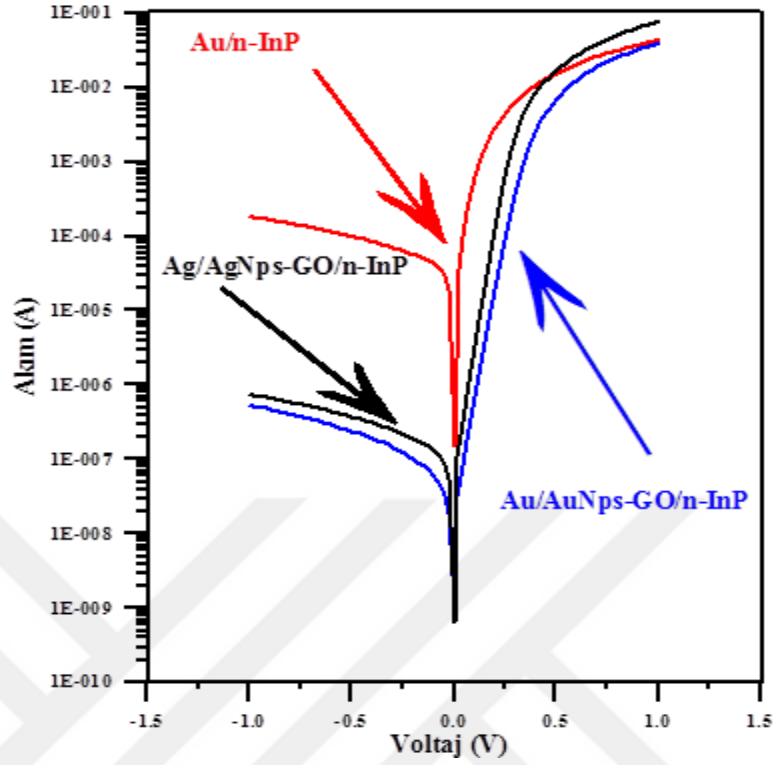
olarak elde edilir. Denklem 4.2'nin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, Φ_B 'ye göre çözümlerse;

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4.5)$$

denklemi elde edilir ve bu ifadeden engel yüksekliği değeri elde edilebilir.

Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının oda sıcaklığında yarı logaritmik düz ve ters beslem I-V karakteristikleri Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. $\ln I$ - V eğrilerinin lineer bölgesinin eğiminden idealite faktörleri her bir yapı için hesaplanmıştır. Ayrıca grafiklerden belirlenen I_0 değerleri elde edilmiştir ve bu I_0 değerleri denklem 4.5'te yerine konularak Φ_B değerleri hesaplanmıştır.

Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının oda sıcaklığında idealite faktörleri değerleri sırasıyla 1,01, 1,213 ve 1,07, engel yüksekliği değerleri sırasıyla 0,420 eV, 0,659 eV ve 0,630 eV ve sızıntı akımı değerleri ise sırasıyla $6,683 \times 10^{-3}$ A, $5,05 \times 10^{-7}$ A ve $1,53 \times 10^{-7}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının oda sıcaklığında I-V karakteristikleri

Şekil 4.6’da AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeler ile oluşturulmuş diyotlara ait oda sıcaklığı I-V karakteristikleri verilmiştir. Referans diyotlarda I-V karakteristikleri farklılık göstermemiştir. Ancak arayüzeyli diyotların doğrultma oranı, Ag/n-InP ve Au/n-InP referans diyotlar ile karşılaştırıldığında $\sim 10^3$ merteye daha büyüktür. Ayrıca referans diyotların engel yüksekliği (~ 0.42 eV), Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların engel yüksekliği değerlerinden daha küçüktür. Bu durum, düşük engel yüksekliğine sahip InP yarıiletkeni için, metal ile yarıiletken arayüzeyinde AuNPs-GO ve AgNPs-GO gibi nanokompozit malzemeler kullanarak engel yüksekliği değerlerinin kontrol edilebileceğini göstermiştir. Yarıiletken yüzeyindeki bu arayüzey tabanları, metal-yarıiletken arayüzeyinde ek yüklere neden olabilir. Uygun arayüzey tabakalarının seçilmesiyle, arayüzeydeki bu yükler pasifleştirilebilir ve böylece engel yüksekliği artırılabilir. Ayrıca atmosfer koşullarında kontrol edilemeyen oksit arayüzey tabakası ile engel yüksekliğini değiştirmek mümkün değildir. Dolayısıyla InP yarıiletkeni yüzeyi üzerine kaplanmış AuNPs-GO ve AgNPs-GO gibi nanokompozit malzemeler bu

atmosferik koşulların etkisini önlemekte ve oksit ara tabakasının oluşumunu elimine etmektedir (Baltakesmez *et al.* 2019). Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için optimize edilmiş engel yüksekliği değerleri düşük bir sızıntı akımı ile sonuçlanmaktadır (Coşkun *et al.* 2003;Yıldırım *et al.* 2009)

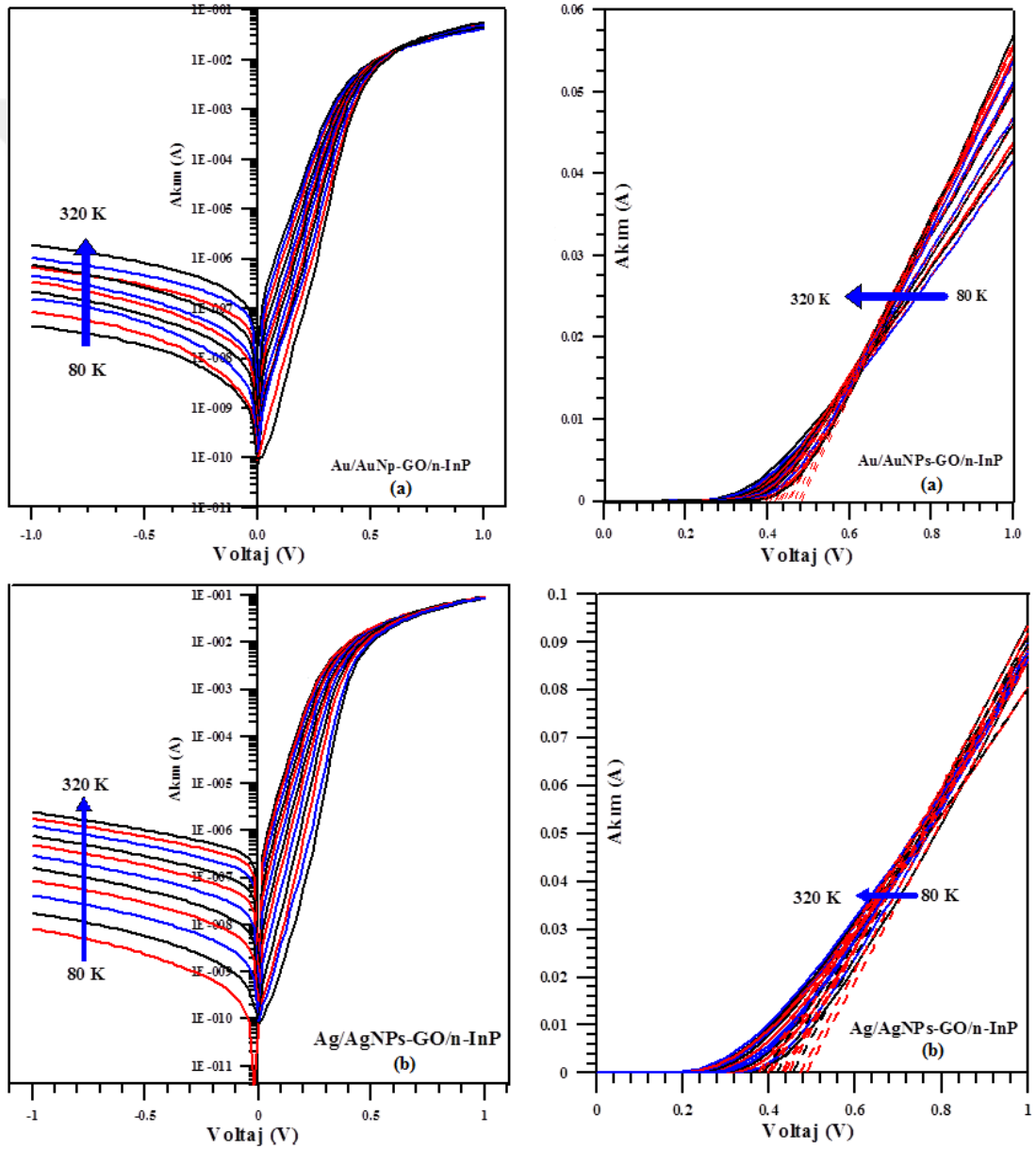
4.4. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapılarının Numune Sıcaklığına Bağlı I-V Ölçümlerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

Metal-yarıiletken kontakların I-V karakteristikleri farklı iletim mekanizmaları (termoiyonik emisyon, difuzyon, termiyonik emisyon difuzyon teorisi gibi) ile açıklanabilmekte ve bu mekanizmalar tek başına yada birlikte etkili olabilmektedirler. Birden fazla iletim mekanizmalarının etkili olduğu durumlarda net bilgi elde etmek zorlaştığından, geniş bir sıcaklık aralığında incelenen I-V ölçümleri bu mekanizmalarından hangisinin, hangi voltaj ve sıcaklık aralığında ne şekilde etkin olduğu hakkında detaylı bilgi verecektir (Saglam *et al.* 2010).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının 320-80 K sıcaklık aralığında 20 K adımlarla alınan doğru ve ters beslem lineer ve yarılogaritmik I-V grafikleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Ayrıca bu yapıların lnI-V grafiklerinin lineer bölgelerinin eğimlerinden ve Eşitlik (4.3) ve (4.5)'den yararlanarak sıcaklığa bağlı hesaplanan n , Φ_b ve I_0 değerleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Şekil 4.7'deki grafiklerden görüldüğü gibi, doğru beslem lnI-V eğrileri geniş bir voltaj aralığında lineer olmasına rağmen daha yüksek voltajlarda seri direnç ve arayüzey tabakaları etkisinden dolayı lineerlikten sapmaktadır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den görüldüğü gibi her iki yapı için azalan sıcaklıkla n değerleri artarken, Φ_b değerleri azalmaktadır. Bu durum, engelin homojen olmama durumuyla ilişkilendirilmektedir. Aynı zamanda bu durum Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarında oluşabilecek tünelleme ve termal destekli tünelleme işlemlerine de atfedilmektedir. Bu iki işlem düşük sıcaklıklarda önem arz etmekte olup termal destekli tünelleme, yüksek bir elektrik alan varlığında oluşmakta ve tuzaklar ile bant seviyeleri arasındaki ince

potansiyel engeli aşan taşıyıcıların geçişleri ile oluşmaktadır. Bu geçişler, tuzaklardaki taşıyıcıların yakalanma ve serbest bırakılma oranlarını arttırmaktadır. Yakalama sürecinde, iletkenlik bandındaki elektronlar potansiyel engelden tünellenebilir ve daha sonra tuzak seviyelerine yerleşebilir. Doldurulmuş tuzaklardan elektron emisyonu sürecinde, elektronlar potansiyel engelin sadece bir kısmı için termal olarak uyarılır ve daha sonra kalan engelden iletkenlik bandına tünellenir (Tung 2000; Cakici *et al.* 2015).



Şekil 4.7. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının 320-80 K aralığında alınan I-V karakteristikleri

Çizelge 4.1. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısının numune sıcaklığına bağlı I-V değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri

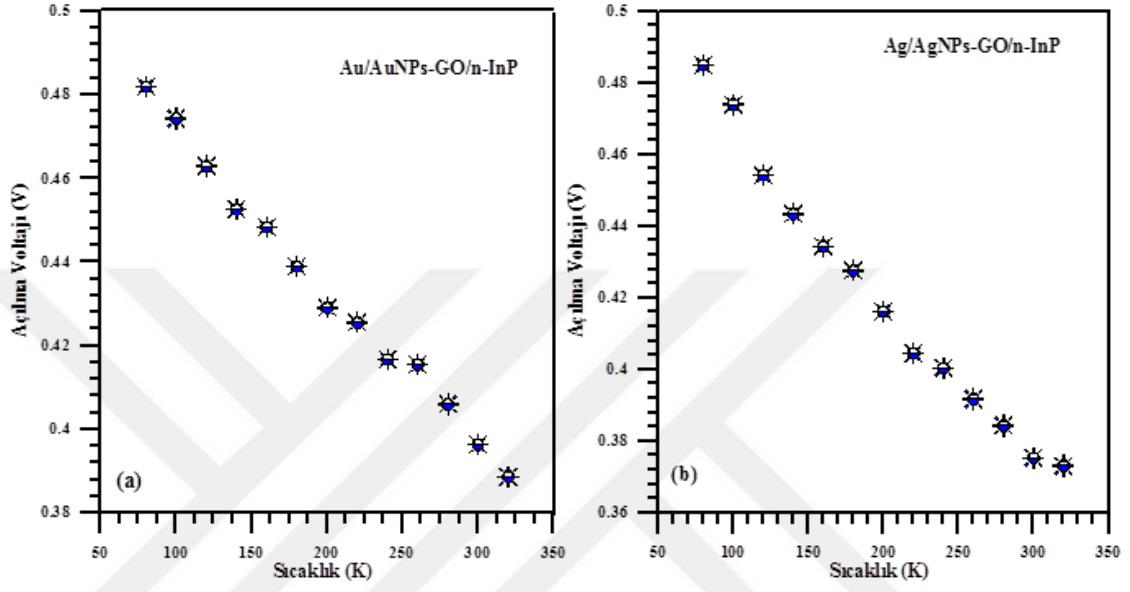
Sıcaklık (K)	Termiyonik Emisyon Metodu		
	Doyma Akımı (I ₀) (A)	İdealite Faktörü (n)	Engel Yüksekliği (ϕ _B) (eV)
320	1,01E-07	1,217	0,687
300	5,05E-07	1,213	0,659
280	2,81E-08	1,260	0,626
260	1,47E-08	1,347	0,592
240	6,63E-09	1,387	0,560
220	3,83E-09	1,484	0,520
200	2,04E-09	1,570	0,481
180	9,82E-10	1,715	0,441
160	4,86E-10	1,892	0,398
140	3,24E-10	2,166	0,350
120	4,25E-10	2,552	0,294
100	9,68E-11	2,954	0,255
80	2,12E-11	3,457	0,211

Çizelge 4.2. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısının numune sıcaklığına bağlı I-V değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri.

Sıcaklık (K)	Termiyonik Emisyon Metodu		
	Doyma Akımı (I ₀) (A)	İdealite Faktörü (n)	Engel Yüksekliği (ϕ _B) (eV)
320	2.64E-07	1,006	0.661
300	1.53E-07	1,070	0.630
280	9.07E-08	1,062	0.597
260	4.74E-08	1,131	0.566
240	2.63E-08	1,202	0.531
220	1.14E-08	1,263	0.500
200	4.51E-09	1,352	0.467
180	1.95E-09	1,467	0.430
160	6.80E-10	1,612	0.393
140	2.08E-10	1,817	0.355
120	4.49E-11	2,008	0.317
100	3.40E-11	2,623	0.264
80	6.36E-11	3,140	0.204

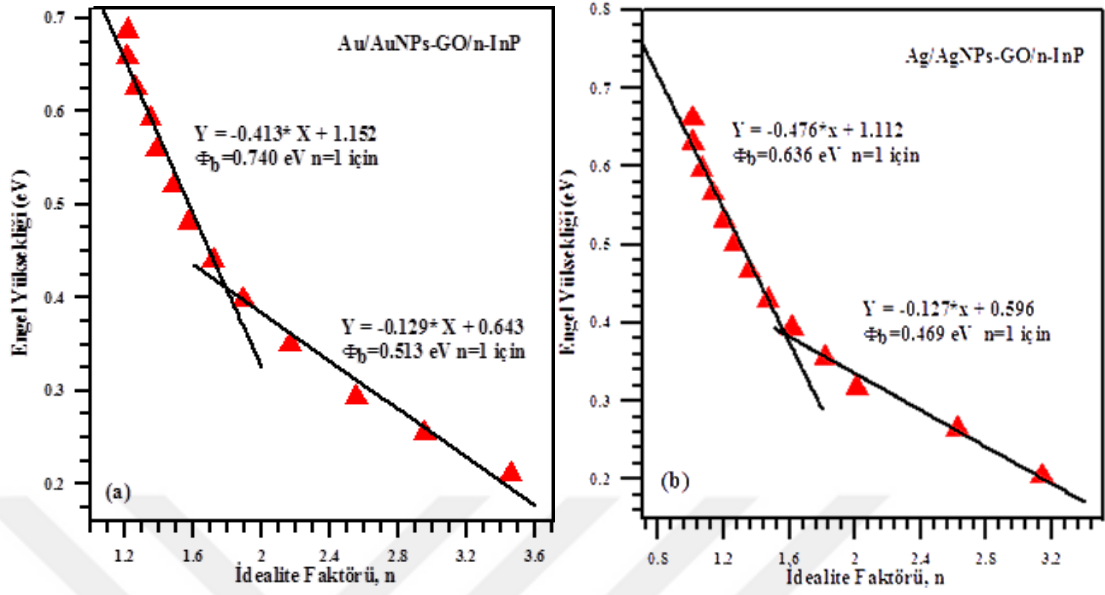
Şekil 4.8’de gösterilen Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için sıcaklığa bağlı elde edilen açılma voltajı değerleri, Şekil 4.7’deki sıcaklığa bağlı lineer I-V grafiklerinin doğrusal kısmına yapılan fitler sayesinde elde edilmiştir. Bu grafiklerden, sıcaklık değerleri arttıkça her iki yapı içinde açılma voltajı değerlerinin hemen hemen lineer ve düzgün bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum sıcaklık arttıkça AgNPs-

GO ve AuNPs-GO aryüzeyleri boyunca akan sızıntı akım değerlerinin artması ve açılma voltajı değerlerinin belirli bir aralıkta değişimine izin vermesine atfedilmiştir (Baltakesmez *et al.* 2019).



Şekil 4.8. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının açılma voltajı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesaplanan etkin engel yüksekliklerinin idealite faktörlerine karşı değişimleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekil 4.9’daki grafiklerden her iki yapı için düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri olmak üzere iki bölgeden oluşan lineer bir değişim gözlemlenmektedir. Değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak etkin engel yüksekliği değerleri düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinin ekstrapolasyonundan sırasıyla; Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 0,740 eV (320-160 K) ve 0,513 eV (160-80 K), Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için, 0,636 eV (320-160 K) ve 0,469 eV (160-80 K) olarak hesaplanmıştır. Bu durum akım iletiminin her iki yapı için farklı sıcaklık bölgelerinde farklı mekanizmalar tarafından kontrol edildiğini göstermekte, özellikle düşük sıcaklıklarda etkin engel yüksekliği değerlerinin azalması ve buna bağlı idealite faktörü değerlerinin artması engel yüksekliğinin homojen olmayan dağılımına atfedilmektedir (Taşçıoğlu 2012; Guzeldir *et al.* 2015).



Şekil 4.9. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının değişen sıcaklık değerleri için engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerinin değişimleri

Metal-yarıiletken kontaklarda engel karakteristiklerinin ideal durumdan sapmalarını açıklayan modellerden biri olan engel inhomojenliği modeli, sıcaklığa bağlı akım iletim mekanizmalarının tam olarak anlaşılabilmesi için Gauss dağılımı ile beraber kullanılmaktadır. Bu modelde görünür engel yüksekliği ve görünür idealite faktörleri (Saglam *et al.* 2013);

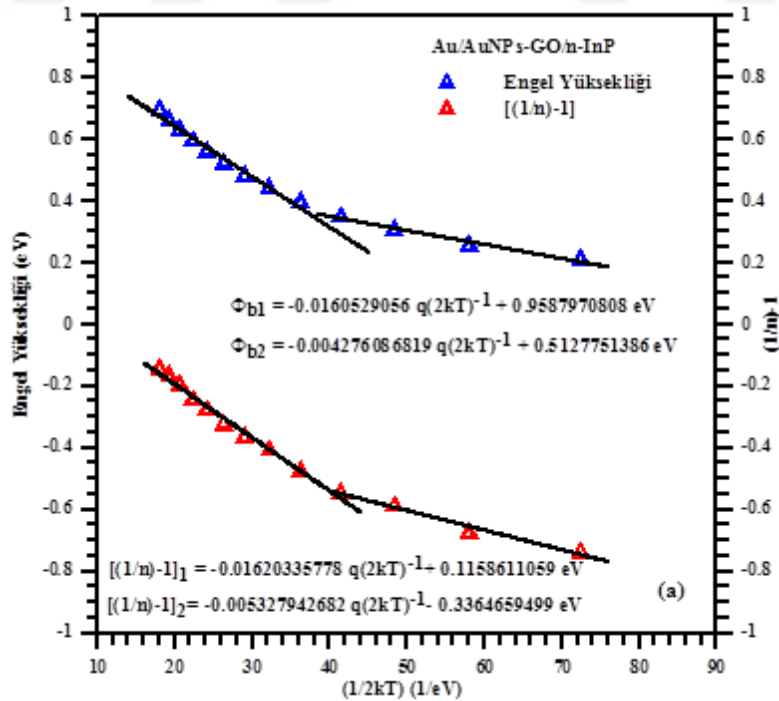
$$\Phi_{ap} = \overline{\Phi_{B0}} - \frac{q\sigma^2}{2kT} \quad (4.6)$$

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = \rho_2 - \frac{q\rho_3}{2kT} \quad (4.7)$$

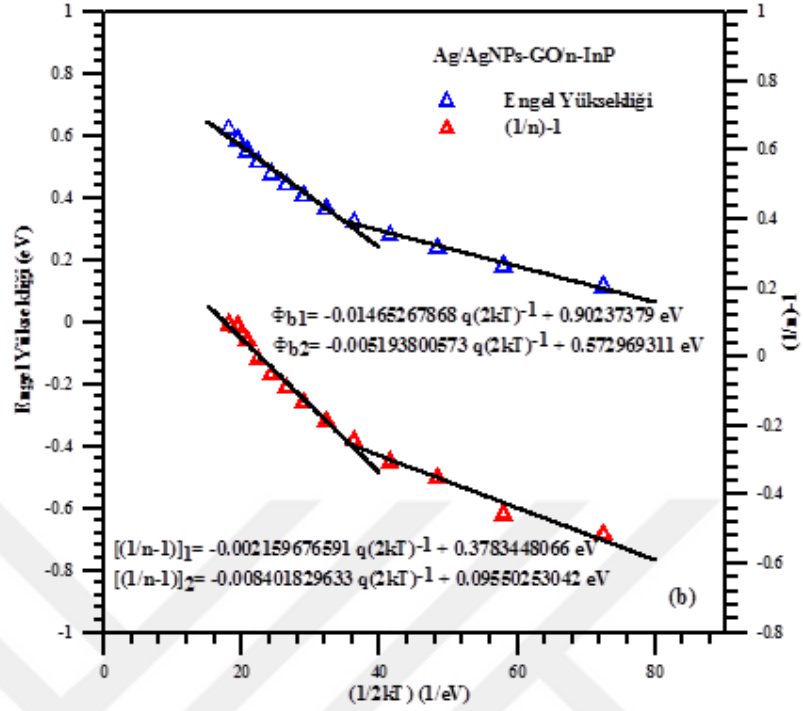
Eşitlik (4.6)'ya göre $\Phi_{ap} - \frac{1}{2kT}$ grafiği çizilirse çizilen grafikten elde edilen doğrunun düşey eksenini kestiği nokta sıfır beslemdeki engel yüksekliğini ve doğrunun eğimi ise engel inhomojenliğinin ölçüsü olan standart sapma (σ) değerini verir. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için elde edilen $\Phi_{ap} - \frac{1}{2kT}$ ve $\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) - \frac{1}{2kT}$ grafikleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için ortalama engel

yüksekliğini ($\overline{\Phi_{B0}}$) ve standart sapma değerini (σ) hesaplayabilmek için Şekil 4.10'da iki ayrı sıcaklık bölgesi için lineer fitler çizilmiş ve bu çizilen fitlerin eğimlerinden ve düşey eksenini kestiği noktalardan $\overline{\Phi_{B0}}$ ve σ değerleri sırasıyla 1. bölge (Fit 1) için, 0,959 eV ve 126.5 mV, 2. bölge (Fit 2) için 0,22 eV ve 64,3 mV olarak bulunmuştur. Aynı şekilde Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için de $\overline{\Phi_{B0}}$ ve σ değerleri sırasıyla 1. bölge (Fit 1) için, 0,902 eV ve 120,8 mV, 2. bölge (Fit 2) için 0,572 eV ve 72 mV olarak bulunmuştur.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi $(\frac{1}{n} - 1) - \frac{1}{2kT}$ grafiği de çift Gaussian Dağılımı'nın var olduğunu gösteren iki farklı sıcaklık bölgesine sahiptir. Grafiğin farklı bu iki bölgelerinden elde edilen ρ_2 ve ρ_3 değerleri sırasıyla, Au/AuNPs-GO/n-InP yapısında birinci sıcaklık bölgesi için; 0,115 V ve -0,016 V, ikinci sıcaklık bölgesi için; -0,336 V ve -0,005 V olarak tespit edilmiştir. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısında ise birinci sıcaklık bölgesi için; 0,378 V ve -0,002 V, 2. sıcaklık bölgesi için; 0,095 V ve -0,008 V olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının sıcaklığa bağlı engel yüksekliği ve $(1/n)-1$ değerlerinin $1/2kT$ değişimleri

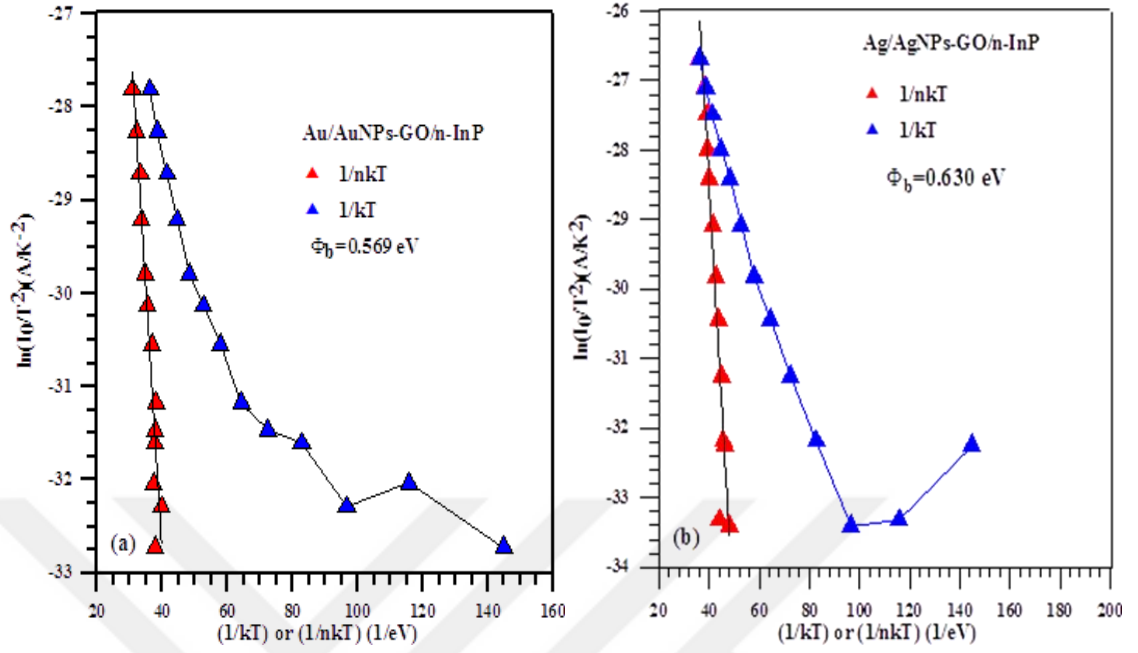


Şekil 4.10. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının sıcaklığa bağlı engel yüksekliği ve $(1/n)-1$ değerlerinin $1/2kT$ değişimleri (devam)

I_0 sızıntı akımı değeri geleneksel diyot denkleminde (Eşitlik 4.3) çekilip her iki tarafın \ln 'i alınıp düzenlenirse ifade (Cimilli *et al.* 2009);

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln(A^*A) - \frac{q\phi_B}{kT} \quad (4.8)$$

şeklini alır. Sıcaklığa bağlı Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/nkT$ 'ye göre değişimini veren grafikler Şekil 4.11'de gösterilmiş olup, grafiklerin eğim ve düşey eksenleri kestiği nokta değerleri kullanılarak sıfır beslem engel yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 0,569 eV, Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı içinde 0,630 eV olarak hesaplanmıştır.



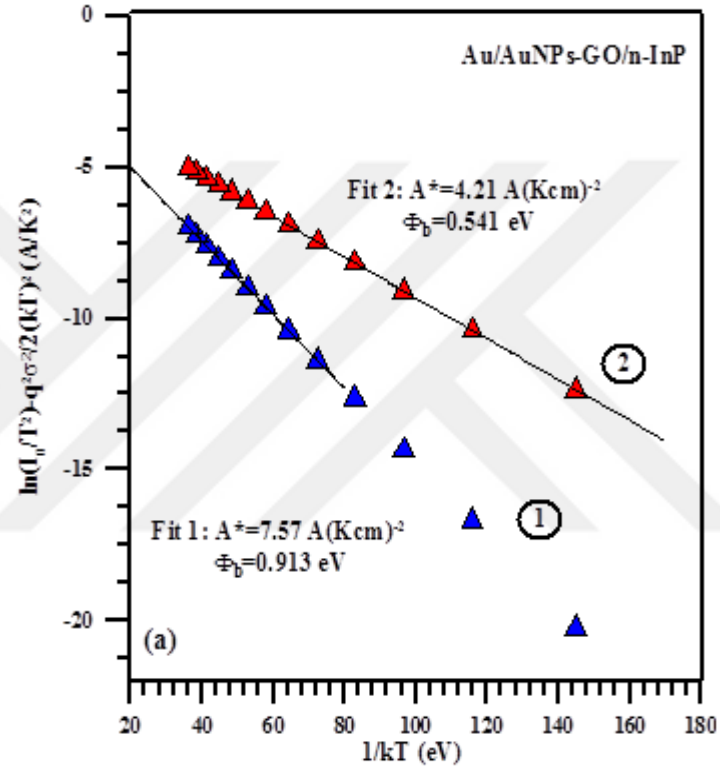
Şekil 4.11. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/kT$ ve $1/nkT$ 'ye karşı değişimleri

Geleneksel aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklıklarda davranışını daha ayrıntılı incelemek ve modifiye edilmiş aktivasyon enerji grafiğini elde etmek için eşitlik (4.3) ve eşitlik (4.6) birleştirilerek engel yüksekliğinin Gaussian dağılımına göre (Cimilli *et al.* 2009);

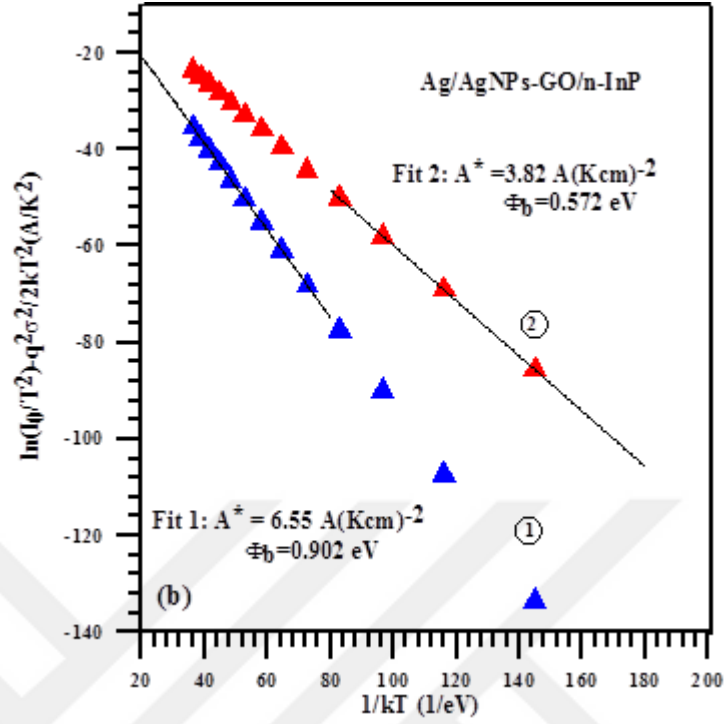
$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \left(\frac{q^2\sigma^2}{2k^2T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\Phi_{B0}}{kT} \quad (4.9)$$

denklemini elde edilir. Sızıntı akımı değerleri ve (4.9) eşitliği kullanılarak Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için çizilen modifiye edilmiş aktivasyon enerji grafikleri Şekil 4.12'de verilmiştir. İkili Gauss dağılımına sahip engel yüksekliği düşüncesinin geleneksel TE metodu ile birleştirilmesi sonucu modifiye edilen Richardson grafiklerinden düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri için ortalama engel yükseklikleri ve Richardson sabiti (A^*) değerleri hesaplanmıştır. Ortalama engel yükseklikleri Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için sırasıyla 0,740 eV (320-160 K) ve 0,513 eV (160-80 K), Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için, 0,636 eV (320-160 K) ve 0,469 eV (160-80 K) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri için Richardson sabiti değerleri

sırasıyla; Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 4,21-7,57 A/cm²K² ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için 3,82-6,55 A/cm²K² olarak elde edilmiştir. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının Richardson sabiti değerlerinde tespit edilen bu farklılık, homojen olmayan engel yüksekliğine ve arayüzeyde oluşan potansiyel dalgalanmalara atfedilmiştir (Duman *et al.* 2007).



Şekil 4.12. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için modifiye edilmiş $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_s^2/(2k^2T^2)$ 'nin $1/kT$ 'ye karşı değişimi karakteristikleri



Şekil 4.12. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için modifiye edilmiş $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_s^2/(2k^2T^2)$ 'nin $1/kT$ 'ye karşı değişimi karakteristikleri (devam)

4.5. Norde ve Cheung Metotları ile Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP Yapılarının Numune Sıcaklığına Bağlı Bazı Parametrelerinin Hesaplanması

Metal yarıiletken kontaklarda engel yüksekliği ve seri direnç değerlerini hesaplamak için birçok yöntem geliştirilmiş olup bu yöntemlerden biri de Norde metodudur. Bohlin tarafından ileri sürülen $F(V)$ Norde fonksiyonunun modifiye edilmiş hali;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.10)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Gromov and Pugachevich 1994). (4.10) ifadesindeki A kontağın alanı, A^* modifiye edilmiş Richardson sabiti, q elektronun yükü ve γ idealite faktöründen daha büyük keyfi bir sabittir.

Norde metodundan faydalanılarak engel yüksekliği ve seri direnç değerleri;

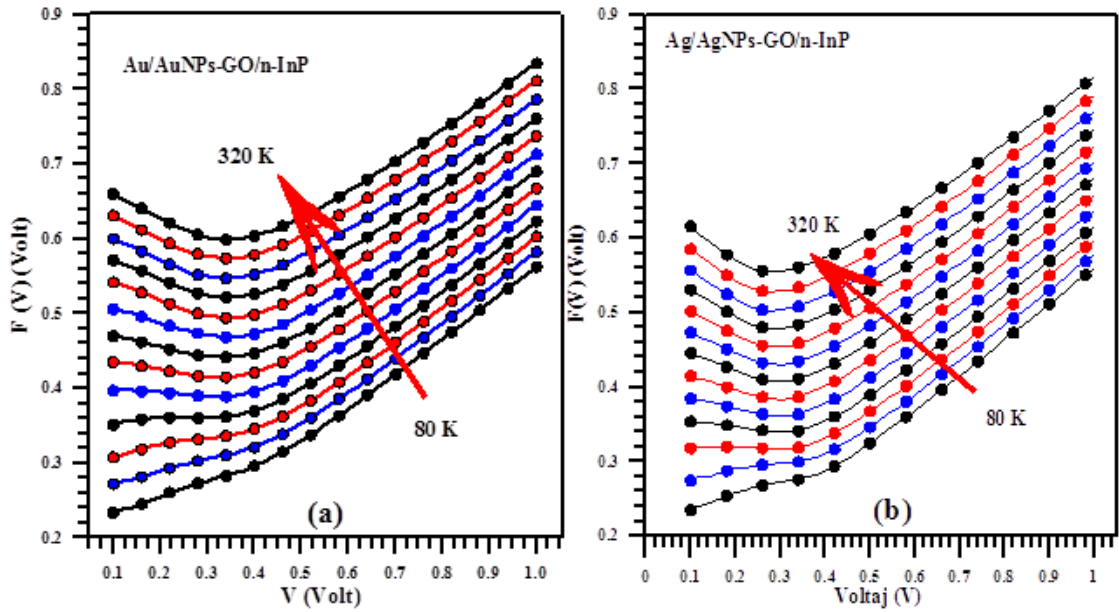
$$\Phi_B = F_m + \left[\frac{(\gamma - n)}{n} \right] \left[\frac{V_m}{\gamma} - \frac{kT}{q} \right] \quad (4.11)$$

$$R_s = (\gamma - n) \frac{kT}{qI_m} \quad (4.12)$$

ifadeleriyle hesaplanmaktadır (Norde 1979; Bohlin 1986).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının 80-320 K sıcaklık aralığında 20 K adımlarla elde edilen F(V)-V grafikleri Şekil 4.13'de gösterilmektedir. F(V)-V eğrileri vasıtasıyla V_m voltajının minimum noktasına karşılık gelen $F(V_m)$ değerinin kullanılmasıyla engel yükseklikleri denklem (4.11)'den hesaplanmıştır. V_m 'a karşılık gelen I_m değeriyle de seri dirençler denklem (4.12)'den elde edilmiştir.

Au/AuNPs-GO/n-InP yapısının Norde metoduyla elde edilen seri direnç ve engel yüksekliği değerleri Çizelge 4.3'de, Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısının sıcaklığa bağlı seri direnç ve engel yüksekliği değerleri ise Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. (a) Au/AuNPs-GO/n-InP ve (b) Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için farklı sıcaklıklarda çizilen F(V)-V değişimleri

Cheung yöntemine göre; metal-yarıiletken kontaklarda TE'den bulunan akım yoğunluğu ifadesi diyodun etkin alanı ile çarpılıp, ideal durumdan sapmaları ifade edebilmek için birimsiz sabit olan idealite faktörü ve voltajın IR_s kadarlık miktarı seri direnç üzerine düşeceği kısmı göz önünde bulundurularak toplam akım ifadesi (Cheung and Cheung 1986),

$$I = AJ = \left[AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (4.13)$$

şeklinde yazılır. (4.13) ifadesinin tabii logaritması alınıp, V 'ye göre çözümü yapılırsa

$$V = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) + n\Phi_B + IR_s \quad (4.14)$$

ifadesi elde edilir. (4.14) eşitliğinin $\ln I$ 'ya göre türevi alınırsa;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (4.15)$$

ifadesi elde edilir. Potansiyel engeli Φ_B 'yi bulmak için;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (4.16)$$

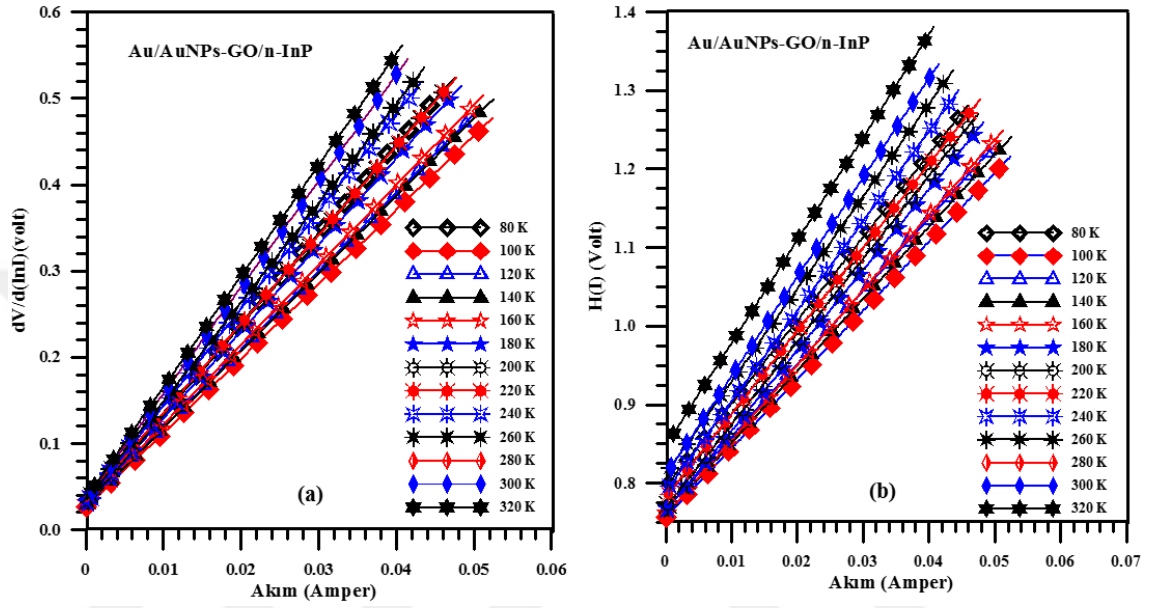
şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanabilir. (4.14) ve (4.115) eşitliklerinden;

$$H(I) = n\Phi_B + IR_s \quad (4.17)$$

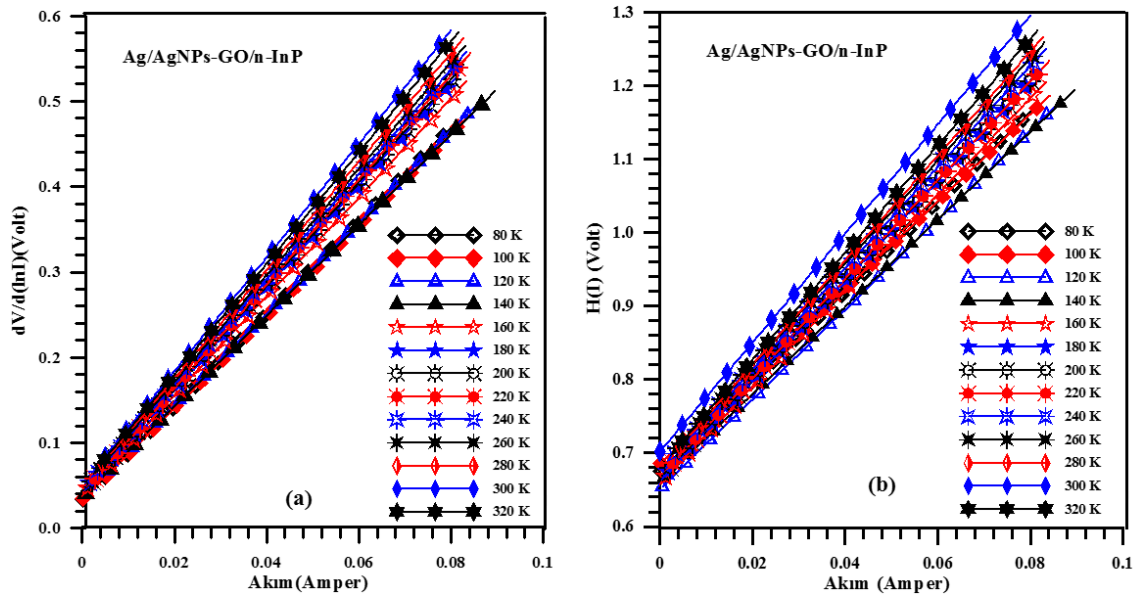
bağıntısı elde edilebilir.

(4.15) eşitliğinde, $dV/d(\ln I)$ - I grafiği ve (4.17) eşitliğinde $H(I)$ - I grafiği bir doğru olacaktır. Bu grafiklerden elde edilecek olan doğruların eğimleri seri direnç değerlerini

verecektir. $dV/d(\ln I)$ -I grafiklerinden elde edilen doğruların düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü, $H(I)$ -I grafiklerinden elde edilen doğruların düşey eksenini kestiği noktalardan ise engel yüksekliği bulunacaktır.



Şekil 4.14. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için farklı sıcaklıklardaki (a) $dV/d(\ln I)$ -I ve (b) $H(I)$ -I grafikleri



Şekil 4.15. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için farklı sıcaklıklardaki (a) $dV/d(\ln I)$ -I ve (b) $H(I)$ -I grafikleri

Çizelge 4.3. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısının Norde ve Cheng metodu ile 320-80 K sıcaklık aralığında hesaplanan diyot parametreleri

Au/AuNPs-GO/n-InP	Cheung metodu			Norde Metodu		
	Sıcaklık (K)	Seri Direnç (Rs)(Ω)	İdealite Faktörü(n)	Engel Yüksekliği (Φ_B)(eV)	Seri Direnç (Rs)(Ω)	Engel Yüksekliği (Φ_B)(eV)
320	12,884	1,313	0,696	13,091	0,691	15,379
300	12,303	1,351	0,667	12,646	0,668	17,778
280	12,303	1,447	0,643	12,646	0,633	17,772
260	11,503	1,501	0,603	11,780	0,594	18,432
240	11,280	1,492	0,569	11,460	0,561	18,386
220	10,297	1,517	0,527	10,625	0,521	17,810
200	10,416	1,668	0,490	10,551	0,484	16,763
180	10,048	1,858	0,446	10,254	0,439	23,951
160	9,261	2,139	0,401	9,561	0,397	25,410
140	8,984	2,299	0,351	9,156	0,397	111,902
120	9,063	2,726	0,300	9,275	0,349	203,160
100	8,612	3,047	0,256	8,767	0,298	431,043
80	10,387	4,586	0,230	10,587	0,287	670,296

Çizelge 4.4. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısının Norde ve Cheng metodu ile 320-80 K sıcaklık aralığında hesaplanan diyot parametreleri

Ag/AgNPs-GO/n-InP	Cheung Metodu			Norde Metodu		
	Sıcaklık (K)	Seri Direnç (Ω) (Rs)	İdealite Faktörü(n)	Engel Yüksekliği (eV)(Φ_B)	Seri Direnç (Ω) (Rs)	Engel Yüksekliği (eV)(Φ_B)
320	6.513	1.792	0.678	7.278	0.666	11.789
300	6.658	1.960	0.694	7.414	0.633	11.523
280	6.351	2.005	0.639	7.106	0.599	12.043
260	6.237	2.086	0.601	6.964	0.567	13.457
240	6.137	2.233	0.563	6.880	0.533	14.560
220	6.125	2.158	0.529	6.728	0.499	16.504
200	6.047	2.431	0.492	6.755	0.466	20.194
180	5.984	2.750	0.452	6.793	0.429	22.460
160	5.798	2.884	0.409	6.540	0.391	25.586
140	5.300	3.065	0.376	6.409	0.351	55.146
120	5.368	3.537	0.324	6.095	0.322	114.496
100	5.365	3.869	0.261	5.946	0.302	163.980
80	5.462	4.739	0.215	6.109	0.279	260.848

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının Şekil 4.14. ve Şekil 4.15'te görüldüğü gibi $dV/d(\ln I)$ -I grafiklerinden seri direnç ve idealite faktörü değerleri hesaplanmıştır. $H(I)$ -I grafiklerinden de yine seri direnç ve engel yüksekliği değerleri bulunmuştur.

Bulunan değerler izelge 4.3 ve izelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü gibi, farklı sıcaklıklarda iki yöntemle elde edilen engel yüksekliği değerleri sıcaklığın artmasıyla artmakta, seri direnç değerleri ise sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, cam altlık ve 400 µm kalınlıklı (100) yönelimli fabrikasyon olarak parlatılmış n-tipi InP yarıiletkeni kullanıldı. Cam ve n-tipi InP yarıiletkeni literatürde yer alan kimyasal temizleme basamaklarına göre temizlendi. InP yarıiletkeninin mat tarafına omik kontak yapmak için %88 Altın ve %12 Germanyum (Au-Ge) alaşımı buharlaştırıldı ve 520°C’de tavlama fırınında 3 dakika boyunca tavlandı. InP yarıiletkeni üç parçaya kesildi. Cam altlık ve kesilen InP yarıiletkenlerinden iki tanesi üzerine sırasıyla Hummers yöntemi kullanılarak sentezlenen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeleri spin kaplama yöntemi ile büyütüldü. Daha sonra bu nanokompozit malzemelerin yapısal ve morfolojik özellikleri Raman, TEM ve SEM ölçümleri ile karakterize edildi.

AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin raman ölçümlerinden, hem cam hem de InP altlıklarda grafen ya da türevi yapılar için 1331 cm^{-1} D ve 1595 cm^{-1} ’de karakteristik pikleri elde edildi ve n-InP yarıiletkenlerinde camlara nazaran D ve G piklerinde belirgin artışlar tespit edildi. Ayrıca AgNPs-GO ve AuNPs-GO nanokompozit malzemelerinin D ve G Raman pik şiddetleri spektrumunda karşılaştırma amaçlı çizilen GO malzemesinin Raman pik şiddetlerinden birkaç kat daha büyük olmasına rağmen tepe noktalarının değişmediği gözlemlendi ve bu durum GO ile AgNPs ve AuNPs arasındaki kimyasal tepkimelere, GO filminin yüzeyinin, AuNPs ve AgNPs’lerin kimyasal etkileşimi için yerleşme merkezi olarak konumlanmasına atfedildi (Şenol 2018).

AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin TEM ölçümlerinden; Au ve Ag nanopartiküllerin tek düze parçacık dağılımında küresel biçimlere sahip oldukları, AuNP ve AgNP’ların GO yüzeyinde mevcut oksitlenmiş kusurlar sayesinde yaklaşık homojen bir şekilde GO yüzeyine dağıldığı gözlemlendi. Bu nanopartikül çekirdeklenmesinin bu kusurlar sayesinde gerçekleştiği kabul edildi (Martins *et al.* 2017; Metin *et al.* 2017).

Cam ve InP yarıiletken üzerinde büyütülen AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin SEM görüntülerinden GO ve Au, Ag nanopartiküllerin altlıkların yüzeylerini homojen bir şekilde kapladığı, ayrıca küçük boyutlu Au ve Ag nanopartiküllerin yüksek yoğunluğundan dolayı yüzeyde sadece GO tabakalarının birikmesinin önlenildiği ve bu sayede yüzeylerin bu nanopartiküllerle tamamen kaplandığı tespit edilmiştir.

n-InP altlık üzerindeki AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemelerin optiksel ve yapısal özellikleri incelendikten sonra, daha önce ayrılan InP/Au-Ge ve AuNPs-GO/InP/Au-Ge ve AgNPs-GO/InP/Au-Ge yapılarının üzerine Au ve Ag metali buharlaştırılarak Au/n-InP/Au-Ge, Au/AuNPs-GO/n-InP/Au-Ge ve Ag/AgNPs-GO/n-InP/Au-Ge yapıları elde edildi. Elde edilen bu yapıların önce oda sıcaklığında I-V ölçümleri alındı. Oda sıcaklığında alınan I-V karakteristiklerinden her bir yapı için idealite faktörü, engel yüksekliği ve sızıntı akımı değerleri hesaplandı. Au/n-InP, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının oda sıcaklığında idealite faktörleri değerleri sırasıyla 1,01, 1,213 ve 1,07, engel yüksekliği değerleri sırasıyla 0,420 eV, 0,659 eV ve 0,630 eV ve sızıntı akımı değerleri ise sırasıyla $6,683 \times 10^{-3}$ A, $5,05 \times 10^{-7}$ A ve $1,53 \times 10^{-7}$ olarak tespit edildi.

AuNPs-GO ve AgNPs-GO nanokompozit malzemeler ile oluşturulmuş yapılarıdaki doğrultma oranı değerleri, referans Au/n-InP yapısı ile oluşturulmuş yapıdaki doğrultma oranı değerine göre daha büyük olduğu, ayrıca Au/n-InP yapısının engel yüksekliği değerinin, Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların engel yüksekliği değerlerinden daha küçük olduğu tespit edildi. Bu durum, düşük engel yüksekliğine sahip InP yarıiletkeni için, metal ile yarıiletken arayüzeyinde AuNPs-GO ve AgNPs-GO gibi nanokompozit malzemeler kullanarak engel yüksekliği değerlerinin kontrol edilebileceğini gösterdi. Yarıiletken yüzeyindeki bu arayüzey tabakaları, metal-yarıiletken arayüzeyinde ek yükler neden olmakta ve uygun arayüz tabakalarının seçilmesiyle, arayüzeydeki bu yükler pasifleştirilmekte ve böylece engel yüksekliği arttırılabilmektedir.

Metal-yarıiletken kontakların I-V karakteristikleri farklı iletim mekanizmaları (termoiyonik emisyon, difuzyon, termiyonik emisyon difuzyon teorisi gibi) ile açıklanabilmekte ve bu mekanizmalar tek başına yada birlikte etkili olabilmektedirler. Birden fazla iletim mekanizmalarının etkili olduğu durumlarda net bilgi elde etmek zorlaştığından, geniş bir sıcaklık aralığında incelenen I-V ölçümleri bu mekanizmalardan hangisinin, hangi voltaj ve sıcaklık aralığında ne şekilde etkin olduğu hakkında detaylı bilgi verecektir. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının sıcaklığa bağlı I-V ölçümleri, “Keitley 487 Picoammeter/Voltage Source” cihazıyla +1 V ile -1 V aralığında 5 mV adımlarla 320 K’den 80 K’e kadar 20 K aralıklarla alındı. Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için idealite faktörü değerleri 1,217-3,457; engel yüksekliği değerleri ise 0,687-0,2111 eV aralığında değişmiştir Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için idealite faktörü değerleri 1,006-3,140; engel yüksekliği değerleri ise 0,661-0,204 eV aralığında değişmiştir.

İdealite faktöründe artan sıcaklıkla meydana gelen azalış ve yine artan sıcaklıkla engel yüksekliğindeki meydana gelen artış TE teorisinden sapmayı göstermektedir. Engel üzerinde oluşan akım mekanizması üzerinde sıcaklık etkili bir parametre olduğu için, taşıyıcılar düşük sıcaklıklarda düşük engelleri aşabilecek ve böylece düşük engel yüksekliklerinden akan akım baskın olacaktır. Bu durum idealite faktörü değerlerinin düşük sıcaklıklarda atmasına neden olacaktır. Düşük sıcaklıklarda, elektronların lokalize olmuş bir durumdan diğerine geçecek yeterli enerjisi olmadığından dolayı ilave akım olarak tanımlanan yeniden birleşme mekanizmaları gözlenmeyecektir. Sıcaklık değerleri ve uygulanan gerilim değerleri arttıkça daha çok elektron daha yüksek engelleri aşacak termal enerjiye sahip olacak ve dolayısıyla engel yüksekliği değerleri de artacaktır (Tung *et al.* 1992; Korkut *et al.* 2009).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının sıcaklığa bağlı lineer I-V grafiklerinin doğrusal kısmına yapılan fitler sayesinde elde edildi. Bu grafiklerden, sıcaklık değerleri arttıkça her iki yapı içinde dar bir aralıkta açılma voltajı değerlerinin azaldığı ve maksimum açılma voltaj değerlerinin sınırlığı olduğu tespit edildi. Bu durum sıcaklık arttıkça AgNPs-GO ve AuNPs-GO aryüzeyleri boyunca akan sızıntı akım

değerlerinin artması ile açılma voltajı değerlerinin belirli bir aralıkta değişimine izin vermesine atfedildi (Baltakesmez *et al.* 2019).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesaplanan etkin engel yüksekliklerinin idealite faktörlerine karşı değişimleri incelendi. Her iki yapı için çizilen grafiklerden düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri olmak üzere iki bölgede oluşan lineer bir değişim gözlemlendi. Değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak etkin engel yüksekliği değerlerini düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinin ekstrapolasyonundan sırasıyla; Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 0,740 eV (320-160 K) ve 0,513 eV (160-80 K), Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için, 0,636 eV (320-160K) ve 0,469 eV (160-80K) olarak tespit edildi. Farklı sıcaklık bölgeleri için değişen bu değerler, akım iletiminin her iki yapı içinde farklı sıcaklık bölgelerinde farklı mekanizmalar tarafından kontrol edilmesine ve özellikle düşük sıcaklıklarda etkin engel yüksekliği değerlerinin azalması ve buna bağlı olarak idealite faktörü değerlerinin artması durumu engel yüksekliğinin homojen olmayan dağılımına atfedildi (Cimilli *et al.* 2009; Cakici *et al.* 2015).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için $[(1/n)-1]$ 'in $1/2kT$ 'ye karşı çizilen grafiğikler iki farklı sıcaklık bölgesine sahiptir. Grafiğin farklı bu iki bölgelerinden elde edilen ρ_2 ve ρ_3 değerleri sırasıyla, Au/AuNPs-GO/n-InP yapısında birinci sıcaklık bölgesi için; 0,115 V ve -0,016 V, ikinci sıcaklık bölgesi için; -0,336 V ve -0,005 V olarak tespit edilmiştir. Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısında ise birinci sıcaklık bölgesi için; 0,378 V ve -0,002 V, 2. sıcaklık bölgesi için; 0,095 V ve -0,008 V olarak bulunmuştur. Aynı grafikte engel yüksekliğine karşı $1/2kT$ grafiğinin eğimlerinden de ortalama engel yüksekliği $\overline{\Phi_{B0}}$ ve σ değerleri sırasıyla 1. bölge (Fit 1) için, 0,959 eV ve 126.5 mV, 2. bölge (Fit 2) için 0,22 eV ve 64,3 mV olarak bulunmuştur. Aynı şekilde Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için de $\overline{\Phi_{B0}}$ ve σ değerleri sırasıyla 1. bölge (Fit 1) için, 0,902 eV ve 120,8 mV, 2. bölge (Fit 2) için 0,572 eV ve 72 mV olarak bulunmuştur.

Sıcaklığa bağlı Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/nkT$ 'ye göre değişimini veren grafikler çizildi. Deneysel $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/kT$ 'ye göre

grafikleri çizildi ve çizilen grafiklerden engel yüksekliği ve idealite faktörünün sıcaklığa bağlı olduğu gözlemlendi. Sıcaklığa bağlı bu bağlılık arayüzeydeki potansiyel dağılımlara, homojen olmayan engel yüksekliğine atfedildi (Ayyildiz *et al.* 2005; Cimilli *et al.* 2009; Baltakesmez *et al.* 2019). Ayrıca bu grafiklerin eğim ve eksenleri kestiği nokta değerlerinden sıfır beslem engel yükseklikleri hesaplandı ve bu değerler sırasıyla Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 0,569 eV, Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı içinde 0,630 eV olarak tespit edildi.

Geleneksel aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklıklarda davranışını daha ayrıntılı incelemek, modifiye edilmiş aktivasyon enerji grafiğini elde etmek için sızıntı akımı değerleri ile beraber Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapılarının modifiye edilmiş aktivasyon enerji grafikleri çizildi. İkili Gauss dağılımına sahip engel yüksekliği düşüncesinin geleneksel termoyonik emisyon metodu ile birleştirilmesi sonucu modifiye edilen Richardson grafiklerinden düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri için ortalama engel yükseklikleri, grafiklere yapılan fit denklemlerinden Richardson sabiti değerleri hesaplandı. Ortalama engel yükseklikleri Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için sırasıyla 0,740 eV (320-160 K) ve 0,513 eV (160-80 K), Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için, 0,636 eV (320-160K) ve 0,469 eV (160-80K) olarak tespit edildi. Ayrıca düşük ve yüksek sıcaklık bölgeleri için sırasıyla; Au/AuNPs-GO/n-InP yapısı için 4,21-7,57 A/cm²K² ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapısı için 3,82-6,55 A/cm²K² olarak Richardson sabiti değerleri elde edildi. Richardson sabitinin bilinen değeri olan 9,4 Acm⁻²K⁻² değerinden çok farklı çıkması, Richardson sabiti değerinin homojen olmayan engelden etkilendiği, arayüzeydeki potansiyel dalgalanmalara bağlı olduğu ve gerçek etkin kütle değerinin teorik olarak hesaplanan değerinden farklı olmasına atfedilebilir (Horvath 1996).

Metal-yarıiletken kontaklarda düşük voltajlarda doğru beslem I-V karakteristikleri, yarılogaritmik ölçekte doğrusaldır. Ancak voltaj değeri arttıkça I-V karakteristikleri doğrusallıktan önemli ölçüde sapmaktadırlar. Buna neden olan en önemli sebepler ise seri direnç, arayüzey tabakası ve arayüzey durumlarıdır. Norde ve Cheung Metal-yarıiletken kontakların doğru beslem I-V eğrilerinden seri direnci belirlemek için yöntemler öneren kişilerden ikisidir. Norde özel bir F(V) fonksiyonu tanımlayarak ve idealitesi 1 olarak

kabul edilen bir Schottky diyot için seri direncin hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Ancak Norde'nin yöntemi $n > 1$ olan gerçek diyotlar için geçerli değildir. Norde metodu daha sonraları Bohlin tarafından modifiye edilmiştir ve $n > 1$ olan gerçek diyotlarda da kullanılmıştır (Bohlin 1986).

Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için I-V grafiklerinden faydalanarak değişen numune sıcaklığına bağlı olarak Norde ve Cheung fonksiyonlarının yardımıyla idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri tespit edilmiştir. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu $F(V)$ 'nin V 'ye karşı grafiği çizilip, grafiğin minimum noktasına karşılık gelen akım ve gerilim değerleri kullanılarak tüm diyotlar için engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplanmıştır. Yine $dV/d\ln(I) = (nkT/q) + IR_S$ ve $H(I) = n\Phi_B + IR_S$ Cheung fonksiyonları yardımıyla $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafikleri çizilip, lineer fitler yapıldıktan sonra, eğimlerden ve doğrusal fitlerin akım eksenini kestiği noktalardan sırasıyla idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler de Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Her üç parametrenin de sıcaklığa kuvvetli bağlılık gösterdiği tespit edilmiştir. Au/AuNPs-GO/n-InP ve Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıları için bu grafiklerden elde edilen engel yüksekliği değerleri artan sıcaklıkla artmakta, bunun aksine seri direnç değerleri ise artan sıcaklıkla azalmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla seri direnç değerlerindeki bu azalma düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun azalmasının bir sonucu olarak açıklanabilir (Chand and Kumar 1996; Ates *et al.* 2010). Sıcaklığa çok güçlü bir şekilde bağlı olan seri direnç, diyotun doğru beslem akımını sınırlayan, doğrultucu kontaklara V doğru beslem voltajı uygulandığı zaman uygulanan voltaj deplasyon tabakası, arayüzey tabakası ve seri direnç tarafından paylaşılır (Reddy *et al.* 2014).

Hummers metoduyla sentezlenen AgNPs-GO ve AuNPs-GO nanokompozit malzemeleri karakterize edilmiş ve bu malzemelerle üretilmiş Au/AuNPs-GO/n-InP, Ag/AgNPs-GO/n-InP yapıların elektriksel karakteristikleri hem oda sıcaklığında hem de değişen numune sıcaklığına bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda AgNPs-GO ve AuNPs-GO nanokompozit malzemeleri ile InP tabanlı yapılar üretilerek Schottky engel yüksekliği değerlerinin maksada uygun olarak modifiye edilebileceği sonucuna

varılmıştır. Ayrıca bu yapıların karakteristik parametrelerinin sıcaklığa bağlı değişimleri her iki yapı içinde geçerli olan ikili Gauss dağılımına sahip engel yüksekliği düşüncesinin geleneksel TE metodu ile birleştirilmesi sonucu geçerli teoriyle açıklanmıştır.



KAYNAKLAR

- Ates, A., Saglam, M., Guzeldir, B., Yildirim, M.A. and Astam, A., 2010. The electrical characteristics of cu/cus/p-si/al structure. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 12(7), 1466-1471.
- Aydogan, S., Saglam, M. and Turut, A., 2005. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of polypyrrole/p-inp structure. *Vacuum*, 77(3), 269-274.
- Ayyildiz, E., Cetin, H. and Horvath, Z.J., 2005. Temperature dependent electrical characteristics of sn/p-si schottky diodes. *Applied Surface Science*, 252(4), 1153-1158.
- Baltakesmez, A., Taser, A., Kudas, Z., Guzeldir, B., Ekinci, D. and Saglam, M., 2019. Barrier height modification of n-inp using a silver nanoparticles loaded graphene oxide as an interlayer in a wide temperature range. *Journal of Electronic Materials*, 48(5), 3169-3182.
- Bilkan, C., Badali, Y., Fotouhi-Shablou, S., Azizian-Kalandaragh, Y. and Altindal, S., 2017. On the temperature dependent current transport mechanisms and barrier inhomogeneity in au/sno₂-pva/n-si schottky barrier diodes. *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 123(8).
- Bohlin, K.E., 1986. Generalized norde plot including determination of the ideality factor. *Journal of Applied Physics*, 60(3), 1223-1224.
- Bozkurt, E., Acar, M., Onganer, Y. and Meral, K., 2014. Rhodamine 101-graphene oxide composites in aqueous solution: The fluorescence quenching process of rhodamine 101. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(34), 18276-18281.
- Cakici, T., Guzeldir, B. and Saglam, M., 2015. Temperature dependent of electrical characteristics of au/n-gaas/in schottky diode with in₂s₃ interfacial layer obtained by using spray pyrolysis method. *Journal of Alloys and Compounds*, 646, 954-965.
- Cakici, T., Saglam, M. and Guzeldir, B., 2014. The effects of thermal annealing on the electrical characteristics of au/n-inp/in diode. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 28, 121-126.
- Chand, S. and Kumar, J., 1996. Current transport in pd₂si/n-si(100) schottky barrier diodes at low temperatures. *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 63(2), 171-178.
- Chen, J., Yao, B.W., Li, C. and Shi, G.Q., 2013. An improved hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.
- Cimilli, F.E., Saglam, M., Efeoglu, H. and Turut, A., 2009. Temperature-dependent current-voltage characteristics of the au/n-inp diodes with inhomogeneous schottky barrier height. *Physica B-Condensed Matter*, 404(8-11), 1558-1562.
- Deniz, A.R., Caldiran, Z., Metin, O., Can, H., Meral, K. and Aydogan, S., 2014. Schottky diode performance of an au/pd/gaas device fabricated by deposition of monodisperse palladium nanoparticles over a p-type gaas substrate. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27, 163-169.
- Deniz, A.R., Caldiran, Z., Sahin, Y., Sinoforoglu, M., Metin, O., Meral, K. and Aydogan, S., 2013. The synthesis of the fe₃o₄ nanoparticles and the analysis of the current-voltage measurements on au/fe₃o₄/p-si schottky contacts in a wide temperature

- range. Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science, 44a(8), 3809-3814.
- Dimiev, A.M. and Eigler, S., 2016. Graphene oxide: Fundamentals and applications. John Wiley & Sons, Ltd, pp.
- Dimiev, A.M., 2016. Mechanism of formation and chemical structure of graphene oxide. Graphene oxide.
- Dreyer, D.R., Park, S., Bielawski, C.W. and Ruoff, R.S., 2010. The chemistry of graphene oxide. Chemical Society Reviews, 39(1), 228-240.
- Duman, S., Gurbulak, B. and Turut, A., 2007. Temperature-dependent optical absorption measurements and schottky contact behavior in layered semiconductor n-type in-se(: Sn). Applied Surface Science, 253(8), 3899-3905.
- Ejderha, K., Yildirim, N., Turut, A. and Abay, B., 2010. Influence of interface states on the temperature dependence and current-voltage characteristics of ni/p-inp schottky diodes. Superlattices and Microstructures, 47(2), 241-252.
- Gao, W., 2015. Graphene oxide : Reduction recipes, spectroscopy, and applications. Springer International Publishing : Imprint: Springer, pp., Cham.
- Gilje, S., Han, S., Wang, M., Wang, K.L. and Kaner, R.B., 2007. A chemical route to graphene for device applications. Nano Letters, 7(11), 3394-3398.
- Gullu, O., 2010. Ultrahigh (100%) barrier modification of n-inp schottky diode by DNA biopolymer nanofilms. Microelectronic Engineering, 87(4), 648-651.
- Guzeldir, B., Saglam, M., Ates, A. and Turut, A., 2015. Determination of the some electronic parameters of nanostructure copper selenide and cu/cu₃se₂/n-gaas/in structure. Journal of Alloys and Compounds, 627, 200-205.
- Horvath, Z.J., 1996. Analysis of i-v measurements on crsi₂-si schottky structures in a wide temperature range - comment. Solid-State Electronics, 39(1), 176-178.
- Iyer, R. and Lile, D.L., 1991. Role of polysulfides in the passivation of the inp surface. Applied Physics Letters, 59(4), 437-439.
- Iyer, R., Chang, R.R. and Lile, D.L., 1988. Sulfur as a surface passivation for inp. Applied Physics Letters, 53(2), 134-136.
- Karteri, I., Karatas, S., Al-Ghamdi, A.A. and Yakuphanoglu, F., 2015. The electrical characteristics of thin film transistors with graphene oxide and organic insulators. Synthetic Metals, 199, 241-245.
- Khoussa, H., Baris, B., Alchaar, M., Chaumeton, F., Ghamnia, M., Gauthier, S. and Martrou, D., 2018. Morphology and work function of in, ag, mg, and au nano-islands grown on aln(0001) surface. Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics, 255(5).
- Kim, D.J., Kim, G.S., Park, N.W., Lee, W.Y., Sim, Y., Kim, K.S., Seong, M.J., Koh, J.H., Hong, C.H. and Lee, S.K., 2014. Effect of annealing of graphene layer on electrical transport and degradation of au/graphene/n-type silicon schottky diodes. Journal of Alloys and Compounds, 612, 265-272.
- Kitai, A., 2011. Principles of solar cells, leds and diodes: The role of the pn junction. A John Wiley & Sons, Ltd., pp.
- Kittel, C., 1986. Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, Inc., 129, USA.
- Korkut, H., Yildirim, N. and Turut, A., 2009. Temperature-dependent current-voltage characteristics of cr/n-gaas schottky diodes. Microelectronic Engineering, 86(1), 111-116.

- Korucu, D., 2009. Inp bazlı schottky diyotlarda i-v, c-v, dlts çalışmaları. Doktora, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kovtyukhova, N.I., Ollivier, P.J., Martin, B.R., Mallouk, T.E., Chizhik, S.A., Buzaneva, E.V. and Gorchinskiy, A.D., 1999. Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films from micron-sized graphite oxide sheets and polycations. *Chemistry of Materials*, 11(3), 771-778.
- Kudin, K.N., Ozbas, B., Schniepp, H.C., Prud'homme, R.K., Aksay, I.A. and Car, R., 2008. Raman spectra of graphite oxide and functionalized graphene sheets. *Nano Letters*, 8(1), 36-41.
- Kumar, M., Kumar, A., Sunny, Seong, K.S. and Park, S.H., 2019. Single-crystalline zno/graphene quantum dots phosphors-converted white light-emitting diodes. *Ieee Photonics Technology Letters*, 31(3), 203-205.
- Kumar, P., Maiti, U.N., Lee, K.E. and Kim, S.O., 2014. Rheological properties of graphene oxide liquid crystal. *Carbon*, 80, 453-461.
- Lan, N.T., Chi, D.T., Dinh, N.X., Hung, N.D., Lan, H., Tuan, P.A., Thang, L.H., Trung, N.N., Hoa, N.Q., Huy, T.Q., Quy, N.V., Duong, T.T., Phan, V.N. and Le, A.T., 2014. Photochemical decoration of silver nanoparticles on graphene oxide nanosheets and their optical characterization. *Journal of Alloys and Compounds*, 615, 843-848.
- Marcano, D.C., Kosynkin, D.V., Berlin, J.M., Sinitskii, A., Sun, Z.Z., Slesarev, A., Alemany, L.B., Lu, W. and Tour, J.M., 2010. Improved synthesis of graphene oxide. *Acs Nano*, 4(8), 4806-4814.
- Martins, M., Sljukic, B., Metin, O., Sevim, M., Sequeira, C.A.C., Sener, T. and Santos, D.M.F., 2017. Bimetallic pdm (m = fe, ag, au) alloy nanoparticles assembled on reduced graphene oxide as catalysts for direct borohydride fuel cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 718, 204-214.
- Meral, K. and Metin, O., 2014. Graphene oxide--magnetite nanocomposite as an efficient and magnetically separable adsorbent for methylene blue removal from aqueous solution. *Turkish Journal of Chemistry*, 38(5), 775-782.
- Metin, O., Aydogan, S. and Meral, K., 2014. A new route for the synthesis of graphene oxide-fe₃o₄ (go-fe₃o₄) nanocomposites and their schottky diode applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 585, 681-688.
- Metin, O., Can, H., Sendil, K. and Gultekin, M.S., 2017. Monodisperse ag/pd core/shell nanoparticles assembled on reduced graphene oxide as highly efficient catalysts for the transfer hydrogenation of nitroarenes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 498, 378-386.
- Norde, H., 1979. A modified forward i-v plot for schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 50(7), 5052-5053.
- Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V. and Firsov, A.A., 2004. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306(5696), 666-669.
- Oliveira, M.M., Ugarte, D., Zanchet, D. and Zarbin, A.J.G., 2005. Influence of synthetic parameters on the size, structure, and stability of dodecanethiol-stabilized silver nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292(2), 429-435.
- Prabakaran, E. and Pandian, K., 2015. Amperometric detection of sudan i in red chili powder samples using ag nanoparticles decorated graphene oxide modified glassy carbon electrode. *Food Chemistry*, 166, 198-205.

- Qi, L., Huang, J.Y., Feng, J. and Li, J., 2010. In situ observations of the nucleation and growth of atomically sharp graphene bilayer edges. *Carbon*, 48(8), 2354-2360.
- Reddy, V.R., Janardhanam, V., Leem, C.H. and Choi, C.J., 2014. Electrical properties and the double gaussian distribution of inhomogeneous barrier heights in se/n-gan schottky barrier diode. *Superlattices and Microstructures*, 67, 242-255.
- Rhoderick, E.H. and Williams, R.H., 1988. *Metal-semiconductor contacts*. Clarendon Press, pp.
- Rhoderick, E.H., 1988. *Metal-semiconductor contacts*. Oxford, University Press.
- Saglam, M., Ates, A., Yildirim, M.A., Guzeldir, B. and Astam, A., 2010. Temperature dependent current-voltage characteristics of the cd/cdo/n-si/au-sb structure. *Current Applied Physics*, 10(2), 513-520.
- Saglam, M., Guzeldir, B., Ates, A. and Bugur, E., 2013. Temperature dependence of current-voltage characteristics of the cd/cds/n-gaas/in sandwich structure. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 74(2), 370-376.
- Seeger, K., 1991. *Semiconductor physics*. Springer-Verlag press, pp., USA.
- Seo, H.J., Gil, Y.E., Hwang, K.H., Ananth, A. and Boo, J.H., 2019. Synthesis and characterization of plasma-polymer gate dielectric films for graphene field effect transistor devices. *Electronic Materials Letters*, 15(4), 396-401.
- Shen, J.F., Hu, Y.Z., Shi, M., Lu, X., Qin, C., Li, C. and Ye, M.X., 2009. Fast and facile preparation of graphene oxide and reduced graphene oxide nanoplatelets. *Chemistry of Materials*, 21(15), 3514-3520.
- Soylu, M., Abay, B. and Onganer, Y., 2011. Electrical characteristics of au/pyronine-b/moderately doped n-type inp schottky structures in a wide temperature range. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(16), 5105-5111.
- Suresh, R., Udayabhaskar, R., Sandoval, C., Ramirez, E., Mangalaraja, R.V., Mansilla, H.D., Contreras, D. and Yanez, J., 2018. Effect of reduced graphene oxide on the structural, optical, adsorption and photocatalytic properties of iron oxide nanoparticles. *New Journal of Chemistry*, 42(11), 8485-8493.
- Şenol, A.M., 2018. Gümüş/grafen oksit nanokompozitlerinin sentezi ve pyronin y bileşiği ile etkileşimi. Doktora, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tan, X.C., Hu, Q., Wu, J.W., Li, X.Y., Li, P.F., Yu, H.C., Li, X.Y. and Lei, F.H., 2015. Electrochemical sensor based on molecularly imprinted polymer reduced graphene oxide and gold nanoparticles modified electrode for detection of carbofuran. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 220, 216-221.
- Tao, L.L., Lou, Y.J., Zhao, Y., Hao, M.M., Yang, Y.B., Xiao, Y., Tsang, Y.H. and Li, J.B., 2018. Silver nanoparticle-decorated graphene oxide for surface-enhanced raman scattering detection and optical limiting applications. *Journal of Materials Science*, 53(1), 573-580.
- Tasyurek, L.B., Sevim, M., Caldiran, Z., Aydogan, S. and Metin, O., 2018. The synthesis of srtio₃ nanocubes and the analysis of nearly ideal diode application of ni/srtio₃ nanocubes/n-si heterojunctions. *Materials Research Express*, 5(1).
- Taşçıoğlu, İ., 2012. Au/pva:Zn/n-si (mps) schottky engel diyodun elektriksel özelliklerinin sıcaklık ve radyasyona bağlı incelenmesi. Doktora Tezi,, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Torrise, L. and Restuccia, N., 2018. Laser-generated au nanoparticles for bio-medical applications. *Irbm*, 39(5), 307-312.

- Tung, R.T., 2000. Comment on "numerical study of electrical transport in homogeneous schottky diodes" [j. Appl. Phys. 85, 1935 (1999)]. *Journal of Applied Physics*, 88(12), 7366-7367.
- Tung, R.T., 2001. Recent advances in schottky barrier concepts. *Materials Science & Engineering R-Reports*, 35(1-3), 1-138.
- Tung, R.T., Sullivan, J.P. and Schrey, F., 1992. On the inhomogeneity of schottky barriers. *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, 14(3), 266-280.
- Wang, J., Singh, B., Maeng, S., Joh, H.I. and Kim, G.H., 2013. Assembly of thermally reduced graphene oxide nanostructures by alternating current dielectrophoresis as hydrogen-gas sensors. *Applied Physics Letters*, 103(8).
- Xu, J., Luo, L.F., Xiao, G.R., Zhang, Z.Z., Lin, H.X., Wang, X.X. and Long, J.L., 2014. Layered c3n3s3 polymer/graphene hybrids as metal-free catalysts for selective photocatalytic oxidation of benzylic alcohols under visible light. *Acs Catalysis*, 4(9), 3302-3306.
- Yang, Y.X., Cao, K.H., Wu, M., Zhao, C.L., Li, H.L. and Hong, C.L., 2019. 3d graphene/mwnts nano-frameworks embedded ag-au bimetallic nps for carcinoembryonic antigen detection. *Microchemical Journal*, 148, 548-554.
- Yildirim, M., Eroglu, A., Altindal, S. and Durmus, P., 2011. On the profile of temperature and voltage dependence of interface states and resistivity in au/n-si structure with 79 angstrom insulator layer thickness. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13(1-2), 98-105.
- You, S.J., Luzan, S.M., Szabo, T. and Talyzin, A.V., 2013. Effect of synthesis method on solvation and exfoliation of graphite oxide. *Carbon*, 52, 171-180.
- Zhang, K.B., Zhang, H. and Li, C.K., 2015. Coherent resonance of quantum plasmons in the graphene-gold cluster hybrid system. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(18), 12051-12055.
- Zhang, X.H., Zhang, Y., Liao, Q.L., Song, Y. and Ma, S.W., 2013. Reduced graphene oxide-functionalized high electron mobility transistors for novel recognition pattern label-free DNA sensors. *Small*, 9(23), 4045-4050.
- Zhou, Y., Xie, G.Z., Xie, T., Yuan, H., Tai, H.L., Jiang, Y.D. and Chen, Z., 2014. A sensitive film structure improvement of reduced graphene oxide based resistive gas sensors. *Applied Physics Letters*, 105(3).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve ortaöğretimini Erzurum'da tamamladı. 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2013 yılında bu bölümden mezun oldu. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Katıhal Fiziği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya başladı.

